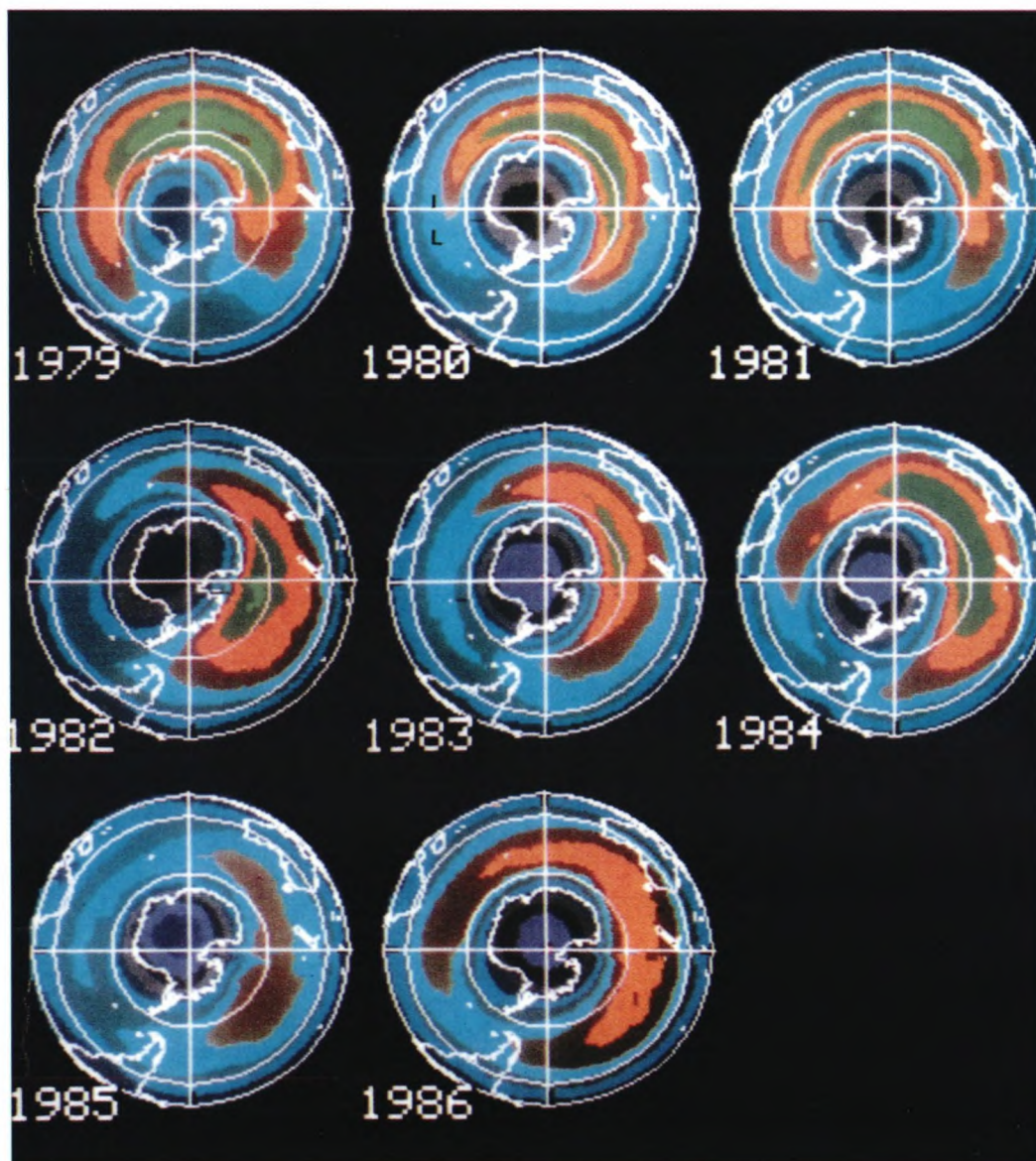


KVANT september 1990 2

Fysisk Tidsskrift

1. årgang



OZON I ATMOSFÆREN • LASERKØLING OG IONSTRENGE • FYSIKLEGESTUE • SORØ
DAGE • MOLEKYLÆRE SUPERLEDERE OG METALLER • TEKNOLOGIENS HISTORIE •
HVORDAN VIRKER EN LOMMEREGER

KVANT

Fysisk Tidsskrift

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

Giro: 5 84 31 46
E-mail: kvant@dfi.aau.dk

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Jørgen Friis Bak (ansv.)

Det naturvidenskabelige fakultet
Århus Universitet

Torsten Freltoft

NKT

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 1500 kr

Priserne er excl. moms og gælder for repro-
klart materiale.

Oplag: 1500

Tryk: AKA-print

Indhold:

Om indholdet af KVANT

Jørgen Friis Bak 1

Ozon i atmosfæren

Aksel Walløe Hansen 2

Skyldes ozon-hullerne over Antarktis og den globale udtyndning af ozonlaget mennesket, eller er det udslag af naturlige processer? Artiklen beskriver baggrunden for problemet: Dannelsen, nedbrydningen og fordelingen af ozon i atmosfæren.

Laserfysik ved lagring i Århus: laserkøling og ionstrengte?

Martin Kristensen og Ove Poulsen 10

Ved hjælp af en laser kan ionerne i en ionstråle få så lav indbydes hastighed, at de danner en struktur svarende til en krystal af fast stof, blot med langt større afstand mellem de enkelte atomer.

Legestuen 13

De fysikstuderende ved Københavns Universitet inviterer interesserede til at prøve at lave morsomme og spændende fysiske eksperimenter.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab: Årsmøde 1990 14

Sorø Dage

Jørn Aggerholm Jensen 15

For tredje år i træk har der været arrangeret et sommerkursus i fysik for gymnasieelever. En af deltagerne beretter om sine oplevelser.

Molekylære superledere og metaller.

Klaus Bechgaard 18

I de såkaldte syntetiske Bechgaard-salte er organiske molekyler basis for metallisk ledningsevne, superledning og andre eksotiske fænomener.

Teknologi og naturvidenskab

Hans Siggaard Jensen, Henry Nielsen og Keld Nielsen 20

I en netop udkommet bog behandles den vestlige verdens teknologiske historie. Forfatterne beretter her om baggrunden for bogen.

Hvordan virker en lommeregner?

Mogens Esrom Larsen 24

Hvad sker der egentlig når man trykker på lommeregnerens kvadratrodstast? Måske kan en gammel kinesisk regnemetode føre til endnu hurtigere elektroniske regnemaskiner.

DEBAT 28

Udviklingstendenser i dansk fysik, *Ove Poulsen*

Forsiden

Udviklingen af ozonindholdet over Antarktis i årene 1979 til 1986, set fra Nimbus 7 satellitten. De forskellige farver angiver forskellige mængder af ozon i atmosfæren. De laveste værdier er angivet med violet (søjleværdier under 150 DU - se artiklen for nærmere forklaring) og dækker de centrale dele af Antarktika, mens der udenom er en ring med et højere ozonindhold. Aksel Walløe Hansens artikel handler om dette ozonhul.

Om indholdet af KVANT

Jørgen Friis Bak, redaktør

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

Det fysiske Institut

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 enten være skrevet i WordPerfect eller med T_EX eller som en ren ASCII-fil. Hvis man ikke har mulighed for at aflevere teksten i et af disse formater, kan en papirudgave af artiklen naturligvis anvendes. Undlad helst orddelinger.

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.

Artikler til KVANT bliver redigeret med tekstbehandlingsprogrammet WordPerfect 5.1 på en PC. Teksten sættes med en 10 punkt Times Roman font af en fotosætter ud fra den elektronisk lagrede tekst. Som man kan se af artiklerne i bladet er der følgende stil:

- Overskriften skrives med store bogstaver (25 punkt skrift)
- Forfatternavne skrives med kursiv
- Afsnitoverskrifter skrives med fed skrift
- Der er ingen tomme linier mellem afsnit, men de indledes med en indrykning (tabulering).
- Figurtekster skrives med en reduceret skrift (8 punkt)
- 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.

Hvornår kommer bladet?

Den første årgang kom lidt sent i gang, men der vil alligevel komme fire numre i 1990: Nummer 3, der vil være et temanummer om superledning, kommer midt i oktober og nummer 4 vil komme i slutningen af november.

Deadline for debatindlæg og korte notitser og meddelelser til nummer 3 er den 1. oktober.

Artikler til nummer 4 skal være redaktionen i hænde den 15. oktober og korte notitser og meddelelser skal være indsendt senest den 10. november.

Fremover er produktionsplanen at der vil udkomme et nummer i månederne februar, maj, august og november. Artikler til disse numre skal være afleveret senest den 1. januar, 1. april, 1. juli og 1. oktober.

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

KVANT, c/o Det fysiske Institut, Ny Munkegade, 8000 Århus C

Ozon og ozonhuller

Aksel Walløe Hansen, *Geofysisk Institut, Københavns Universitet*

Atmosfærens indhold af ozon ændrer sig i disse årtier. I troposfæren (0-15 km's højde) vokser indholdet, mens det falder i stratosfæren (15-50 km). Begge dele menes at have deres årsag i menneskelig aktivitet og kan forventes at forvolde skader på plante- og dyrelivet samt bidrage til klimaændringer.

Problemerne med det faldende ozonindhold i stratosfæren deler sig i to typer. Det ene er globalt og tilskrives en generel forurening af atmosfæren med CFC-gasser. Det andet er regionalt/lokalt, men mere intenst. Indtil nu er dette fænomen - bedre kendt under betegnelsen et ozonhul - kun observeret over Antarktis.

Begivenhederne har optaget såvel forskere som den brede offentlighed. Debatten har været domineret af kontroversen mellem dem, der tror på den kemiske forklaring og dem, der mener, at udviklingen er et udslag af klimavariationer. Sandsynligvis ligger sandheden et sted imellem disse to yderpunkter. I hvert tilfælde når det gælder ozonhullerne, regnes det nu for en kendsgerning, at de helt ekstreme klimatiske forhold over Antarktis er en nødvendig betingelse for dannelsen af hullerne, mens forureningen med freongasser er den udløsende faktor.

Denne artikel vil omhandle det stratosfæriske problem og specielt koncentrere sig om den grundlæggende teori for ozons dannelse, nedbrydning samt fordelingen af ozon. I slutningen af artiklen vil der være en diskussion af de foruroligende fald i ozonindholdet i den sydpolare stratosfære. Derimod vil samspillet mellem ozon og de meteorologiske/klimatologiske forhold blive beskrevet i en senere, selvstændig artikel.

Indledning

Meteorologer har traditionelt haft den opfattelse, at vejr og klima er det, der foregår i de nederste 15 km af atmosfæren, nemlig troposfærens vejrsystemer. Men denne opfattelse er nu under revision. Forståelsen af de fysiske-kemiske processer i den del af atmosfæren, der ligger over de 15 km, har i flere sammenhænge vist sig at have afgørende betydning.

Det er selvfølgelig ikke uden grund, at det har været en almindelig opfattelse, at stratosfæren fungerer som et slags låg på den underliggende og langt mere aktive troposfære. Det er således kun i troposfæren, der dannes de vejrbegebenheder, vi kender fra dagligdagen. Det gælder eksempelvis det omskiftelige vejr, vi lever med på vore breddegrader. Dette vejr skyldes, at der i det såkaldte vestenvindsbælte omkring 45-60°N til stadighed udvikles høj- og lavtryk, som bevæger sig rundt om Jorden, normalt fra vest mod øst. Det er også i troposfæren, at langt de fleste skyer dannes (det skal dog senere blive demonstreret, at nogle af de få skyer, der dannes i stratosfæren, har stor betydning for ozonnedbrydningen over Antarktis). Nedbør kendes kun fra skyer i

Boks 1

Mængden af atmosfærisk ozon angives ofte på forskellige måder, nemlig som:

- antal ozon molekyler pr. m^3
- brøkdelen af $1 m^3$ luft, der er ozon eller
- den totale mængde ozon i en luftsøjle over $1 m^2$.

Version b) kaldes et blandingsforhold. Et blandingsforhold kan også angive, hvor stor ozonmassen er i 1 kg luft.

De to første mål angiver koncentrationer, b) angives i ppmv (antal rumfangsenheder ozon pr. million luftenheder) (eller hvis det angives i masseenheder blot ppm), mens c) er en integreret størrelse. Den måles i Dobson-enheder, se boks 2. Vi vil herefter omtale en luftsøjles Dobson-tal som ozons søjleværdi.

De største koncentrationer af ozon findes, hvor sollyset har størst effekt, men man får lidt forskellige resultater alt efter om man bruger det ene mål eller det andet. Således finder man de højeste ppmv-tal i store højder, med de største over Ækvator, mens det højeste antal ozonmolekyler pr. m^3 findes ved noget lavere højder og følger med solen mod sommerhalvkuglen. Man skal bemærke, at et mindre ppmv-tal kan give flere molekyler absolut set, hvis luften alt i alt er tilsvarende tættere. De største koncentrationer, udtrykt for eksempel i ppmv-enheder, findes i en højde på cirka 37 km (se figur 1), mens det højeste antal molekyler pr rumfangsenhed luft allerede nås i omkring 22 km's højde.

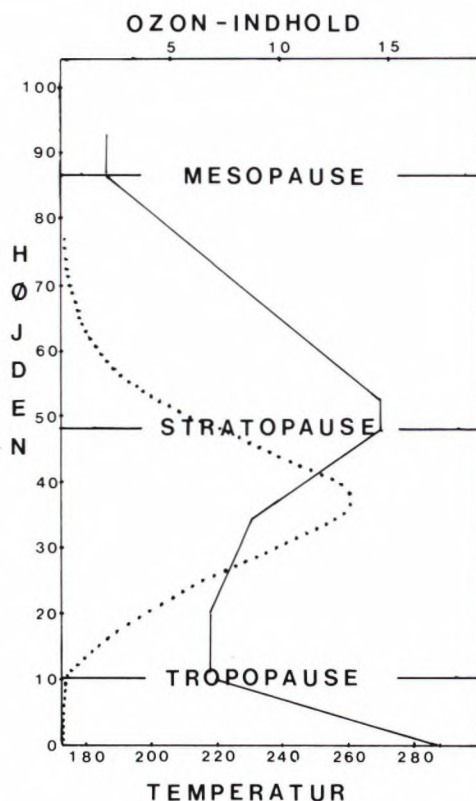
troposfæren. Stratosfærens virkning som et låg kan iagttages på en varm sommerdag, hvor der udvikles kraftige tordenbyger. Ved optrækket til tordenbygen ser man ofte en udbredt og diffus skytop. Luften er inde i skyen nået op til højder omkring 12-15 km, hvor stratosfæren starter. Det er svært for ikke at sige umuligt for en sådan luftstrøm at trænge ind i stratosfæren, hvorfor luften søger ud til siden. Dette ses som den diffuse top.

Troposfæren er altså en aktiv maskine, hvor der hele tiden omsættes store mængder energi. Det er kendetegnende for en sådan maskine, at der i forbindelse med energiomsætningen normalt forekommer vertikale bevægelser, hvilket giver god opblanding. Vi observerer da også, at troposfæren er langt mere homogen i vertikal retning, end atmosfæren er højere oppe.

Atmosfærens ozon findes ved meget forskellige tryk og temperaturer. I mange situationer er man kun interesseret i den totale ozon-masse i en luftsøjle, fra jordoverfladen og op til atmosfærens top. Som enhed kunne man naturligvis anvende massen af ozon pr. arealenhed, kg/m^2 . Men af historiske årsager har man valgt at angive det totale ozonindhold som højden af det rene ozonlag, man kunne danne, dersom al ozonen - i en luftsøjle - blev bragt ned til jordoverfladen ved normalt tryk og temperatur dér. Yderligere har man valgt en anden højdeskala end normalt: højden af ozonlaget måles i Dobson-enheder (DU), hvor $1 \text{ DU} = 1/100 \text{ mm}$.

Atmosfærens totale ozon-indhold svinger mellem 150 DU og 450 DU, med en middelværdi på cirka $300 \text{ DU} = 3 \text{ mm}$!

Til sammenligning: et rent CO_2 -lag skabt på en tilsvarende måde vil fylde omkring 3 meter.



Figur 1. Temperaturens forløb med højden er vist med fuldt optrukken linie, mens ozonfordelingen er angivet ved den prikkede linie.

Skalaen for temperatur er udtrykt i absolut-temperatur, og er givet fomedent, mens ozonskalaen er vist foroven og viser blandingsforholdet, det vil sige hvor stor en brøkdel af en given rumfang luft, der er ozon. Højden over jordoverfladen er angivet i km.

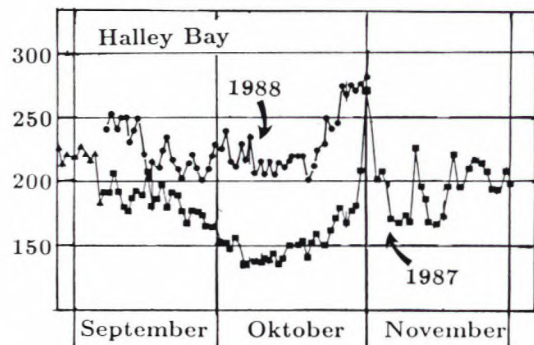
Begge de viste kurver repræsenterer gennemsnitsforhold, karakteristisk for mellembreddegrader. Det skal således bemærkes, at på højere breddegrader vil både ozon-maksimaet og tropospausen ligge væsentligt lavere.

I figur 1 er vist en skitse af atmosfærens vertikale struktur. Den konstante eller stigende temperatur med højden gør stratosfæren til et meget stabilt lag og afslører, at opblandingen i vertikal retning må være ringe. Forskydninger i vertikal retning dæmpes kraftigt på grund af temperaturfordelingen. Man siger, at der er negativ opdrift eller hvad der er mere normalt i meteorologisk sprogbrug, at laget er statisk stabilt. Den svage omrøring i vertikal retning gør selvfølgelig, at der kan være store forskelle mellem for eksempel stratosfærens bund og dens top, hvad angår tilstedeværelsen af kemiske stoffer og de processer, de indgår i.

Et andet resultat er, at stratosfæren taget som helhed ikke kan producere energi. Der må til stadighed pumpes energi ind i laget. Dette sker igennem den mekaniske kontakt til troposfæren nedenunder. Høj- og lavtryk, der bevæger sig, resulterer i bølgeforplantning af energi til stratosfæren.

Men hvad fik egentlig det simple verdensbillede til at smuldre? Hvorfor er det nu et stærkt opprioriteret forskningsområde at studere stratosfærefysik/-kemi ?

Svaret på dette spørgsmål finder vi tilbage i 60'erne og 70'erne, hvor man for første gang kunne påvise, at en række miljømæssige problemer udvikler og manifesterer sig i stratosfæren, selv om de kan have deres årsager ved jordoverfladen i form af udslip af potentielt farlige stoffer. Man måtte erkende, at stratosfæren nok ikke var så død endda, men at den netop på grund af generelt langt større tidskonstanter, og fordi fotokemien er så vigtig, kunne være arnestedet for skadelige processer.



Figur 2. Daglige søjleværdier (Dobsonantal) målt ved Halley Bay-stationen, der ligger på 75°S , 26°W . Sammenligning mellem 1988 og 1987, der var året med de indtil nu laveste målte værdier.

Både meteorologer og atmosfærekemikere ser derfor nu atmosfæren som en helhed. Det er ikke mere tilstrækkeligt at betragte atmosfæren som blot en energiomsættende, fysisk maskine - der må også tages hensyn til atmosfærens kemiske processer, som foregår overalt. I stor højde er de fysiske omgivelser så meget anderledes end nær jordoverfladen, at mange kemiske processer får nye interessante konsekvenser dér. Hvad man har lært om atmosfærekemi ved studier nær jordoverfladen er derfor ikke tilstrækkeligt, når det gælder stratosfæren.

Det er et interessant og videnskabeligt udfordrende

billede, der således er ved at danne sig. Den meteorologiske atmosfæremaskine skal kobles til den kemiske reaktor, som atmosfæren i en vis forstand også er. Der er tale om en udpræget tværvideenskabelig problemstilling, som også bør tale til fysikere. Kemikere, fysikere og meteorologer må tage hinanden i hånden og hver især inddrage de andres metoder og viden.

Kemiens rolle vil blive klargjort i denne artikel og er i høj grad knyttet til gasfaseprocesser, dvs reaktioner mellem gasarter i atmosfæren. For fysikere har det måske særlig interesse, at der eksisterer en tæt kobling af kemien og fysikken, eksemplificeret ved de heterogene processer, der finder sted på overflader af partikler i atmosfæren. Disse partikler er ganske små, og vi taler om atmosfæriske aerosoler.

Jordens atmosfære er igennem hele dens levealder blevet "forurennet" med sådanne aktive partikler og gasser. Det kan ske ved udslip fra Jordens indre, for eksempel igennem vulkaner, eller fra universet og fra processer ved overfladen. Da atmosfæren imidlertid synes at have haft en nogenlunde stabil sammensætning over en meget lang periode, må den også have sine egne rensprocesser. Her spiller kemien en stor rolle, naturligvis sammen med de fysiske processer som udvaskning ved nedbørsdannelse og tørdeposition, dvs afsætning på overfladen ved direkte kontakt mellem luften og den fysiske overflade.

Den kraftige vækst i udforskningen af stratosfæren har især været koncentreret omkring stratosfærens indhold af ozon. Den særlige interesse skyldes naturligvis ozons store betydning for livet på jordoverfladen, idet denne gas (sammen med atmosfærens indhold af ilt) virker som et effektivt værn mod den mest skadelige del af det ultraviolette lys (UV-lys) fra Solen, og desværre tyder en del undersøgelser på en vis svækkelse af ozonlaget. Iltten tager sig af UV-lys med bølglængder mindre end 240 nm ($1\text{nm} = 10^{-9}$ meter), mens ozon beskytter mod UV-lys med bølglængder fra 240 nm til 290 nm. UV-lys er en fællesbetegnelse for strålingen fra Solen med bølglængder fra 200 nm til 400 nm. Midt i dette interval er atmosfærens indhold af ozon den eneste beskyttelse af Jordens plante- og dyreliv mod Solens UV-lys.

Ozon

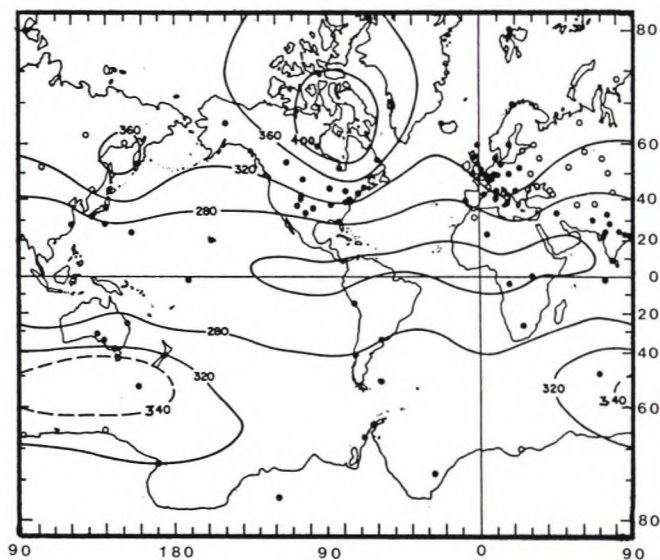
Ozon er en sekundær gas, da den dannes i atmosfæren og ikke har nogen kilde af betydning ved jordoverfladen. Ozon har i store koncentrationer et blåligt skær og kan eksplodere. Men heldigvis - i denne forstand - er atmosfærens indhold af ozon ganske ringe. I troposfæren er mindre end 1 milliontedel af luften ozon, mens der i stratosfæren kan være op til 10 milliontedele. Se figur 1, hvor man kan følge ozonkoncentrationens karakteristiske forløb op igennem atmosfæren.

Det relativt set høje indhold af ozon i stratosfæren skyldes, at man dér på én gang har et stort indhold af ilt og et næsten usvækket indfald af sollys. Iltten er oprindeligt dannet af levende organismer ved omdannelse af kuldioxyd. Ret tidligt i Jordens historie har ozonindholdet nået et niveau, der stort set svarer til det nutidige og således har

været baggrunden for udviklingen af liv på land og i vandoverfladen. Troposfærens indhold af ozon er som nævnt stigende og tilskrives kemiske processer i troposfæren selv samt blandingsprocesser mellem troposfære- og stratosfæreluft. Stigningen skyldes ændringer i troposfærens kemi på grund af en almen luftforurening.

Biologer og medicinere har beregnet, hvilke effekter et reduceret ozonindhold vil have på dyr og planter. Ingen levende organisme synes at have fordel af mindre ozon i stratosfæren og dermed mere UV-lys ved overfladen. Igennem Jordens udviklingshistorie har liv justeret sig ind efter et ozonlag, der tager sin del af det hårde UV-lys, hvorfor selv få procents formindskelse angiveligt kan føre til væsentlige biologiske skader, som for eksempel hudkræft.

I denne artikel er det ikke hensigten at beskrive de biologiske effekter. Det skal dog nævnes, at en del af det biologisk set interessante UV-lys forekommer ved bølglængder, hvor ozon absorberer dårligt. Betydningen af et faldende ozonindhold er derfor ikke helt simpelt at udlede. Ingen målinger synes endnu at have påvist en systematisk stigning i UV-lyset. Kun på kysten af Antarktis er der i forbindelse med forekomsten af ozonhuller rapporteret stigninger. (se iøvrigt boks 3)



Figur 3. Geografisk fordeling af søjleværdier af ozon. Gennemsnit over en 10-årig periode (1957-66, altså før ozonhullets udvikling). Værdier er angivet i Dobson-enheder (se boks 2). Et bælte af lave værdier findes i troperne, mens der er en tydelig variation i øst/vest-retningen på høje breddegrader. Bemærk for eksempel maksimumet over Canada. Ozonstationerne er angivet i figuren ved åbne cirkler (Dobson's oprindelige måleteknik) eller lukkede cirkler, der repræsenterer andre typer.

I figur 3 er ozonfordelingen vist, som den geografiske fordeling af søjleværdierne. Vi ser, at de største mængder findes forholdsvis tæt ved polerne med værdier omkring 400 DU, mens der ved Ækvator er ca. 250 DU. Vi noterer os, at den geografiske variation er karakteriseret ved denne variation nord-syd, men også at der er markante variationer øst-vest. Det vil være naturligt at søge forklaringen på disse variationer i luftens strømninger, såvel vertikalt som horisontalt. Der er en tydelig årstidsvariation i søjleværdier-

ne på høje breddegrader, mens der ved Ækvator kun ses småændringer i årets løb.

Det er værd at notere sig, at livet på høje breddegrader beskyttes mod for høje doser af UV-lys på hele to måder :

- 1) den gennemsnitlige højde af Solen over horisonten er mindre end i troperne, hvorved sollyset skal igennem mere luft og dermed alt andet lige også igennem mere ozon;
- 2) alt andet er ikke lige, da der faktisk er mere ozon på de høje breddegrader.

Produktion og nedbrydning af ozon

Der sker til stadighed produktion og nedbrydning af ozon i stratosfæren. Balancen på et givet sted er givet ved nettoeffekten af: lokal produktion og nedbrydning og hvor meget der transporteres til eller fra stedet.

Produktion og nedbrydning er kemiske processer, der forløber under påvirkning af sollyset og derfor kaldes fotokemiske processer. De meteorologiske forhold (d.v.s. atmosfærens strømninger og de kræfter, der styrer strømningerne) er ansvarlig for transporten, men der er en tilbagekobling, idet fotokemien påvirker temperaturfordelingen, der igen påvirker strømningen og dermed transporterne.

De fotokemiske processer har været kendt i flere årtier. En samlet forståelse kan tilskrives englænderen S. Chapman, der som den første også gav en forklaring på eksistensen af et egentlig stratosfærisk ozonlag. Ifølge Chapman dannes ozon ved sollysets indvirkning på atmosfærens indhold af ilt.

Chapmans ligninger kan skrives



der efterfølges af



I reaktion 1) betyder $+ h\nu$, at der absorberes et energikvant $h\nu$ fra sollyset. Bølgelængden af det absorberede 'lys' er mindre end 240 nm og ligger i den del af UV-området, man kalder UV-C stråling. Denne stråling kaldes også hård, da den let trænger ind i levende organismers celler og ødelægger disse.

Atmosfæren indeholder så meget ilt, at processen 1) effektivt blokerer for al den hårde stråling, før den når overfladen. Ja, faktisk er det meste af absorptionen af denne del af UV-C lyset allerede overstået i højder over ca 35 km.

I reaktion 2) står bogstavet M som et symbol på et molekyle, der ikke selv tager del i processen, men fjerner den frigjorte energi. M kan for eksempel være et kvælstofmolekyle, som der jo er flest af i atmosfæren.

Ozons beskyttende virkning mod UV-lys skyldes følgende proces

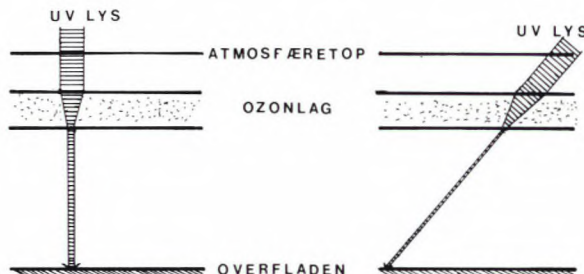


I dette tilfælde er energien $h\nu$ mindre end i 1), hvorfor bølgelængden er større. Absorptionen virker stærkest

Boks 3

Ozon's evne til at absorbere UV-lys vokser med den samlede ozonmængde, lyset gennemløber. Hvis Solen står lavt over horisonten, skal en lysstråle gennemløbe en længere distance i ozonlaget og dermed en større ozonmængde, end hvis Solen står højt.

Dette kan illustreres som vist i efterfølgende figur

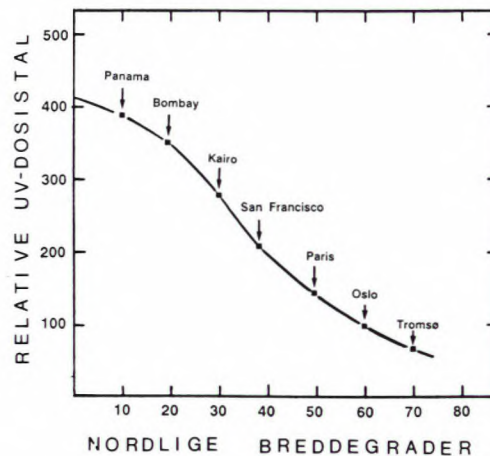


I figuren til venstre når mere UV-lys ned til jordoverfladen end i tilfældet til højre. Figuren illustrerer de kvalitative forskelle mellem sommer og vinter samt mellem Ækvatornære egne og høje breddegrader i gennemsnit.

Ved at samle det indfaldende UV-lys op over et helt år, bliver kun breddegradsafhængigheden tilbage.

I nedenstående figur vises resultatet af en beregning af denne variation.

Tallene for den samlede UV-dosis er angivet i relative enheder, således at værdien er 100 i Oslo, som ligger på 60°N.



omkring 250 nm, men fortsætter med stor effekt op til omkring 300 nm. Strålingen ved disse bølgelængder omtales som blødere, fordi energimængden $h\nu$ mindre.

Man taler om UV-B lys, når bølgelængden er større end 280 nm. De biologiske effekter af UV-B strålingen studeres intenst i disse år, idet strålingen i området 290-300 nm påvirkes kraftigt af ændringer i ozonlagets tykkelse. Det skal her blot bemærkes, at nok bliver en del UV-B lys filtreret



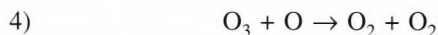
(Herover) Fotografi taget på McMurdo-stationen om aftenen den 28. august 1987. Den stærke rødlige farve skyldes sollysets spredning i stratosfæren, der på dette tidspunkt sandsynligvis har haft et stort indhold af mange faste, men meget små partikler.



(til venstre) Fotografi taget samme sted, blot den 20. september 1987. På denne dag er der i cirka 20 km's højde et skytag, såkaldte perlemors-skyer, der dannes på grund af luftens opstigning hen over en bjergkæde.

bort af ozonlaget, men der kommer dog noget af det ned til jordoverfladen.

Ligningerne 2) og 3) beskriver hurtige processer, som regulerer den relative fordeling af ilt i form af O og O₃. Chapman afrundede sin ozonmodel med følgende ozonnedbrydende proces



Denne reaktion var i mange år den eneste proces, man kunne pege på, når man skulle forklare, hvordan der kunne etableres en balance i ozonindholdet. Samlet kan reaktionerne 1)- 4) nemlig beskrive en global ligevægt for ilt og ozon. Men man blev hurtigt klar over, at Chapmans model ikke kunne give en præcis kvantitativ beskrivelse. Det er nemlig således, at med de kendte hastigheder for processerne kunne man beregne, at der burde være væsentligt mere ozon, end man observerer. Reaktion 4) foregår langsomt og er specielt ineffektiv i højder under 25 km. Resultatet er, at levetiden for ozonmolekylerne stiger til flere år, når de via luftbevægelserne bringes ned under denne højde, hvor O-koncentrationen er ganske lav.

Den kvantitative uoverensstemmelse mellem teori og observationer afklares nedenfor, men først skal det noteres, at reaktionerne 1) - 4) faktisk giver en fyldestgørende forklaring -omend kun kvalitativ - på den vertikale fordeling af ozonindholdet. Vi kan nemlig se, at ozonkoncentrationerne må have et maksimum et stykke oppe i atmosfæren, idet ligevægtstilstanden fremkommer som resultatet af to modsat rettede effekter: styrken af den nødvendige hårde UV-stråling falder ned igennem atmosfæren, mens det tilstedeværende iltindhold stiger, og dermed sandsynligheden for dannelse af frie iltatomer, som krævet i reaktion 2). Men som antydning ovenfor spiller transporten af de dannede ozonmolekyler også en stor rolle.

Konflikten mellem det beregnede ozonindhold i stratosfæren og det målte var erkendt i 30'erne og 40'erne. Først i løbet af 50'erne blev man opmærksom på betydningen af visse stoffers katalytiske egenskaber i reguleringen af ozonindholdet. Det var især iltforbindelser af kvælstof, man fokuserede på. En medvirkende drivkraft til en stærk indsats inden for udforskningen af dette atmosfære-kemiske problem var behovet for viden om, hvilke effekter det ville have på ozonlaget, dersom man igangsatte overlydsflyvninger og senere også opsendelser af rumfærger.

I 1960'erne forestillede man sig virkelig tæt trafik med disse transportmaskiner, hvilket ville medføre meget store udslip af NO-forbindelser og klorforbindelser. Debatten blev også ført i offentligheden og var vel ligeså hed som den nuværende omkring CFC-gasserne.

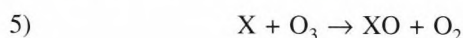
Men overlydsflyvningerne startede og rumfærgerne blev sendt op, i begge tilfælde dog i langt mindre omfang end forventet. Vi må konstatere, at hvis der overhovedet har været skader, har disse været minimale, og vores kemiske forståelse af stratosfæren giver ikke mere grund til den samme bekymring som tidligere.

Ud af debatten voksede den i indledningen omtalte stærke videnskabelig interesse for en bedre forståelse af

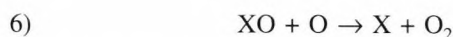
atmosfærens kemi og specielt den del, der foregår i stratosfæren. Hurtigt derefter blev meteorologerne inddraget i den igangsatte udvikling. Kimen til de meget bredt anlagte projekter for 1990'erne var dermed lagt, og den globale, tværfaglige miljøforskning var født.

Vores nuværende viden om stratosfærens kemi siger, at mængden af ozon reguleres af forbindelser som NO_x, ClO_x og HO_x. Nogle af disse er kemiske forbindelser, andre er frie radikaler, som blot deltager katalytisk i processer, der fastlægger ozonindholdet.

Hvis vi lader X repræsentere en af disse forbindelser kan de ozonnedbrydende, katalytiske processer beskrives ved følgende generelle reaktionsligninger



og



som tilsammen giver



Vi kan nu se, at nettoeffekten er præcist den samme som i Chapmans model. Pointen er blot, at processerne 5) og 6) forløber meget hurtigere. På denne måde får man en meget bedre kvantitativ overensstemmelse mellem beregnede ozonværdier og de målte.

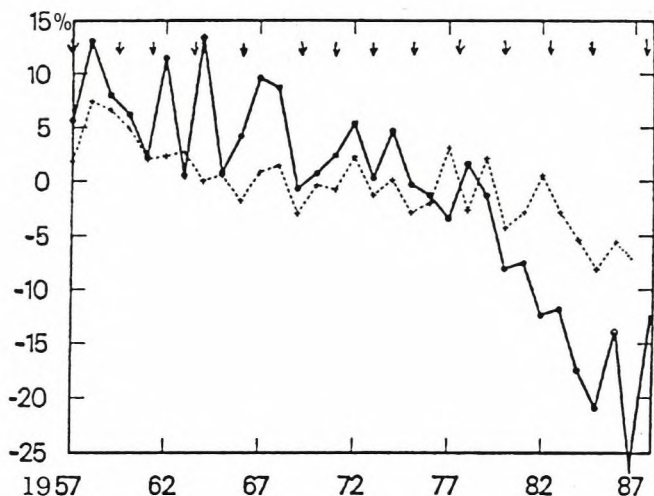
Der er naturlige kilder til de nævnte radikaler. Specielt er det interessant at spørge om kilden til NO_x. Det viser sig, at en vigtig kilde er N₂O (lattergas). Denne gas dannes i naturen for eksempel af levende organismer i jordoverfladen, men kan også have et menneskeskabt udspring for eksempel fra kraftværker. N₂O stiger forholdsvis uforstyrret op igennem troposfæren og først i stratosfæren spaltes gassen til frie radikaler. Man kan derfor udtrykke det således, at lattergas opfører sig som en slags naturens egen CFC-gas. Man kan yderligere bemærke, at livet på Jorden altså aktivt deltager i reguleringen af den for liv på én gang så livsnødvendige og giftige luftart ozon. Man skal bemærke, at mængden af N₂O i atmosfæren er stærkt stigende i disse år.

Det skal til slut nævnes, at man nu kan opfatte det som et videnskabeligt bevist faktum, at menneskeheden er i færd med at forstyrre balancen mellem de ozonregulerende katalysatorer og selve ozonproduktionen. Dette skyldes dannelsen af et nyt stort ClO_x-reservoir gennem udslip af CFC-gasser. Vi må se i øjnene, at en konsekvens heraf kan være, at de regulerende processer tager overhånd og driver balancen mod et lavere ozonindhold.

Truslen mod ozonlaget

Teoretiske overvejelser i form af beregninger med computermodeller viser, at ozonlaget omkring 20-40 km's højde er i fare for at blive udtyndet p.g.a. forurening af atmosfæren med de efterhånden så berømte og berygtede CFC-gasser, hvoraf de mest kendte er freon-gasserne.

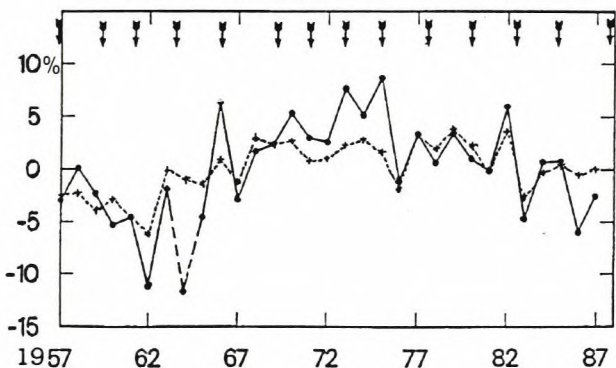
FIG 4 a



Figur 4a. Udsving i sæsonværdier af gennemsnittet af 4 stationer langs kysten af Antarktika. Den fuldt optrukne linie viser udviklingen for gennemsnittet over forårsmånederne september til december. Den prikkede kurve viser tilsvarende værdier for sommerperioden januar til marts. Udsvingene er angivet i procenter. Man skal bemærke, at udviklingen er væsentligt mindre dramatisk i sommermånederne end i foråret.

Helt nye og endnu ikke publicerede data fra 1989 synes at indikere et tilbagefald til en situation, der ligner 1987. I begyndelsen af oktober 1989 observerede man som det laveste værdier omkring 125 DU.

FIG 4 b



Figur 4b. Tilsvarende udvikling i det arktiske område, her dog gennemsnit for 12 stationer nord for 59°N. Sommer er her maj til august, mens den fuldt optrukne linie her viser vinterperioden december til marts. Man bemærker, at der ikke kan ses vedvarende tendens til lavere og lavere ozonindhold på høje breddegrader på den nordlige halvkugle.

Disse gasser er kemisk inaktive og kan overleve en langsom opstigning igennem troposfæren. Men ved ankomsten til stratosfæren begynder der at ske ting og sager. I denne højde er UV-lyset mere intenst og stærk nok til at splitte CFC-molekylerne. Et produkt af denne proces er klor i form af kloratomer, der er kemisk meget aktiv og kan deltage katalytisk i ozonnedbrydende processer. Det må kaldes skæbnens ironi, at årsagen til, at CFC-gasserne uhindret kan nå op i stratosfæren og dér true ozonlaget, lige netop er ozonlaget selv.

Det er et skræmmende faktum, at selv om vi øjeblikkeligt stoppede al CFC-udslip, ville øgningen af stratosfærens

indhold af disse gasser og produkter dannet heraf fortsætte i mange år endnu. Dette tilskrives den langsomme opstigning, der bevirker, at koncentrationerne i troposfæren er højere end i en ligevægtssituation, hvor nedbrydningen i stratosfæren lige netop balancerer transporten op fra troposfæren.

Verden blev advaret om en mulig negativ udvikling allerede i 1974, da den amerikanske kemiker Rowland fremlagde beregninger, der viste at en ozonnedbrydning måtte være igang, og at den sandsynligvis ville blive værre i årene fremover. Men signalerne fra naturen selv var ikke klare nok, og problemet tiltrak efterhånden mindre og mindre opmærksomhed. Kun i USA tog man de første spæde skridt til standsning af produktionen af CFC-gasser.

Men billedet ændrede sig radikalt i 1985, da engelske forskere kunne berette om hurtige og store fald i ozonindholdet i stratosfæren over Antarktis. Dette var begivenheden, der kunne sætte skub i udviklingen. Her var konkret syn for sagn, selv om fænomenet kun delvist er sammenhængende med det globale, generelle ozonproblem.

I faglitteraturen og folkemunde kendes det antarktiske fænomen nu som ozonhullet. I tiden efter opdagelsen frygtede man, at dette hul ville brede sig som ringe i vand, da man ved tilbageblik på satellitdata kunne se en fortsat forværring af problemet siden 1979, som vist på farvebilledet på forsiden af bladet.

Men den faktiske udvikling siden 1985 har vist, at ozonhuller nok må anses for at være reserveret de helt særlige meteorologiske forhold, der hersker ved polerne. Og ydermere er det indtil nu kun over Sydpolen, at de særlige forhold har udmøntet sig i et egentligt ozonhul. Under de særlige forhold ved polerne dannes nogle tynde iskrystal-skyer i stratosfæren omkring 20 km's højde. På partiklerne i disse skyer synes der at foregå en række kemiske processer, og man mener nu, at tilstedeværelsen af skyerne sammen med nogle kemiske stoffer, der skyldes udslippet af CFC-gasser, er baggrunden for dannelsen af ozonhuller.

Mængden af iskrystal-skyerne svinger med udsving i klimaet. I en tilbundsgående undersøgelse af ozonhulsproblemet må derfor indgå undersøgelser af klimaets udsving og årsagerne hertil. Det skal også bemærkes, at tilstedeværelsen af ozon i den nedre del af stratosfæren (specielt på høje breddegrader) kun kan forklares ved transport ned fra de højere liggende lag, hvor produktionen af ozon finder sted. Disse transporter hænger naturligvis nøje sammen med meteorologien, hvilket yderligere understreger det vigtige i koblingen mellem kemien og dynamikken/klimatologien.

En række faktorer af periodisk natur påvirker et fænomen som det antarktiske ozonhul. Dette gælder Solens aktivitetsniveau og en klimatisk begivenhed i troperne, som meteorologer omtaler som QBO'en. Disse faktorer har sandsynligvis i bestemte år (for eksempel 1988) påvirket stratosfærens ozonindhold i positiv retning, mens de i andre år bidrager til et lavere ozonindhold.

Der er altså tale om to adskilte problemstillinger: for det første en langsom, men systematisk reduktion af ozonindholdet, specielt i toppen af ozonlaget. Denne udvikling må forventes at påvirke ozonlaget over hele

Jorden. For det andet et mere lokalt problem, der indtil nu kun har ramt et sted på Jorden, nemlig Antarktis. Til gengæld har udviklingen her været dramatisk, både mht styrke og den hastighed, hvormed ozonnedbrydningen forløber.

Observationer synes at bekræfte formodningen om et generelt og globalt fald i stratosfærens ozonindhold. På grund af et begrænset data-materiale er det dog ikke muligt at beregne ozonindholdets ændring fra år til år i en helt præcis forstand.

Egentlige målemetoder har kun eksisteret i godt 50 år. Og kun ganske få steder har man målt i så lang tid. Langt de fleste steder har man kun målt ozon i 2-3 årtier. Dvs i forhold til mange andre klimatiske tidsserier er ozonserierne ganske korte. Dette gør konklusioner vedrørende langtidstendenser i ozonudviklingen problematisk.

Ydermere er kvaliteten af observationerne stærkt svingende. Kalibrering, dvs en afstemning af måleinstrumentet mod kendte værdier, er således en ganske kompliceret opgave.

Det er heller ikke nogen nem opgave at foretage en analyse af den geografiske fordeling og dermed at sammenligne flere målestationer med hinanden. Ozonkoncentrationernes store variation fra sted til sted og fra ét tidspunkt til et andet stiller store krav til den statistiske bearbejdning af observationerne. I denne forbindelse skal det nævnes, at i de sidste 10 år har satellitter givet et nyt, værdifuldt datamateriale om ozons fordeling. En af de store gevinster har været en næsten samtidig dækning af store områder. Men målinger fra satellit har ikke samme fejltyper og kilder til usikkerhed som målinger taget ved jordoverfladen, hvorfor man må være forsigtig ved sammenligninger. Hertil kommer, at satellitter ikke kan måle ozon i vintermørket omkring polerne.

Store, internationale undersøgelser konkluderer imidlertid, at der er sket et fald på nogle få procent over en længere årrække, men billedet er noget diffust, med forskelle fra sæson til sæson og fra lokalitet til lokalitet.

Der er derimod ikke noget at diskutere, når man betragter forholdene over Antarktis. Her har udviklingen som sagt været ret så dramatisk. Områder på størrelse med USA har oplevet fald i ozonværdierne på op til 50 % hvert forår, der på disse breddegrader er september/oktober. Udviklingen synes at starte omkring 1979/1980 og er fortsat helt op til 1987/1988. I 1988/1989 udviklede ozonhullet sig ikke så dramatisk som de foregående år. Dette førte naturligvis straks til spekulationer over muligheden for en tilbagevenden til forholdene fra 70'erne. Men allerede i sæsonen 1989/1990 blev disse spekulationer gjort til skamme. Hullet udviklede sig til samme rekordlave værdier som tidligere. Om der er tale om en moderne foreteelse eller ej er umuligt at sige, da der simpelt hen ikke findes nogen observationer, der kan fortælle os, om noget lignende er indtruffet tidligere. Ozon sætter hverken fod- eller fingeraftryk.

Vi har oven for gennemgået basisprincipperne i ozonkemien og diskuteret de mulige trusler mod ozonlaget. Emnet vil som nævnt blive analyseret nærmere i en senere artikel, hvori jeg vil demonstrere nogle meteorologiske forholds betydning for ozonforekomsterne, og specielt hvordan de pludselige nedbrydningsbegivenheder over Antarktis må tilskrives de helt særlige forhold dér.



Aksel Walløe Hansen Lektor ved Geofysisk Institut på Københavns Universitet. Arbejder med simuleringer af atmosfærens klima ved brug af computermødel, herunder specielt betydningen af ozonlaget.

Laserfysik ved lagerringen i Århus: laserkøling og ionstreng?

Martin Kristensen og Ove Poulsen, Det fysiske Institut, Aarhus Universitet

Ved ASTRID lagerringen¹ i Århus er de første eksperimenter med tunge ioner gennemført i foråret 1990. Gennem den tekniske afvikling af disse forsøg er ASTRID trådt frem som et velfungerende og fleksibelt forskningsredskab. Forskningsprogrammet omkring ASTRID's tungiondel består af et bredt spektrum af problemer fra atomfysik, molekylfysik, kvanteoptik, plasmafysik og acceleratorfysik. Centralt i forskningsprogrammet indgår laserkøling af lagrede ioner dels med henblik på observation af ion-kry-staller (se forklaring i boks) dels realisering af ultra-kolde ionfordelinger med henblik på fundamentale fysiske undersøgelser af for eksempel rum- og tids-strukturer.

Forklaringer på specielle begreber.

Ionkryстал: Tætpakket gruppe af kolde ioner, hvor forholdet mellem den potentielle og den kinetiske energi er større end 170. Et sådant system har mange lighedspunkter med en normal krystal, blot er afstanden mellem de enkelte partikler cirka 100 000 gange større.

Lukket optisk overgang: Elektromagnetisk overgang mellem to atomare niveauer (elektronbaner), som ikke kan henfalde til andre tilstande.

Powerforbredt absorptions profil: Form af spektrallinie, der angiver absorptionssandsynligheden som funktion af frekvensen for et atomart system, der er udsat for et resonant elektromagnetisk felt.

Landau-dæmpning: Dæmpning af en bølge i et plasma ved at dens energi absorberes af partikler, der bevæger sig med bølgens fasehastighed.

Ramsey-frynser: Interferens mellem en række af elektromagnetiske eksitationer af et atomart system med en levetid, som er lang i sammenligning med tiden mellem eksitationerne.

Elementer af dette forskningsprogram er afviklet i foråret 1990. Ion beam dynamik og laserkøling er studeret og en ultra kold ($T_0 = 500 \mu\text{K}$), 40 m lang ion-streng er muligvis observeret.

Ion stråle dynamik.

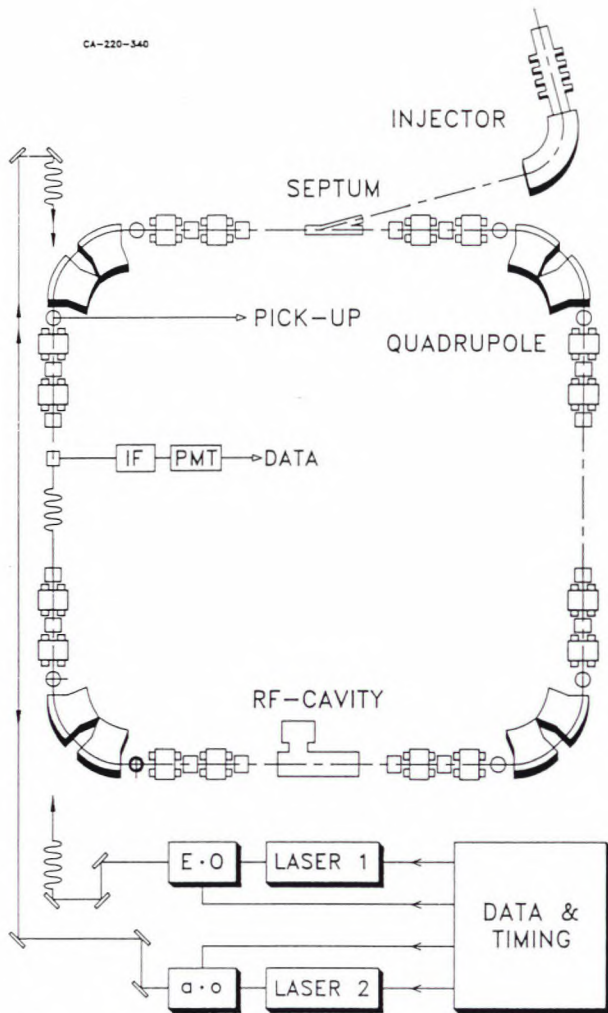
En af de vigtigste vekselvirkninger mellem ioner i et beam er intrabeam spredning. Det dominerende bidrag hertil er binære kollisioner, hvor to ioner i beamet refordeler deres kinetiske energi. Virkningen af disse processer vil være en kobling af de forskellige frihedsgrader i beamet, hvorved temperaturforskelle udlignes.

For ASTRID er udligningsprocessen hurtig sammenlignet med andre lagerringe, som vist af A. Sørensen². I løbet af de første 10 ms efter injektion af et 100 keV ${}^7\text{Li}^+$ beam i ringen vokser energispredningen fra 2 eV til 100 eV. Årsagen er, at vi injicerer et beam af specielt høj kvalitet (lille divergens, stor intensitet og lav longitudinal temperatur $T_{||}$), hvor tætte partikelstød forekommer ofte.

Laserspektroskopi er en ideel måde at studere forløbet af opvarmningen sammenlignet med andre metoder som for eksempel signaler fra en elektronisk pick-up, fordi absorptionen af fotoner ikke afhænger af kollektive fænomener i beamet. Det eneste alvorlige krav er, at den studerede ion skal have en lukket optisk overgang. En af de få ioner, der opfylder dette krav, er ${}^7\text{Li}^+$ ionen i den metastabile ${}^3\text{S}_1$ tilstand. Overgangen fra ${}^3\text{S}_1$ ($F = 5/2$) til ${}^3\text{P}_2$ ($F = 7/2$) er næsten lukket med et tab fra ${}^3\text{P}_2$ til grundtilstanden på under 10^{-5} .

Laserspektroskopien udføres med en ringlaser, som løber parallelt med ionbeamet i en af lagerringens fire lige sektioner (se figur 1). Absorption af laserlys finder kun sted, når frekvensen af det Dopplerskiftede laserlys svarer til overgangsfrekvensen for ionerne. Kun én hastighedsklasse vil være i resonans, hvorved det bliver muligt at måle den longitudinale hastighedsfordeling af de lagrede ioner ved at ændre frekvensen af laseren. Den hastighedsafhængige absorption måles ved den inducerede fluorescens, som er proportional med antallet af ioner i en bestemt hastighedsklasse. En sådan hastighedsklasse er defineret ved bredden af den powerforberedte absorptions profil. Dette begrænser opløsningen til den naturlige liniebredde. Det udsendte lys opsamles af et teleskop og detekteres med en photomultiplier (PMT). Et interferens filter (IF) diskriminerer mod laserlys, som er spredt direkte fra væggene i vakuumkammeret.

Der er god overensstemmelse mellem vore målinger af den longitudinale opvarmning og den teoretiske beskrivelse² for en helt fyldt ring. Hvis man kun fylder en del af ringen med ioner og efterlader resten tom, skifter opvarmningen



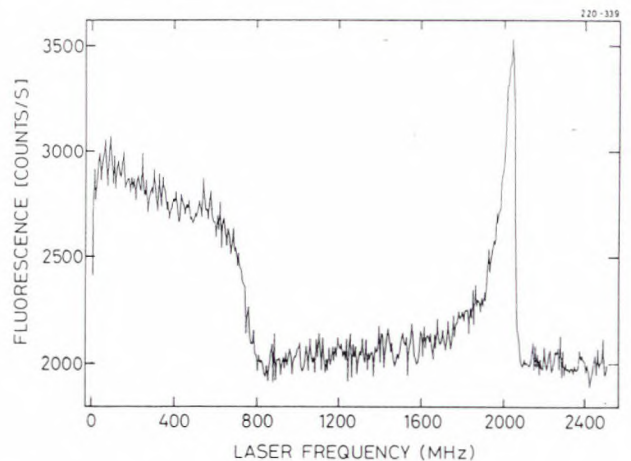
Figur 1. Skematisk tegning af ASTRID lagerringen. Nederst er angivet de to lasere, der anvendes til laserkølingen. E.O. og a.o. er optiske modulatorer, der bruges til at tænde og slukke for laserne.

karakter. Intra beam spredning er nu ikke længere dominerende, men i stedet foregår opvarmningen ved en Coulomb eksplosion, hvor enderne af ionbundet frastødes af resten af ionerne. En sådan opvarmning kan være mere end 10 gange hurtigere end intra beam spredning. Så vidt vi ved, er denne form for opvarmning ikke blevet studeret i detaljer tidligere. I andre lagerringe injiceres ionerne normalt med så stor impuls spredning, at den yderligere opvarmning ikke bemærkes.

Laser køling.

Ved laserkøling udnyttes den netto impulsoverførsel, som finder sted ved absorption af laserfotoner fra en retning og udsendelse i tilfældige retninger. Hvis man skyder én laser ind parallelt med ionbeamet og indstiller dens frekvens til at være i resonans med de langsomste ioners overgangsfrekvens og en anden laser antiparallelt med beamet og i resonans med hurtigste ioner, er det muligt at skubbe ionerne sammen omkring middelhastigheden. For de ioner, som er tæt på én af laserne, er processen meget effektiv.

Køling af et ionbeam i en lagerring v.h.a. lasere blev første gang realiseret ved TSR i Heidelberg for ca. 1 år siden³.



Figur 2. Den udsendte fluorescens fra et 100 keV ${}^7\text{Li}^+$ beam under laserkølingen. Frekvensaksen angiver ændringen af den ene frekvens fra værdien ved injektionen af ionerne. Frekvensen ændres med en hastighed på 625 MHz/s, hvorfor akse samtidig er en tidsakse, der begynder med injektionen og slutter 4 sekunder senere.

På grund af den hurtige opvarmning fra intra beam spredning er det dog ikke muligt at holde beamet koldt lige fra injektionen. Desuden er det for et ${}^7\text{Li}^+$ beam kun muligt at køle på den meget lille del af ionerne ($\sim 10^{-4}$), som er i $1s2s\ {}^3S_1$ ($F = 5/2$) tilstanden. I praksis må kølingen derfor foretages ved at placere frekvensen af lyset fra laserne et stykke væk fra den oprindelige hastighedsfordeling for at undgå at tabe for mange ioner i begyndelsen. Derefter scannes den ene lasers frekvens opad, således at alle ionerne skubbes sammen foran den anden. Figur 2 viser den udsendte fluorescens under dette scan. Spektret viser to bemærkelsesværdige fænomener: En indledende fase med megen fluorescens afsluttet med en skarp kant og en laser kølet fordeling, som opstår, når frekvensen af de to kølelasere stemmer overens i ionernes hvilesystem.

Der knytter sig en række overraskende observationer til kølespektrene. For det første er det ikke muligt at detektere nogen laser kølet fordeling før kanten, og for det andet afhænger kantens placering hverken af intensiteten, scanne hastigheden eller den præcise placering af laserne. Kantpositionen er derimod afhængig af tiden efter injektion. Det forløbne tidsinterval med høj fluorescens afhænger svagt af beamstrømmen, men lineært af længden af det bundt af ioner, som vi injicerer. Intensiteten af fluorescensen er proportional med kvadratroden af lasernes intensitet. Endelig opnås den konstante fluorescens altid indenfor 20 ms efter injektion. Positionen af den kølede top er derimod kun afhængig af laserfrekvenserne. Så snart disse stemmer overens i hvilesystemet, observeres den kølede fordeling.

Ved at måle den kølede top med væsentlig bedre opløsningssevne end på figur 2 (d.v.s. lavere laser intensitet) og sammenligne resultaterne med computer-simuleringer⁴ finder vi, at den laveste temperatur bliver ca. 500 μK . Dette svarer til en impulsspredning på $\Delta p/p \sim 10^{-6}$. Den opnåede

temperatur er væsentligt lavere end ved de tidligere eksperimenter i Heidelberg, hvor den hidtidige rekord er ca. 200 mK.

Ionstreng ?

En nærmere analyse af vore resultater tyder på, at kølingen fører til dannelse af en kold streng af ioner. Vi mener at strengen dannes i forbindelse med fluorescens-kanten ved, at den transversale energi samles på langbølgede svingninger og de longitudinale svingninger køles næsten væk. En yderligere køling af den longitudinale frihedsgrad til 500 μ K finder derpå sted under resten af scannet.

Dannelse af strengen kræver en afkobling af nogle få af ionerne fra resten. Dette kan f.eks. forekomme ved, at energien overført til de individuelle ioner i strengen ved hårde stød med varme ioner overføres til kollektive vibrationer. Energien i disse vibrationer kan delvis leveres tilbage til den varme "suppe" på grund af Landau-dæmpning. Vi er ikke sikre på, at dette er den eneste mekanisme i afkoblingen. Den næste serie af eksperimenter med laserkøling vil blandt andet sigte på at undersøge dette. Det vil også blive prøvet at køle på en anden type ioner, hvor den lukkede overgang udgår fra grundtilstanden. Herved håber vi, at blive i stand til at køle hele beamet, hvorved der er chance for at danne regulære ionkrystaller med interessante, nye strukturer. En oplagt kandidat er $^{166}\text{Er}^+$. Den lukkede overgang i denne ion ser endvidere ud til at tillade væsentligt lavere temperaturer end de 500 μ K.

Den kolde streng er dog ganske interessant i sig selv. Den giver perfekte muligheder for høj præcisions spektroskopi, fordi den lave temperatur reducerer første ordens Doppler forbreddning. Desuden åbner den lange levetid og velordnede opførsel af en ionstreng mulighed for at observere Ramsey frynser fra successive excitationer af mikrobølge-overgange i ionerne. En lagring er specielt velegnet til denne form for spektroskopi. For eksempel kan excitationerne her foretages i den samme mikrobølge-kavitet, hvilket reducerer fasefejl, og antallet af excitationer kan vælges næsten frit. Det er kun begrænset af lagringstiden og levetiden af mikrobølge kohærensene.

Ved at udnytte fordelene ved sådanne Ramsey-teknikker er der i princippet mulighed for at opnå liniebredder på Hz niveau. Ved at variere på antallet og varigheden af excitationerne muliggør dette at udføre tests af lineariteten af kvantemekanikken og rummets isotropi.

Litteratur.

1. J.F.Bak, KVANT nr. 1, 17 (1990)
2. A.H. Sørensen i CERN 87-10 (udgiver: S. Turner), 135 (Geneve, 1987).
3. S. Schröder et al.; Phys.Rev.Lett. **64**, 2901 (1990).
4. Beregninger udført af K.Berg-Sørensen og K. Mølmer.



Ove Poulsen født 1946, fysiker med baggrund indenfor atom- og laserfysik



Martin Kristensen, Ph.D. studerende ved Det fysiske Institut i Århus.



LEGESTUEN

Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet
H.C.Ørstedinstituttet, S13
Universitetsparken 5
2100 København Ø

“LEGESTUEN”

afholder

FYSIK-LEGESTUE I STUDENTERHUSET

på Købmagergade ved Rundetårn i København
fredag d. 12. oktober kl. 12 til 18 og
lørdag d. 13. oktober kl. 11 til 15.

Alle er meget velkomne og arrangementet er gratis.

Legestuen består af en flok gale fysikstuderende fra Københavns Universitet, som i efteråret har fået oprettet en fysiklegestue. Det vil sige et lokale udstyret med en masse spændende apparater, hvor de fysikstuderende kan gå hen og se, høre, føle og lugte, at fysik er andet og mere end kridt på en tavle. Ny erkendelse i naturvidenskaben er jo netop opstået som resultat at store “legebørns” leg med eksperimenter.

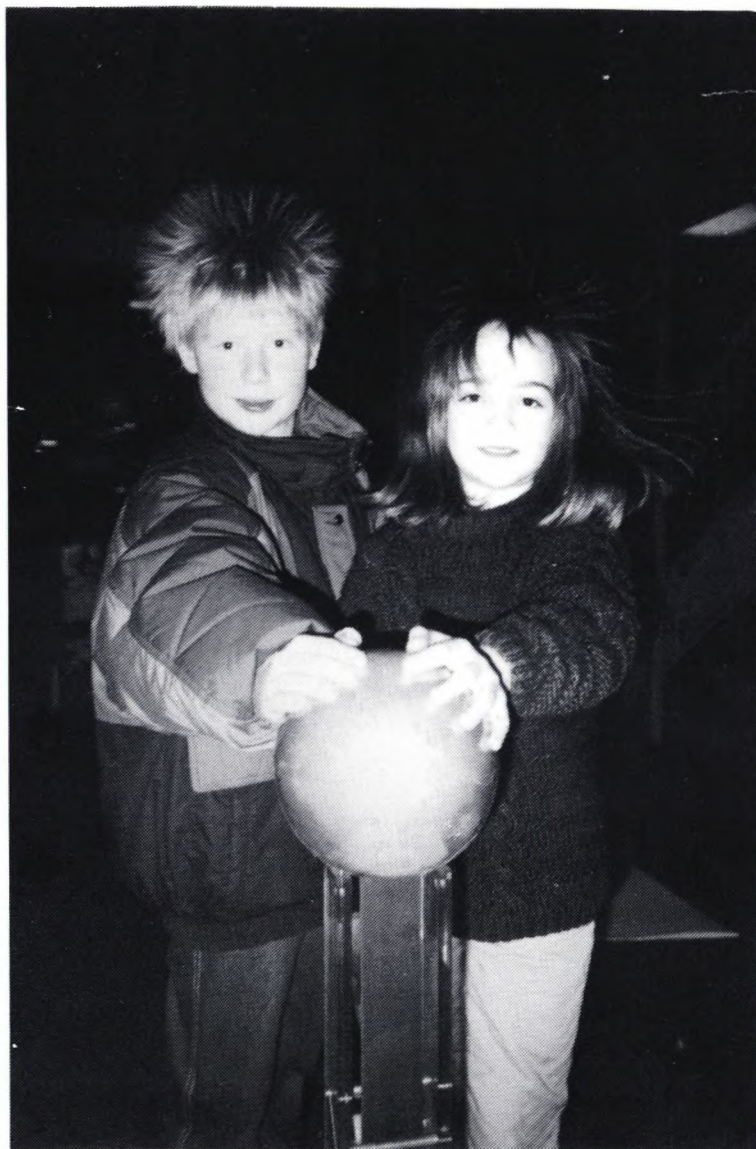
Alle disse sjove og spændende demonstrationsforsøg stiller vi op i Studenterhuset d. 12 og 13. oktober, så alle kan komme ind at opleve nogle af fysikkens mange sjove fænomener. For eksempel viser vi overbrænding af søm, computerbilleder af fraktaler og kaos, lasershow, svævende magnet, lynkøling af tulipaner med flydende luft (-200 °C koldt !) og så videre. De fleste af eksperimenterne kan I selv få lov at deltage i, og vi vil efter bedste evne med plancher og armbevægelser prøve at forklare, hvad der sker og hvorfor.

På gensyn i studenterhuset d. 12 og/eller 13. oktober.

Med venlig hilsen
LEGESTUEN

Yderligere oplysninger fås hos

Kristian Pedersen	31 31 82 31
Henrik Busch	31 81 26 94
Lasse Hemmingsen	31 17 25 50



Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab



*Fysikprisen uddeles i år af
undervisningsminister Bertel Haarder*

Dansk Fysisk Selskab afholder dette år sit årsmøde i auditorium 3 på H.C.Ørsted Institutet, Københavns Universitet i dagene 19. - 20. november 1990.

Årsmødet starter den 19. november kl. 13³⁰ med følgende program:

■ En række interessante oversigtsforedrag fra især dansk fysik:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| ■ <i>Alain Aspect:</i> | Eksperimentel efterprøvning af kvanteteorien |
| ■ <i>Robert Feidenhans'l:</i> | Overfladefysik |
| ■ <i>Klaus Mølmer:</i> | “Kolde” atomer |
| ■ <i>Claus Christensen:</i> | Den nye gymnasiefysik |
| ■ <i>Rod Cotterill:</i> | Hjernens fysik (<i>ikke endeligt bekræftet</i>) |

■ Prisoverrækkelse ved undervisningsminister Bertel Haarder.

Igen i år uddeles Dansk Fysisk Selskab's fysikpris til en internationalt anerkendt dansk fysiker, der har ydet banebrydende bidrag inden for sit felt. Prismodtageren vælges af en bedømmelseskomite, der er udpeget af bestyrelsen for selskabet. Prisen på 50 000 kr er finansieret af NKT.

■ Paneldiskussion om rekrutterings- og aldersproblemer i dansk fysik.

- Hvordan sikrer man tilstrækkelig dynamik i dansk fysik?
- Skal “faste” stillinger afskaffes?
- Er styrelsesloven impotent?
- Hvad skal der til for at tiltrække og holde på de unge talenter?

Disse og mange andre spørgsmål debatteres af et bredt sammensat panel. Ordstyrer er Søren Isaksen, koncernudviklingschef i NKT.

■ Selskabets generalforsamling

■ Årsmøde middag

Middagen incl. drikkevarer og kaffe koster 120 kr. Tilmelding foretages ved indsendelse af check på beløbet til Selskabets sekretær, Jørgen Schou, Fysikafdelingen, RISØ, 4000 Roskilde.

Spørgsmål angående årsmødet rettes til Jørgen Schou, RISØ, telefon 42 37 12 12, lokal 475. Deltagelse i årsmødet er åbent for alle og kræver kun tilmelding, hvis man ønsker at deltage i middagen.

SORØDAGE 90

Dansk Fysisk Selskab afholdt i år for tredje gang sommerkursus for elever fra 2.g i gymnasiet med emner fra fysik, astronomi og geofysik. Stedet var Sorø Akademi, som i dagene 24. juni - 2. juli var rammen om 13 pigers og 11 drenges udfoldelser. Fra Jørn Aggerholm Jensen, der går på Kalundborg Gymnasium, har vi modtaget følgende indlæg om kurset:

Stærk the og sort kaffe, ja tak!

Sorøddage 90 var en krævende fysisk og psykisk opgave. Psykisk krævende fordi vi blev proppet med lærdom hele dagen af de bedste lærere, jeg nogen sinde har været ude for. Fysisk krævende fordi vi spillede wolleyball til klokken halv tolv om aftenen. Det var skønt og pragtfuldt - ingen tvivl om det.

Fysiktimerne i gymnasiet bliver let kedelige, da det hele skal fortælles og forklares af den samme person. Her var det noget helt andet. For hvem er bedre til at forklare udviklede videnskabelige begreber end dem, som arbejder med dem til daglig. I en hel uge fik vi lov til at blive undervist af folk, der forstod det, de snakkede om, helt tilbunds. Ikke nok med at de fortalte om de forskellige ting, nej, vi fik skam selv lov til at prøve det meste. Det er ikke så tit man får mulighed for at afkøle en superleder og se en lille magnet svæve i luften.

En rapport med program, billeder, deltagerbidrag og presseomtale af kurset er under udarbejdelse og kan rekvireres fra Dansk Fysisk Selskab.

Det var for en stor dels vedkommende vores egen kære misligeholdte jord vi lærte om. Og med al respekt for lederne så tvivlede jeg godt nok en smule da de sagde, at vi skulle måle Jordens radius. Og det målebånd, der blandt andet indgik i øvelsen var kun 50 meter langt! Men hvor der er vilje er der vej og ganske rigtigt kunne det da også lade sig gøre. Min tvivl blev gjort til skamme, da resultatet lå foran os med en nøjagtighed på cirka 1 procent.

Det, jeg forsøger at sige, er at jeg har lært en masse om fysik; men at det ikke er det eneste jeg har fået ud af Sorøddage 90. Jeg har lært at man først kan sige, at man forstår en udviklet teori eller lignende hvis man kan forklare den til "ikke-fagfolk". Jeg har lært en masse om hvordan man laver et forsøg og om at hvis alt andet går galt, så prøver man sig frem. Jeg tror at min fysiklærer i 3.g har et par overraskelser til gode, når de næste fysik opgaver skal afleveres.

Gruppen af halvlederfysikere i Danmark
arrangerer i samarbejde med
Dansk Fysisk Selskab
emnemøde om

AKTUEL HALVLEDERFYSIK

på TFL i Hørsholm
onsdag den 14. november 1990.

■ Inviteret foredragsholder:

civ.ing. dr.techn. Jens Buus
Plessey Research, Caswell, UK.

■ Laboratoriebesøg på TFL.

Reserver dagen, hvis du har lyst at deltage.

Nærmere oplysninger: Peer Tidemand-Petersson, TFL, tlf. 45 76 64 44

Molekylære superledere og metaller.

Klaus Bechgaard, Kemisk Institut og CISMI, Københavns Universitet

Indledning

Kemikere, som beskæftiger sig med faste molekylære stoffers egenskaber, drives ofte af en interesse for at forstå, hvordan et enkeltmolekyles egenskaber transformeres til kollektive egenskaber i materialet. Af særlig interesse er de materialer, hvor molekylerne holdes sammen af svage vekselvirkninger, i modsætning til traditionelle metaller og covalente materialer. Faststoffysikerens interesse for de samme materialer næres af, at de omtalte svage intermolekylære vekselvirkninger, giver anledning til meget exotiske egenskaber, ofte i kombination med, at stofferne opfører sig som en- eller to-dimensionale, snarere end som tre-dimensionale.

I fremstillingen og undersøgelserne af de såkaldte molekylære eller syntetiske metaller mødes to grupper forskere, organiske kemikere og faststoffysikere, som ellers (pr. tradition) sjældent har haft meget at tale om.

Begge grupper får tilfredsstillet deres ønsker: Kemikerne kan fremstille en række nye spændende molekyler og aflede materialer af dem; faststoffysikerne finder i disse materialer en række nye (materiale)egenskaber, som det er vanskeligt at observere i mere traditionelle atomare materialer.

I et historisk perspektiv, har en model for mulig højtemperatur superledning* i anisotrope materialer, fremsat i 1964 af W.A. Little¹, haft stor betydning for interessen for molekylære materials egenskaber. Inspireret af teorien for de dengang kendte superledere foreslog Little en ny mekanisme. I en simpel version af Little modellen, kan man forestille sig, at en en-dimensional elektrisk ledende kæde af atomer eller molekyler har flade farvestof molekyler bundet vinkelret på kæden. En kobling mellem ledningselektronerne og højfrekvente ladningsflytninger i farvestoffet giver mulighed for, at ledningselektronerne i kæden parvis tiltrækker hinanden og danner de såkaldte Cooper-par, som ligger bag den superledende tilstand. En simpel energibetragtning (sammenligning mellem phonon og excitationer-frekvenser) antyder, at Cooper-par dannelsen kan foregå allerede ved 1000 K. Der er endnu ikke (naturligvis) beskrevet systemer, hvor Little modellens gyldighed er påvist, men Littles forslag øgede interessen for lav- eller en-dimensionale elektriske ledere markant i begyndelsen af 70'erne. En række materialer er blevet fremstillet siden da og har givet anledning til observation af en række spændende lav-dimensionale faststoffænomener.

Lav-dimensionale systemer.

En lav-dimensional fysisk model bliver relevant, hvis et givet fast stof har en struktur, som kan beskrives som

strenge (1-D), eller planer (2-D), hvori atomer eller molekyler er tættere sammenkoblede (eller pakkede) end strengene eller planerne indbyrdes. Disse modeller er et udgangspunkt for beskrivelsen af de molekylære materialer, da disse oftest er opbyggede af "en-dimensionale" stakke af plane molekyler (1-D). Stakkene kan derefter f.eks. arrangeres i lag (2-D) med nogen interstak-kobling, og/eller være så svagt koblede, at den en-dimensionale beskrivelse er den mest relevante. Hvis man skal "vælge" mellem en- eller to-dimensionalitet, er der flere grunde til at man systematisk bør forsøge at fremstille elektrisk ledende eller superledende systemer med en vis to-dimensionalitet. En overgang til en superledende tilstand er en faseovergang, og man kan vise, at et to-dimensionalt system vil udvise færre ødelæggende fluktuationer end et en-dimensionalt system. Også for at opnå almindelig god elektrisk ledningsevne i et materiale bør man tilstræbe en vis 2-D karakter, idet en 1-D ledningsvej nemt kan afbrydes af en defekt i kæden, og ladningsbærerne kan så kun passere, hvis det er nemt at hoppe til en nabokæde.

En familie: TMTSF₂X og TMTTF₂X

Betegnelserne TMTSF og TMTTF skal ikke læses som sædvanlige kemiske formler. TMTTF betyder "Tetra-Methyl-Tetra-Thio-Fulvalen" og molekylet ses herunder til venstre.



TMTTF

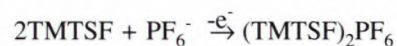
TMTSeF

Den centrale del bestående af to femleddede kulstofringe holdt sammen med en dobbeltbinding, kaldes fulvalen. Fire kulstofatomer er skiftet ud med svovlatomer ("Tetra-Thio-"). Hver af de fire frie arme i hjørnerne betyder, at der er påhæftet en methylgruppe, -CH₃ ("Tetra-Methyl-").

Figuren til højre viser den analoge struktur af TMTSF = "Tetra-Methyl-Tetra-Selena-Fulvalen".

En af de mest intensivt undersøgte familier af molekylære ledere er afledt af molekylerne TMTSF og TMTTF.

Disse to molekyler danner ved oxidation i nærvær af uorganiske monovalente anioner simple salte med 2:1 stochiometri². For eksempel



* Næste nummer af KVANT vil være et temanummer om superledning (red.)

Ved at variere anionerne har man fremstillet et stort antal forbindelser med samme struktur, som har en række interessante egenskaber.

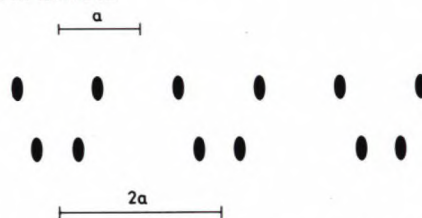
En nøgle til forståelse af disse egenskaber får man ved at undersøge strukturen af materialerne (Fig. 1). De flade TMTSF (eller TMTTF) molekyler stables i zig-zag stakke (1-D). I stakkene er vekselvirkningen mellem molekylernes elektronsystemer forholdsvis stærk, og der kan dannes et (1-D) ledningsbånd. Stakkene anbringes så i lag (2-D), hvor vekselvirkningen mellem stakkene ikke er helt forsvindende. Mellem lagene finder man lag af anioner med ædelgasstruktur. Fra et strukturelt synspunkt vil man derfor forvente et anisotrop materiale med overvejende en-dimensional karakter, men koblingen i lagene gør, at man ikke kan se helt bort fra 2D effekten.

TMTSF og TMTTF familiens fysiske egenskaber

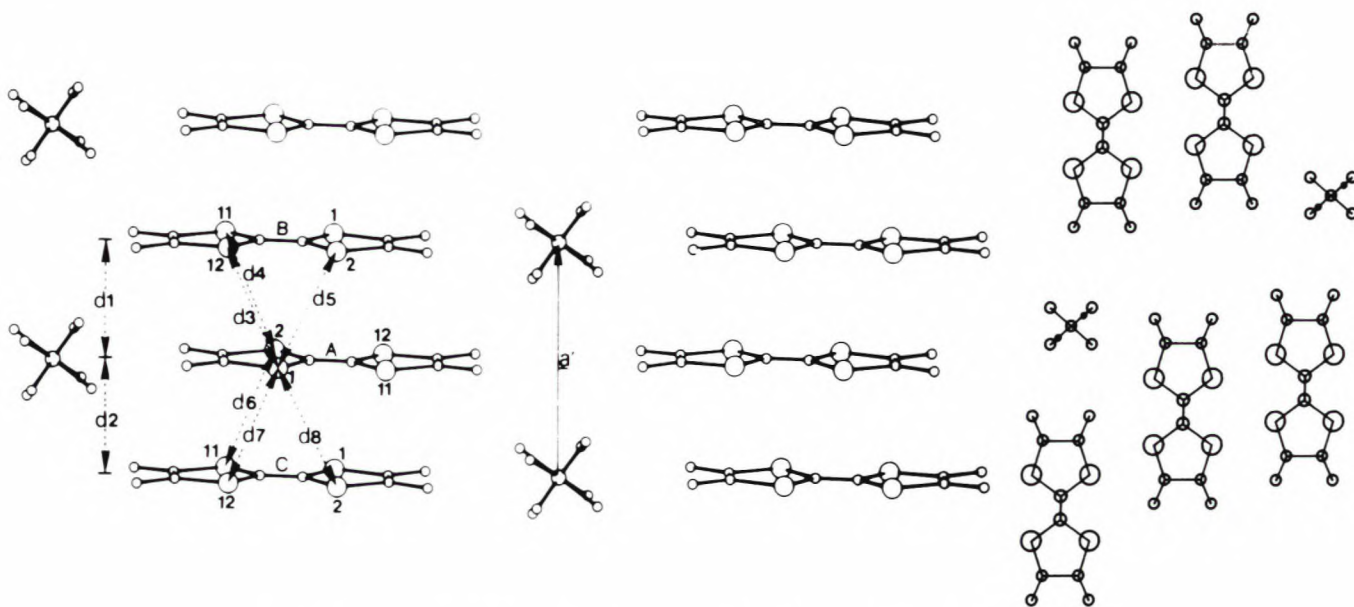
De fleste af TMTSF og TMTTF saltene er metaller. D.v.s. at den elektriske ledningsevne stiger med faldende temperatur. Ved lav temperatur foregår der i mange materialer en faseovergang til en isolerende tilstand. Faseovergangen er i overensstemmelse med, at stofferne primært lader sig beskrive i en 1-D model. Det der adskiller (TMTSF)₂X familien fra andre familier af molekyllære ledere er, at grundtilstanden er en såkaldt spintæthedsbølge, spin density wave, SDW tilstand, hvor de fleste andre 1-D-materialer har en såkaldt ladningstæthedsbølge, charge density wave, (CDW) grundtilstand. SDW-tilstandens egenskaber minder om en antiferromagnetisk tilstand. Spinbølger er tidligst beskrevet for chrom. Hvis man underkaster SDW-tilstanden i TMTSF₂X hydrostatisk tryk, bliver materialet superledende ($T_c \approx 1$ K ved 12 kbar). Man kan altså gå direkte fra en isolerende (antiferromagnetisk) grundtilstand til en superledende tilstand.

CDW og SDW

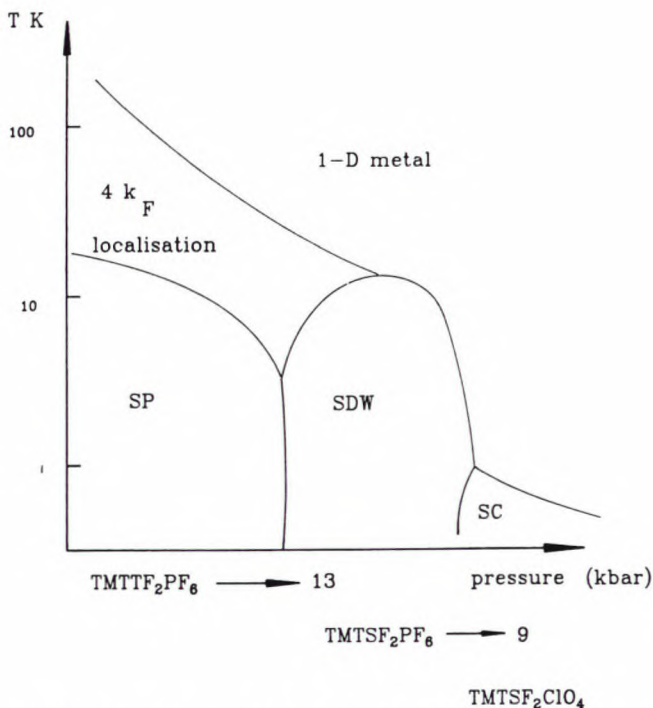
En ladningstæthedsbølge (Charge Density Wave) er et kvantemekanisk fænomen, der kan opstå i et en-dimensionalt ledende system. En bølgeformet periodisk deformation af kæden i dennes længderetning kan undertiden ændre tætheden af elektrisk ladning på en sådan måde, at systemets energi bliver lavere end i den udeformerede tilstand. I givet fald er ladningstætheden fordelt bølgeformet langs kæden. På figuren er øverst en udeformeret molekylkæde med perioden a . Nederst er kæden deformeret under indvirkning af en ladningstæthedsbølge med perioden $2a$ (den nye periode varierer fra tilfælde til tilfælde). Kæden er elektrisk neutral.



I en spintæthedsbølge (Spin Density Wave) er det elektronernes egenskab som elementarpartikel, der er afgørende. Elektronerne har også fordelt sig i et bølgeformet mønster, men sådan at nogle har deres magnetiske nordpol opad, andre nedad. Indvendigt er kæden stærkt magnetisk (derfor "ferromagnetisk"), men udvendigt synes den umagnetisk, fordi lige så mange elementarmagneter peger i en given retning som i den modsatte ("anti-ferromagnetisk"). Kæden som helhed er umagnetisk, "magnetisk neutral".



Figur 1. Struktur af TMTSF₂X-serien. Bemærk de skrå lag af molekyllækæder i figurens højre del.



Figur 2. Generaliseret fase-diagram for (TMTS(T)F)₂X serierne med "delokalisering" som X-akse, her repræsenteret ved trykket (d.v.s. stigende tæthed). SC betegner den superledende fase og SDW en fase med spintæthedsbølger. De to faser ved lave tryk behandles ikke i artiklen. For hvert af de tre nævnte stoffer skal trykskalaens nulpunkt placeres lidt til venstre over det første "T" (Det tredje stof, perchloratet, bliver med andre ord superledende allerede ved trykket 0).

Efter undersøgelse af en lang række TMTSF₂X og TMTTF₂X salte, som er isostrukturelle og kun adskiller sig ved, at X (den uorganiske monovalente anion) giver anledning til små ændringer af gitterkonstanterne, har man opstillet et generelt fase-diagram. (Fig. 2).

I dette fase-diagram vokser abscissen med stigende grad af delokalisering. Man prøver altså at give et generelt billede af alle materialerne ved at antage, at små ændringer af strukturen giver anledning til, at ladningsbærerne enten lokaliseres (isolatorer) eller delokaliseres (metaller, superledere).

Både den superledende grundtilstand og SDW tilstanden er blevet intensivt undersøgt, fordi man her har en række materialer, som med svage ændringer kan forandre grundtilstanden.

Undersøgelser af den superledende tilstand har givet anledning til forslag om en ny mekanisme for superledning⁴. Måske er SDW tilstanden set ud fra et teoretisk synspunkt endnu mere interessant. F.eks. er det lykkedes i kraftige elektriske felter at observere ikke-lineær ledningsevne, altså afvigelser fra Ohm's lov, i SDW tilstanden⁵.

Felt-induceret-spintæthedsbølge, FISDW)

Som omtalt ovenfor er den antiferromagnetiske (SDW) grundtilstand den normale i mange af medlemmerne af TMTSF familien. Hvis man imidlertid har etableret en superledende grundtilstand (lav T, højt tryk) og lægger et kraftigt magnetfelt vinkelret på "planerne" af TMTSF kæden, får man et interessant fænomen at se. Først forsvinder den superledende tilstand, og materialet bliver metallisk. Når magnetfeltet bliver tilstrækkelig kraftigt (ca. 5 Tesla),

ser man en effekt, som først (fejl)fortolkedes som de gammelkendte Shubnikov-de Haas oscillationer. En række efterfølgende eksperimenter (Hall-effekt målinger, varmekapacitet etc.) har vist, at der er sket en faseovergang til en tilstand, som har yderst exotiske egenskaber. Hall-effekt målinger viser trin, som ligner kvante Hall-effekten (QHE), og den teoretiske beskrivelse viser, at systemets egenskaber kan fortolkes i en model, som ligner beskrivelsen af QHE⁶. I meget høje magnetfelter og under svagt ændrede P,T forhold ses yderligere en opførelse, som minder om fraktionel QHE⁶.

Konklusion

Undersøgelse af molekulære superledere har (endnu) ikke ført til påvisning af højtemperatur superledning som oprindeligt foreslået af W.A.Little.

I stedet har vi fået familier af forbindelser, hvor en række egenskaber, som man ellers må søge i meget forskellige typer materialer optræder i én strukturtype, når man blot ændrer omstændighederne svagt (temperatur, elektriske og magnetiske felter).

De usædvanlige fænomener er:

1. Overgang fra Antiferromagnetisme til superledning
2. Spintæthedsbølger og ikke lineær ledningsevne
3. Magnetfeltersinduceret spintæthedsbølge, med QHE og fraktionel QHE karakter

En nøgle til forståelse af de samlede materialeegenskaber i TMTSF₂X serien har vi endnu ikke, men det synes klart, at de molekulære ledere må have mange flere overraskelser at byde på.

Referencer:

1. W.A. Little, Phys.Rev. **A134**, 1416 (1964).
2. K. Bechgaard, C.S. Jacobsen, K. Mortensen, H.J. Pedersen og N. Thorup, Sol. State Commun. **33**, 1119 (1980).
3. K. Mortensen, Y. Tomkiewicz, T.D. Schulz og E.M. Engler, Phys.Rev.Letters **46**, 1234 (1981).
4. C. Bourbonnais, Low dimensional conductors and superconductors. D. Jérôme og L. Caron ed. *NATO Advanced Study Series, Ser.B. Vol. 155*, 155 (Plenum 1987).
5. S. Tomic, J.R. Cooper, D. Jérôme og K. Bechgaard, Phys.Rev.Letters **62**, 462 (1989).
6. P.M. Chaikin, J.S. Brooks, S.T. Hannahs, W. Kang, G. Montambaux og L.Y. Chiang, *Springer Proceedings in Physics*, Vol. 51, p. 81 (1990).



Klaus Bechgaard. Professor i organisk kemi ved Københavns Universitet. Har arbejdet med syntetiske metaller siden 1974. Arbejder desuden med "molekylær elektronik" og med elektriske, optiske og magnetiske egenskaber af tynde molekulære film.

Teknologi og naturvidenskab

Hans Siggaard Jensen, DASY, Handelshøjskolen i København

Henry Nielsen, Det fysiske Institut, Aarhus Universitet

Keld Nielsen, Institut for Videnskabshistorie, Aarhus Universitet

Denne artikel er skrevet af forfatterne til "Skruen uden ende". De beskriver her baggrunden for bogen og omtaler et af de emner, der behandles i bogen.

Redaktionen

I august 1990 er *Skruen uden ende - den vestlige teknologiske historie*¹ udkommet på Teknisk Forlag, en ny dansk teknologihistorie som blandt andet er skrevet til brug for undervisningen i gymnasiet og som en del af kursusmaterialet ved de videregående uddannelser. Bogen er blevet til på initiativ af Teknisk Forlags Fond, der har støttet projektet økonomisk gennem hele tilblivelsesfasen.

Forfatterne har i bogen forsøgt at belyse under hvilke omstændigheder en række udvalgte teknologier er opstået og hvilke faktorer, der har været med til at bestemme deres videre skæbne. Vi har forsøgt at undgå lammende forenklinger, og forhåbentlig fremgår det af bogen, at samspillet mellem teknologi og faktorer som naturvidenskab, økonomi, politik, teknologisk tradition, kultur og opfindertalent er kompliceret, og at det ikke er muligt at give nogen simpel formel for, hvornår den ene og hvornår den anden faktor betinger gennembruddet af en ny teknologi. Men vi har afholdt os fra at fortælle hele historien hver gang. Med ret hård hånd er nogle eksempler valgt ud, der illustrerer et enkelt eller nogle få karakteristiske træk ved udviklingen af denne eller hin teknologi. Hvert af bogens 19 kapitler har så at sige sin egen pointe. I tid dækker bogen perioden fra tidlig Middelalder frem til i dag, og emnemæssigt behandles områder lige fra bogtrykkerkunst over elektrificering til moderne datateknologi.

Teknologi forstået som anvendelse af redskaber og processer for at tilfredsstille menneskers behov og ønsker er en form for menneskelig aktivitet, der har eksisteret i alle samfund og til alle tider. I vore dage er teknologi så tæt sammenvævet med naturvidenskab, at det kan være svært at se, hvor grænsen går, og mange er derfor tilbøjelige til at opfatte teknologi som anvendt naturvidenskab. Forholdet mellem teknologi og naturvidenskab er under alle omstændigheder et meget aktuelt problem, og emnet har været et af de mest omdiskuterede blandt teknologihistorikere i de sidste tyve år. I *Skruen uden ende* spiller dette emne da også en central rolle. I det følgende bringes et - let modificeret - uddrag af bogens kapitel 11, der er et oversigtskapitel med titlen "Den teknologiske udviklings karakter". De personer og opfindelser, der nævnes i uddraget, er udførligt omtalt i de foregående kapitler i bogen.

Empirisk og videnskabsbaseret teknologi

I langt størstedelen af perioden fra de første jæger- og samlerskulturer opstod for titusinder af år siden og indtil i dag, har teknologien næsten udelukkende været af empirisk art. Empirisk teknologi er i sin rene form en teknologi, hvor redskaber, teknikker og produktionsprocesser er resultater af en overleveret tradition. For eksempel er den teknologiske viden, der overleveres fra mester til lærling, fra generation til generation, ofte af ikke-verbal natur, og det mest essentielle, en dygtig håndværker skal kunne, findes ikke at læse i nogen bog. Empirisk teknologi udvikler sig langsomt, ofte overlever de samme metoder uden væsentlige ændringer i hundreder af år. Når der endelig sker ændringer, sker de ved "trial and error metoden", en metode der nødvendigvis må resultere i en langsom ændringsproces. Det gælder i hvert fald så længe, håndværkeren må nøjes med at eksperimentere med selve de produkter, han skal levere, og det har han af økonomiske grunde måttet gøre gennem størstedelen af historien. For eksempel har en skibsbygger i Middelalderen vel aldrig haft mulighed for at bygge egentlige forsøgsskibe, hvor han har kunnet afprøve sin nye ide, for hvis ideen ikke duede, ville han næppe kunne overleve det økonomiske tab. Han var bundet til hver gang at levere et skib, der kunne sejle mindst lige så godt som hans tidligere skibe; ændringer måtte derfor indføres lidt efter lidt. Det nye skib måtte laves næsten identisk med det gamle, ellers var risikoen for stor.

Det betyder dog ikke, at teknologiske gennembrud var umulige, før naturvidenskaben kom til og bragte nytænkning og nye muligheder. Tværtimod skete der f.eks. i Middelalderen adskillige store teknologiske gennembrud, de indtraf bare sjældent. Og alt tyder på, at de skete der, hvor der tilfældigvis fandtes særligt gunstige konstellationer af samfundskabte behov og ønsker samt dygtige håndværkere, der levede i relativt sikre økonomiske kår.

Da teknologien for alvor begyndte at vekselvirke med naturvidenskaben via de naturvidenskabeligt uddannede ingeniører, fik den empiriske teknologi tilført nye og fremmede, men særdeles slagkraftige, impulser. Ingeniørerne opstod som en særlig klasse af teknologer, der - via deres uddannelse - var i stand til at tilføre teknologien elementer fra naturvidenskaben: måleteknik, en forståelse af at naturen

kan sættes på tal, anvendelsen af matematik, en systematisk tilgang til problemløsning i form af analyse af problemerne (et stort problemkompleks deles op i delproblemer, som angribes et ad gangen), modelbetragtninger, systematiske forsøg etc. Men ingeniørkunst og anvendelsen af matematik i den form, der er almindelig blandt ingeniører, er ikke det samme som naturvidenskab, selv om teknologens arbejde har mange træk fælles med naturvidenskabelig frontforskning. Teknologiens mål er noget ganske andet end naturvidenskabens. Hvor det i naturvidenskaben er målet at komme til den største generelle forståelse af, hvordan naturen opfører sig, så er teknologen ofte tvunget til at studere naturens opførsel intenst, men hans mål er at løse et begrænset problem, og jo mere han kan indsnævre sit problemfelt, jo bedre er han til sin opgave. Teknologens opgave er at fremstille *noget der fungerer, som han eller hun ønsker*; det er mindre væsentligt for teknologen at gøre rede rede for, hvorfor det fungerer.

Teknologien skiftede altså til en vis grad karakter, efterhånden som de naturvidenskabeligt trænede ingeniører blev ansvarlige for udformningen af teknologien. Men teknologien blev ikke dermed videnskabsbaseret, for størsteparten af den teknologiske udvikling fandt fortsat sted, uden at ingeniørerne havde relevante naturvidenskabelige teorier at trække på. Det gjaldt f.eks. de fleste af de tekniske fremskridt, der var nødvendige for, at produktionen af jern og stål kunne mangedobles i løbet af 1800-tallet. Det gjaldt opfindelse og udvikling af drejebænke og værktøjsmaskiner i det hele taget. Og det gjaldt en lang række af de opfindelser (f.eks. støvsuger, symaskinen, skrivemaskinen og cyklen), der idag er så almindelige i hverdagen, at man kan være tilbøjelige til at glemme, de ikke har eksisteret altid.

Naturvidenskaben har imidlertid også influeret teknologien på anden måde end gennem ingeniørerne. Visse industrier, f.eks. den elektriske og den kemiske industri, kunne slet ikke være kommet igang, uden at naturvidenskaben først havde skabt en fond af viden om elektriske og magnetiske fænomener, for disse fænomener lader sig ikke forstå og beskrive på samme umiddelbare plan, som man kan forstå og beskrive mange mekaniske fænomener. Da teknologiske gennembrud indenfor disse industrier altså forudsætter i hvert fald en vis naturvidenskabelig indsigt, er det blevet sædvane at betegne disse industrier som videnskabsbaserede industrier. Betegnelsen er almindelig, og vi også har benyttet den i *Skruen uden ende*, men i grunden er den ikke heldig, for den kan let føre til godtagelse af en udbredt myte.

Myten om teknologi som anvendt naturvidenskab

Den mest sejlivede og udbredte myte om teknologisk udvikling er formodentlig netop, at teknologi er anvendt naturvidenskab. En amerikansk teknologihistoriker, George Wise, udtrykker det på denne måde:

“Den oversimplificerede model, som foretrakkes af folk, der driver politik, fremstiller videnskab og tekno-

logi som et samlebånd. Begyndelsen af samlebåndet er en ide i videnskabsmandens hoved. Ved efterfølgende arbejdsstationer langs samlebåndet bliver der udført operationer med etiketterne: anvendt forskning, opfindelse, udvikling, og markedsføring, hvorved ideen transformeres om til en innovation. Et samfund, der stræber efter innovationer, skal ifølge samlebåndsmodellen investere penge i ren naturvidenskab ved samlebåndets forende. Til sin tid vil der komme innovationer ud i den anden ende.”²

Den populære fremstilling af, hvorledes James Watt opfandt den separate kondensator til dampmaskinen i 1765, bruges ofte til at underbygge denne falske myte. Myten vil hævde, at instrumentmageren Watt først var i stand til at gøre denne

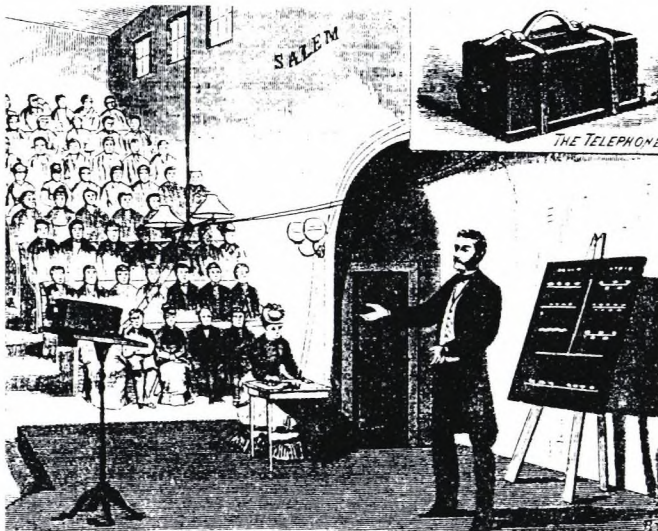


Figur 1. James Watt (1736-1819) studerer den model af en newcomen-dampmaskine, der var den direkte anledning til hans opfindelse af den separate kondensator i 1764-65. Billedet, der blev offentliggjort i 1869, fremstiller Watt som den geniale opfinder, der i ophøjet ensomhed løser en næsten uløselig opgave i et øjeblik guddommelig inspiration. Det er billeder som dette, der har været med til at skabe den populære myte om, at uden James Watt ville der kun eksistere primitive dampmaskiner - og uden James Watt ville Den industrielle Revolution derfor ikke være kommet ud af stedet.

opfindelse, efter at naturvidenskabsmanden Joseph Black havde fortalt ham om sine nye forskningsresultater vedrørende latent varme i damp. Men dette er urigtigt, både fordi det strider mod Watts sagsfremstilling, men også - og det er mere væsentligt - fordi det ikke spillede nogen afgørende rolle i selve opfindelsesprocessen. Watt havde allerede på egen hånd målt vands fordampningsvarme før samtalen med Black. Gennem samtalen med Black fik han en naturvidenskabsmands ord for, at hans målinger var gode nok, og at han havde (gen)opdaget et fænomen, som Black allerede

havde døbt latent varme. Kendskabet til eksistensen af latent varme i damp hjalp således Watt til at forstå, hvorfor der skulle bruges så meget kølevand for at kondensere dampen i kondensatoren, men ideen om at separere cylinder og kondensator har ikke meget med latent varme at gøre. Den engelske videnskabshistoriker, D.S.L. Cardwell, har på en yderst overbevisende måde påvist, at historien er og bliver en myte.³

Selv hvis vi indskrænker os til at betragte teknologiske nyskabelser indenfor én af de såkaldte videnskabsbaserede industrier, er samlebåndsmodellen utilstrækkelig som forklaringsmodel. Lad os f.eks. betragte opfindelsen af telefonen. Ved første øjekast virker det, som om vi her har et skoleeksempel på, at udviklingen er forløbet efter samlebåndsmodellen: først kommer fysikerne Voltas, Ørsteds og Faradays fundamentale naturvidenskabelige opdagelser i første trediedel af 1800-tallet, derefter omsætter teknikeren og opfinderen Bell disse rene naturvidenskabelige opdagelser i en konkret opfindelse, telefonen. Bells opfindelse gennemløber nu en udviklingsfase i laboratoriet, inden den er klar til at komme på markedet, hvor den i løbet af kort tid revolutionerer alle industrialiserede samfunds kommunikationssystemer.



Figur 2. Professor Graham Bell (1847-1922) præsenterer sit nye legetøj for overklassen på en foredragsturné få måneder efter, at han havde opfundet telefonen i 1875-76. Telefonen er et godt eksempel på en opfindelse, der ikke er fremkommet som svar på et samfundsskabt behov. Før 1876 var alle kommunikationseksperter enige om, at telegrafene var den eneste realistiske løsning på behovet for hurtig langdistancekommunikation. Alle deres anstrengelser gik derfor ud på at forbedre telegrafene.

Men der er alvorlige problemer ved denne fremstilling. Den gør det f.eks. vanskeligt at forstå, hvorfor telefonen først blev opfundet i 1876, men da til gengæld af to personer, der arbejdede uafhængigt af hinanden, Graham Bell og Elisha Gray. Hverken Grays eller Bells telefonopfundelser gør brug af mere avanceret elektromagnetisk viden end den, der var kendt i henholdsvis 1821 og 1831. Såfremt telefonen - som samlebåndsmodellen foreskriver - alene skulle være

en konsekvens af naturvidenskabelige opdagelser, synes denne forsinkelse at være urimeligt lang. Antallet af opfindere, ingeniører og teknikere, som havde i hvert fald et nødtørftigt kendskab til Ørsteds og Faradays love, var betydeligt allerede i 1830'erne og øgedes for hvert år, der gik. Et nærmere studium af begivenhederne forud for opfundelserne i 1876 har da også afsløret, at det ikke var den naturvidenskabelige indsigt, der satte Bell og Gray på sporet af telefonen. Det var for begges vedkommende et ønske om at tjene penge og vinde hæder ved at videreudvikle en helt anden teknologi, nemlig datidens højteknologi, telegrafteknologien. Begge arbejdede de på at opfinde en brugbar multiplekstelegraf, da de uafhængigt af hinanden snublede over opdagelser, der satte dem på sporet af telefonen. Men ikke samme slags telefon. Og de fulgte heller ikke deres respektive spor med samme ihærdighed, for de to mænds uddannelsesmæssige baggrund og samfundsmæssige relationer var i sidste instans mere afgørende end deres naturvidenskabelige basisviden, hvor Elisha Gray i kraft af sin ingeniøruddannelse havde et overtag.

$$\text{rot } \mathcal{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{i}$$

$$\text{div } \mathcal{D} = 4\pi \rho$$

$$\text{rot } \mathcal{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$$

$$\text{div } \mathcal{B} = 0$$

Figur 3. De berømte Maxwell-ligninger, der blev opstillet af James Clerk Maxwell (1831-1879) i 1863-65, sammenfatter på en yderst elegant og kompakt måde fysikernes viden om elektromagnetisme. Gennem et nærmere studium af ligningerne forudsagde Maxwell, at en svingende elektrisk ladning, ville give anledning til elektromagnetiske bølger, der fra kilden bredte sig ud i rummet med lysets hastighed. Denne erkendelse var en nødvendig forudsætning for opfindelse og udvikling af den trådløse telegraf, radioen, radaren og fjernsynet, men den var langt fra tilstrækkelig. Store økonomiske og militære interesser var på spil - og personlige relationer mellem hovedpersonerne i den teknologiske udvikling spillede ligeledes en vigtig rolle.

Til trods for at adskillige anerkendte naturvidenskabsmænd stadig ynder at fremstille samlebåndsmodellen som en næsten selvindlysende forklaring på moderne teknologisk udvikling, er den i de sidste tyve år blevet så kraftigt angrebet fra historisk hold, at den idag stort set er forladt af alle teknologihistorikere. I stedet opfattes teknologi og naturvidenskab som områder for menneskelig aktivitet, der i grove træk udvikler sig autonomt i forhold til hinanden. "Ny teknologi gror for det meste ud af gammel teknologi, ikke ud af naturvidenskab", som Melvin Kranzberg udtrykker det⁴. Hver af disse aktivitetsområder repræsenterer en sum af viden, og fra tid til anden har det ene område behov for at trække på viden fra det andet. Således måtte tekni-

keren Bell trække på naturvidenskabelig viden for at kunne opfinde sin telefon, men der var mange andre former for viden, han også havde brug for, og som var lige så væsentlige. For eksempel viden om elektrisk-mekanisk lydgenerering (han var professor i taleteknik ved et døveinstitut i Boston), patentlovgivning, finansieringskilder samt ikke mindst viden om multiplekstelegrafi.

Som antyd det går påvirkningen går dog ikke bare fra naturvidenskab til teknologi. Naturvidenskab har i flere hundrede år udnyttet teknologien som en helt nødvendig forudsætning for at kunne opbygge eksperimentelt udstyr, hvormed den naturvidenskabelige erkendelse har kunnet gøre fremskridt. Men derudover kan man finde mange eksempler i historien på, at en naturvidenskabelig udvikling først er kommet igang, fordi naturvidenskabens udøvere har skullet forklare, hvorfor allerede eksisterende teknologi fungerede, som det gjorde. At den fungerende dampmaskine har været en afgørende årsag til udviklingen af den fysiske disciplin, vi kalder termodynamikken, er kun et enkelt, men til gengæld meget velkendt eksempel på en overførsel af viden fra teknologifæren til naturvidenskabssfæren.

Vekselvirkningen mellem naturvidenskab og teknologi er et uhyre komplekst fænomen, der ikke kan sættes på en simpel formel. I mangel af bedre har teknologihistorikere forsøgt at beskrive situationen ved hjælp af forskellige metaforer, der fanger væsentlige sider af forholdet mellem

de to aktivitetsområder. Mest kendt er nok amerikaneren Edwin Laytons "mirror image twin" metafor⁵. Teknologien blev i løbet af 1800-tallet ikke bare afhængig af naturvidenskab. Istedet udviklede den sin egen vidensbase, fik sine egne eksperter, professionelle institutioner og publikationspraksis (derfor tvillinger). Men den vægt, der lægges på elementer fra vidensbasen er modsat (derfor spejlbillede): design og hardware er det primære for teknologen, publikationer er noget sekundært, ikke det helt essentielle som for naturvidenskabsmanden.

Referencer

1. K. Nielsen, H. Nielsen og H. Siggaard Jensen: *Skruen uden ende - den vestlige teknologis historie*, Teknisk Forlag 1990.
2. G. Wise, *Science and Technology*, OSIRIS, 2nd series 229 (1985).
3. D.S.L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Industrial Age*, Heinemann 1971.
4. M. Kranzberg, The disunity of Science-technology, *American Scientist* **56**, 21 (1968).
5. E. Layton, *Mirror Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America*, *Technology & culture* **12**, 1971, 562-580.

Hans Siggaard Jensen (til højre), født i 1947, filosof, docent ved Institut for Anvendt Datalogi og Systemvidenskab, Handelshøjskolen i København.
Henry Nielsen (til venstre), født i 1940, fysiker, lektor ved Det fysiske Institut, Aarhus Universitet.
Keld Nielsen (stående), født i 1948, videnskabshistoriker, adjunkt ved Institut for de Eksakte Videnskabers Historie, Aarhus Universitet.



Spectra-Physics

Spectra
Diode Labs

LASOTRONIC

uniphase

ANDO

PHOTON
inc.

JOBIN
YVON

OPHIR

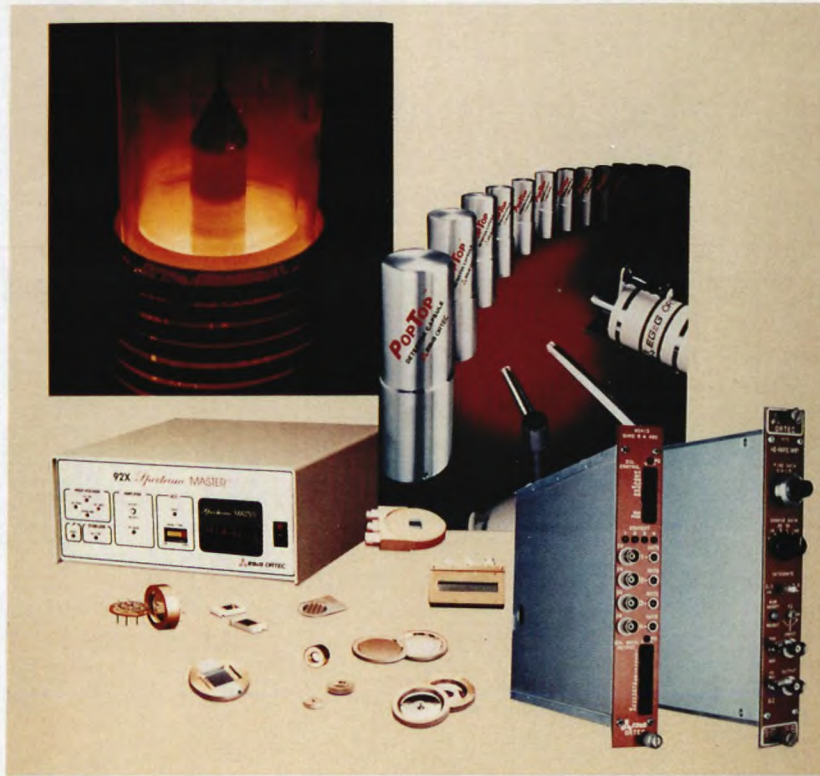
Exciton

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.

micro-
controle

EG&G ORTEC

QUESTEK

EG&G
GAMMA SCIENTIFIC

EG&G
FIBER OPTICS

Quanta-Ray

EG&G PRINCETON
APPLIED RESEARCH

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

Hvordan virker en lommeregner?

Mogens Esrom Larsen, Københavns universitets matematiske institut

Beskedenhed er en dyd, der særlig rinder os i hu, når vi stiller krav til os selv. Det gælder også vor indsats i udregninger, - vi sparer helst på egne kræfter. Sådan har det altid været. I det gamle Babylon 2000 år før vor tidsregnings begyndelse havde man lertavler med tabeller over produkter og kvotienter, så man kunne slå op i stedet for at beregne eller huske. Lertavlerne var netop i lommeformat. Deres undskyldning for dovenskaben var nu bedre end vor tids. De brugte nemlig 60 som grundtal, hvor vi jo de sidste par tusind år har klaret os med 10. Det betyder, at "den lille tabel" hos dem gik helt op til $59 \cdot 59 (= 3481)$, hvor vi kan klare os med $9 \cdot 9 = 81$. Det har været de færreste, der kunne bare den tabel udenad.

Nu har vi taget det næste skridt i retning af at gøre "den lille tabel" overkommelig at huske. Lommeregnerne og computere bruger internt grundtallet 2, så deres "lille tabel" ser sådan ud:

$$1 \cdot 1 = 1$$

Til gengæld kommer regneoperationer og menteoverførsler itil at koste meget. Men det gør mindre, når man udfører 10^6 elementære operationer pr. sek.

I en lommeregner er det enkelte tal repræsenteret af en streng af bits, et såkaldt "ord", hvor hver bit kan stå i to stillinger, f.eks. tændt/slukket. Den ene stilling lader vi repræsentere "1", den anden "0". På den måde repræsenterer ordet et tal, skrevet i 2-talsystemet. Ordenes længde varierer omkring et halvt hundrede bits. Men lad os for nemheds skyld tænke os, at de er på 10 bits. Lad os videre tænke os, at de 10 bits står i positionerne:

s s s s s t s t s

Tolker vi det, som om *s* betyder "0" og *t* betyder "1", står der tallet - i 2-talsystemet -

0 0 0 0 0 1 0 1 0

Det betyder - i 10-talsystemet -

$$1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 10$$

Lommeregneren har indbygget nogle grundlæggende kunster med ordene. Den kan f.eks. bytte om på *s* og *t* i et ord. Den kan også rykke alle tilstandene en (eller et andet fast antal) plads(er) til venstre. De yderste tilstande til venstre kommer så ind fra højre.

Operationen kaldes et "cyklisk skift". Skifter vi 1 plads i 10-tallet ovenfor, får vi

0 0 0 0 1 0 1 0 0

Det er $16 + 4 = 20$. Et skift kan også udføres på den måde, at der kommer lutter 0'er eller lutter 1'er ind fra højre. Der er så tale om et "ikke cyklisk skift" eller bare et skift. Et skift svarer til at gange med 2. Det er ligesom at gange med 10 i 10-talsystemet ved at sætte et 0 bagefter.

Addition er lidt mere besværlig. Den udføres ikke af én operation, men af flere hundrede.

Lad os tænke os, at et tal er givet, og at vi ønsker at lægge et andet tal til, som er en ren potens af 2, - dvs. at tallet kun indeholder ét 1-tal i sin binære fremstilling.

Givet X : x x x x 0 1 x x x x
Givet 2^4 : 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0

Dette par ændres til

Y : x x x x 0 0 x x x x
 2^5 : 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0

Tallet 2^4 er blevet skiftet til 2^5 , mens X har fået sit 1-tal byttet med et 0.

Denne operation kunne vi kaldet "1 in mente".

Næste gang ændrer vi parret til

Z : x x x x 1 0 x x x x
 O : 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Denne gang slap vi med "0 + 1".

Et eksempel:

Givet 184: 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0
+8: 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0

Parret sættes ved "1 in mente" til

176: 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0
+16: 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0

Som efter endnu en "1 in mente" bliver til

160: 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0
+32: 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0

Der efter en sidste "1 in mente" bliver til

128: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
+64: 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0

Endelig kan vi udføre "0+1"

192: 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0
+0: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Processen ender, når vi første gang udfører "0 + 1".

Når vi skal lægge vilkårlige tal sammen, lægger vi de forskellige 2-potenser (1-taller) fra det ene af tallene til det andet, én ad gangen.

Når lommeregneren skal multiplicere to vilkårlige tal med hinanden, multipliceres det ene efter tur med de forskellige 2-potenser i det andet. Resultaterne lægges så sammen til sidst. Multiplikationen tager derfor ca. 25 gange så lang tid som additionen.

Et eksempel, $11 \cdot 13$.

11: 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1
13: 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1

Vi ganger 11 med 8, dvs. det første 1-tal i 13, et skift på 3 pladser, og vi ganger 11 med 4, dvs. et skift på 2 pladser:

$11 \cdot 8 = 88$: 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0
 $11 \cdot 4 = 44$: 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0

Disse to tal lægges nu sammen i 3 omgange, en for hvert af 1-tallerne. Vi får summen

132: 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0

Vi mangler nu blot $1 \cdot 11 = 11$ svarende til det sidste 1-tal i 13. Disse 11 skal lægges til:

132: 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0
11: 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1
143: 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1

Vi var heldige, vi slap med 4 menteoverførsler. I alt har vi udført 10 elementære additioner, 4 "1 in mente" og 6 "0 + 1".

Nu er den virkelige repræsentation af tallene i lommeregneren noget mere sofistikeret end her antydnet. Det enkelte tal repræsenteres af en "sætning" på 4 ord, nemlig et "fortegn" + eller - repræsenteret af et ord på 1 bit, en "mantis", der angiver de første ca. 12 decimaler i tallet, repræsenteret af et ord på ca. 40 bit, endnu et fortegn på 1 bit, og endelig en "eksponent", der angiver, "hvor kommaet skal stå", angivet ved et tal op til ca. 500, repræsenteret af et ord på ca. 9 bit, f.eks. betyder "sætningen"

$$(-, 1.76, +, 2)$$

at tallet skal være $-176 (-1.76 \cdot 10^2)$.

Fordelen er, at man billigt slipper til at regne tilstrækkeligt præcist med selv meget store og meget små tal. Af et 20-cifret tal angiver man kun de første 12 cifre, resten er erstattet af 0'er. Men det er tit godt nok. Når to tal ganges sammen, må man gange første fortegn med hinanden efter de sædvanlige regler, $- \cdot - = +$ o.s.v., mantisserne ganges med hinanden, som vi har set ovenfor, og eksponenterne lægges sammen, idet de regnes med det andet fortegn.

Nu kan de fleste lommeregnere jo mere end de fire regningsarter, - i hvert fald tilsyneladende. De kan kvadratrods, sinus, cosinus, logaritmer og eksponentialfunktion, og meget andet. Men, hvordan bærer de sig ad?

Når vi har tastet et tal ind, som f.eks. 2, og trykker på knappen "kvadratrods", står der øjeblikkeligt i displayet:

$$1.41421356237$$

Men det er nu ikke et resultat, den blot henter i hukommelsen, - det er der alligevel ikke plads til. Nej, den går frem efter en opskrift, ligesom ved multiplikation, men til kvadratrodsuddragning kunne det være denne:

$$x_{i+1} = \frac{x_i + 1}{2} + \frac{1}{x_i} ; x_0 = 2.$$

Opskriften giver tallene:

$$x_0 = 2$$

$$x_1 = 1.5$$

$$x_2 = 1.4167$$

$$x_3 = 1.4142157$$

$$x_4 = 1.41421356238$$

Processen standser, når to tal er blevet ens, altså når $x_{i+1} = x_i$. Der er intet trylleri, kun de fire regningsarter og - den evige gentagelse! Det er et af de tricks, som elektronikken har bragt ære og værdighed, gentagelsen, eller som det hedder i fagjargonen: iterationen. Mange bække små gør en stor å. Formlen ovenfor giver altid $\sqrt{2}$, uanset værdien af $x_0 > 0$; hvis man skal finde \sqrt{a} , må man bruge formelen:

$$x_{i+1} = \frac{x_i + a}{2} + \frac{a}{2x_i} ; x_0 = 2.$$

Heller ikke eksponentialfunktionen, e^x , kan beregnes, i hvert fald ikke, hvis x ikke er et helt tal. Men kan vi finde en formel, der kan approksimere e^x med en fejl, der er mindre end 10^{-13} , så ses det ikke på en 12-cifret mantisse. For simpelhedens skyld viser jeg et eksempel på en approximation med en fejl, der er mindre end 10^{-5} .

Først skriver vi

$$e^x = 2^{h+b},$$

hvor h er et helt tal og b en brøk så $-\frac{1}{2} < b \leq \frac{1}{2}$. Så er

$$x = (h+b) \cdot \ln 2,$$

hvor $\ln 2 = 0.69314718056$, den "naturlige logaritme" til 2, som er bestemt af $e^{\ln 2} = 2$. Vi finder derfor h og b ved at dele x med $\ln 2$. Er f.eks. $x = 10$, finder lommeregneren let

$$10/\ln 2 = 14.4269504089,$$

altså $h = 14$ og $b = 0.4269504089$.

Nu er 2^{14} jo i lommeregneren 10000000000000, og multiplikation med den er blot et skift. Så

$$e^x = 2^{h+b} = 2^h \cdot 2^b = 2^h \cdot e^{b \ln 2},$$

hvor faktoren 2^h er næsten gratis. For at bestemme cifrene i e^x er det derfor nok at bestemme cifrene i $e^{b \ln 2}$; altså nok at kende e^x , når $-\frac{1}{2} \ln 2 < b \leq \frac{1}{2} \ln 2$.

I eksemplet ($x = 10$) er

$$b \ln 2 = 0.295939472168,$$

som lommeregneren finder ved en enkelt multiplikation.

I det interessante interval kan vi bruge funktionen

$$f(x) = \frac{x^2 + 6x + 12}{x^2 - 6x + 12}$$

som netop approksimerer bedre end 10^{-5} .

Lommeregneren finder let

$$f(b \ln 2) = 1.344385,$$

Den korrekte værdi er 1.34438878143, så fejlen er som lovet, nemlig ca. $\frac{1}{2} \cdot 10^{-5}$.

$f(b \ln 2)$ skal så ganges med $2^{14} = 16384$, men det er jo blot et skift. Det giver værdien

$$22026.4$$

Den korrekte værdi for e^{10} er 22026.4657948, - fundet på tilsvarende måde med en mere kompliceret brøk. Fejlen er nu 0.07, - vi har jo ganget $\frac{1}{2} \cdot 10^{-5}$ med 16384.

Fremtidens lommeregner.

Den tal-repræsentation, vi her har beskrevet, har været brugt i de sidste 30 år. Den udmærker sig ved at udnytte regnemaskinens hukommelse praktisk taget maksimalt. Og det har hidtil været ønskeligt, fordi hukommelsen var dyr, mens regningerne gik - for alle at se - svimlende hurtigt.

Men nu, hvor hukommelserne er kommet ned i pris, og hvor mere sofistikerede opgaver begynder at trænge sig på med meget lange regnetider, melder det spørgsmål sig naturligt: vil en mere ekstensiv udnyttelse af hukommelsen kunne tillade, at de elementære regneoperationer organiseres, så hastigheden forøges væsentligt?

På Boeing Aerospace Company's forskningsafdeling har man følt et stigende behov for mindskede regnetider, og det forlyder, at de tre forskere derfra, Capps, Falk og Houk har foreslået, at man går over til at anvende "kinesiske restklasser" i den interne talrepræsentation i hukommelsen. Og det er tænkeligt, at det er vejen frem. Jeg skal prøve at forklare, hvordan.

Lad mig først forklare, hvordan restklasseregning kan gå langt hurtigere end almindelig regning, - på bekostning af hukommelsen! Man lader et bit-mønster altså et ord med f.eks. 23 bits repræsentere tallene 0-22, sådan at 7 har et

1-tal på plads nr. 7:

$$7=000000000000000001000000$$

Hvor ord af denne længde før kunne repræsentere millioner af forskellige tal, kan de nu kun repræsentere 23 forskellige.

Vi skal nu lægge et andet tal, f.eks. 17 til. Vi foretager et cyklisk skift af 7 på 17 pladser til venstre. Herved får vi tallet

$$1=000000000000000000000001$$

Denne form for regning kaldes "restklasseregning" i restklasserne ved deling med 23. Vi regner altså $24 \equiv 1 \pmod{23}$, fordi de to tal giver samme rest, nemlig 1, ved deling med 23. På samme måde kan man gange. Vi regner $7 \cdot 17 = 119 \equiv 4 \pmod{23}$, fordi $119 = 5 \cdot 23 + 4$. Addition gik hurtigt, fordi den blev udført ved hjælp af et skift.

Multiplikation kan i virkeligheden udføres næsten lige så hurtigt, som vi skal se.

Man kan se væk fra $23 \equiv 0 \pmod{23}$, - ganger vi med 0, får vi 0. Til de 22 andre tal, 1-22, laver vi en "logaritmetabel" af restklasser ved deling med 22:

rest (23)	logaritme (22)	rest (23)	logaritme (22)
1	0	12	20
2	2	13	14
3	16	14	21
4	4	15	17
5	1	16	8
6	18	17	7
7	19	18	12
8	6	19	15
9	10	20	5
10	3	21	13
11	9	22	11

Når vi skal udregne $7 \cdot 17$, slår vi op i logaritmetabellen, $\log(7) = 19$, $\log(17) = 7$; dem lægger vi sammen og får 4 ($26 \equiv 4 \pmod{22}$); resultatet finder vi i logaritmetabellen ved at finde 4 i logaritmetavlen og oversætte det til 23-resten, der tilfældigvis også er "4".

Vi kan udføre disse tabelopslag meget hurtigt, derfor kan restklasse-multiplikation udføres næsten så hurtigt som addition, og næsten så hurtigt som et skift.

Vi laver nu en række centralenheder, der kan regne hurtigt med restklasser hørende til forskellige primtal. For hvert primtal må man have en "logaritmetabel", jeg angiver som eksempel tabellen for 47:

rest	log	rest	log	rest	log	rest	log	rest	log
1	0	11	7	21	6	31	3	41	15
2	18	12	10	22	25	32	44	42	24
3	20	13	11	23	5	33	27	43	13
4	36	14	4	24	28	34	34	44	43
5	1	15	21	25	2	35	33	45	41
6	38	16	26	26	29	36	30	46	23
7	32	17	16	27	14	37	42		
8	8	18	12	28	22	38	17		
9	40	19	45	29	35	39	31		
10	19	20	37	30	39	40	9		

For eksempel $7 \cdot 17$; $\log(7) = 32$, $\log(17) = 16$, $32 + 16 = 48 \equiv 2 \pmod{46}$ svarende til 25; thi $119 = 2 \cdot 47 + 25$ eller $119 \equiv 25 \pmod{47}$.

Restklasseregning

To positive hele tal, n og m , kaldes *kongruente modulo* et tredje, p , hvis deres differens, $m-n$, er delelig med p . Altså, hvis der findes et helt tal q , sådan at

$$m - n = q \cdot p$$

Vi skriver i så fald

$$m \equiv n \pmod{p}$$

For eksempel $2 \equiv 7 \pmod{5}$, fordi $7 - 2 = 1 \cdot 5$.

Vi repræsenterer nu hvert tal ved dets sæt af rester ved deling med de valgte primtal. Når så vi ønsker at danne summen eller produktet, gør vi det for hvert primtal ved restklasseregning. Derved fås netop det sæt af rester, som karakteriserer det ønskede resultat.

Ikke alene kan disse regninger udføres hurtigt og uden menteoverførsler, men netop fordi de er uafhængige af hinanden, kan de udføres samtidig, - hvilket kan udnyttes på moderne "vektorprocessorer".

At det fungerer går tilbage til oldtidens Kina, hvor metoden omtales i det 3. årh. af Sun-Tz'i, - hvorfor metoden også kaldes "kinesisk restklasseregning".

Som et simpelt eksempel kan vi udregne $27 \cdot 29$ ved hjælp af restklasserne for 23 og 47.

27 har resterne 4 (23) og 27 (47).

29 har resterne 6 (23) og 29 (47).

Logaritmerne er hhv. $\log(4) = 4 \pmod{22}$, og $\log(6) = 18 \pmod{22}$; summen heraf er 0 (22), der svarer til klassen 1 (23).

$\log(27) = 14 \pmod{46}$ og $\log(29) = 35 \pmod{46}$, så summen er 3 (46), der svarer til 31 (47).

Produktet har altså resterne 1 (23) og 31 (47). $27 \cdot 29$ er derfor det (mindste) tal, der har disse to rester. Altså findes p, q , så

$$27 \cdot 29 = 1 + p \cdot 23 = 31 + q \cdot 47$$

Denne ligning løses fikst ved at tage resterne efter deling med 23. Vi får

$$1 \equiv 8 + q \pmod{23}$$

altså

$$q = 23 - 7 = 16.$$

Derfor

$$27 \cdot 29 = 31 + 16 \cdot 47 = 783.$$

(Vi har tilsyneladende brugt lige så meget krudt på at finde $16 \cdot 47$, som det havde kostet at udregne $27 \cdot 29$, men man må huske, at denne anstrengelse kun udføres til slut; vi sparer den i de tusinder af mellemregninger, som er brugt til at iterere os frem til sin x , - eller hvad opgaven nu var.)

Dette er måske endnu et eksempel på, at elektronikens tidsalder kan forvandle et stykke matematik fra kuriøsitet til fundament.

Mogens Esrom Larsen er ansat ved Københavns Universitets matematiske institut som lektor uden særlige kvalifikationer.





Her fremstilles en superledende tyndfilm
(Foto Peter Høghøj).

Superledere Diamanttyndfilm Optiske fiberforstærkere

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

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

NKT

NKT Allé 1 · 2605 Brøndby

Høj-T. Superledning

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

Diamanttyndfilm

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

Optiske fiberforstærkere

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

Molecular engineering

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

Udviklingstendenser i dansk fysik

Ove Poulsen, Det fysiske Institut, Aarhus Universitet

Med forskning er det som med vejret. Det er populært og uforpligtende at tale derom og alle har en mening derom. Koncernudviklingschef Søren Isaksen har valgt den lette løsning i den analyse han giver af dansk fysik her i KVANT's debatspalte. Efter en sober redegørelse for den nødvendige omstilling og styrkelse af F&U-indsatsen i dansk industri og efter han rigtigt observerer en højnelse af virksomhedernes F&U gennem ansættelse af universitetsuddannede medarbejdere, lader Søren hammeren falde: dansk fysik er på kollisionskurs med den dybe nat og nytænkning finder ikke sted!

Og dansk fysik har selvfølgelig problemer. Disse problemer er dels af intern art dels påført af det omgivende samfund, der historisk altid har sværmet omkring forskningen. Denne interesse skyldes både en ægte interesse i at få kendskab til forskningens spændende verden og i et ønske om indflydelse på den fremtidige udvikling.

Samfundet består af to hovedinteressenter nemlig det offentlige politiske system og den private industri. Karakteristisk for det politiske system er ønsket om øget indsigt og kontrol med grundforskningen. Dette er naturligt, da denne sektor betaler for forskningen. Disse tendenser ses overalt i den vestlige verden i disse år. Støtten til forskningen sektoriseres og programmeres og stadig flere betingelser knyttes til anvendelsen af forskningsmidler. Den hellige ko er den teknologiske udvikling, hvis nuværende stade netop bygger på den grundforskning, der forsømmes i disse år. Industriens rolle i dette magtspil er uklar. Vil industrien støtte en fri og uafhængig forskning eller vil de kortsigtede mål altid dominere?

For fysikeren er dette det centrale spørgsmål: hvorledes sikres en fornyelse med international aktualitet i en periode med begrænsede ressourcer. Mit svar er simpelt: netop i en periode med stagnerende økonomi og manglende politisk opbakning kan en omstilling lettest finde sted. De svage i populationen er svækkede og de stærke trives. Tegn på denne fornyelse ses overalt indenfor dansk fysik. Fysikken gennemlever for tiden en kraftig udvikling. Dette århundrede har været domineret af mikroskopisk fysik. Den svære omstilling fra at beskrive små isolerede og kolde systemer til fysikken af store varme sammensatte systemer er igang. Indenfor dansk faststof- og materialefysik, halvlederfysik, atom- og kernefysik og astrofysik ses klare og stærke udviklingstendenser. En sådan omstilling er aldrig let, men at tro at den er vanskelig på grund af en mere eller mindre tilfældig styrelseslov er naivt. Til de fysikafdelinger rundt

omkring i landet, hvor utilfredsheden lurer og hvor styrelsesloven er den onde Bastian kan jeg stille spørgsmålet: Hvad ondt har styrelsesloven gjort dig i dag og hvad har du gjort for din afdeling/institut i den sidste uge?

Gode tegn til en faglig fornyelse og faglig styrkelse ses i de fleste danske fysikmiljøer, hvor yngre fysikere presser på med gode og interessante ideer. Dansk fysiks styrke afspejles ikke af hvorvidt vi kan bortskaffe Styrelsesloven, men om vi kan få øje på disse talenter. Mulighederne er bedre end i mange år: Forskerakademiet støtter yngre forskeres udlandsophold og adjunktstillinger eksisterer faktisk. Den aktive prioritering af forskningsindsatsen, som Søren Isaksen efterlyser, finder ligeledes sted. Således er adskillige nye forskningsmiljøer etableret op gennem 80'erne, ofte baseret på initiativer af yngre fysikere og med aktiv støtte fra de respektive institutter og Forskningsråd. Fornyelse er ikke et statisk begreb med en tidshorizont på 10-15 år. Fornyelse er en dynamisk proces, der til stadighed tager sit udgangspunkt i nye ideer, internationalisering, inspiration fra dygtige studerende og medarbejdere samt ikke mindst et personligt engagement. I den udvikling savner jeg industrien som en positiv modspiller, ikke blot som aftager af vore gode kandidater, men som aktør i en egentlig faglig dialog.

Der er ligeledes grøde i luften indenfor universiteternes andet store arbejdsområde: uddannelsen af kandidater og PhD'ere. Gennem indførelse af "graduate schools" sikres en bedre og mere effektiv afvikling af undervisningen ligesom kvaliteten og volumen øges såvel på kandidat som på PhD niveau. Her kunne dansk industri, med Søren Isaksen i spidsen, vise fysikere, hvad nytænkning er. Sammen med kolleger har jeg gennem de sidste 10 år medvirket til at skaffe fysikstuderende en sommerpraktik i danske virksomheder. Drivkraften har været den glæde de studerende har oplevet ved at kunne anvende deres viden i en praktisk sammenhæng. Kære Søren, kontakt Dansk Arbejdsgiverforening og Industriråd, hvad ved jeg, og etabler ca. 100-200 praktikpladser til danske fysikstuderende med bestået 1^{ste} del. Derved vil vi løse to problemer: industrien vil få et godt kendskab til det nye bachelor niveau og de studerende, der ønsker at fortsætte i en kandidat eller PhD uddannelse, vil opleve deres fremtidige F&U-miljø indefra.

Ledelse er ikke et statisk begreb, der kan sikres med en lille gruppe "ledere". Selv på MBA niveau er dette vel ikke god latin. Ledelse og styring er en lang og besværlig proces, der bedst sikres gennem hårdt dagligt arbejde og medind-

DEBATDEBATDEBATDEBATDEBATDEBAT

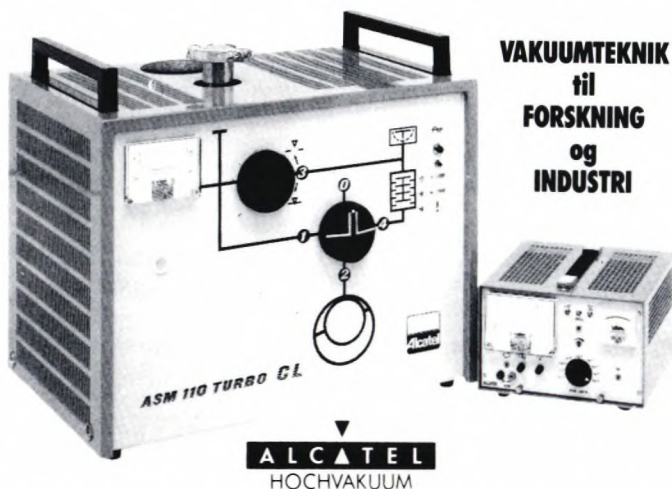
leven i en Institutions velbefindende. Indenfor forskning kan ledere ikke udnævnes. Internationalt som nationalt bæres forpligtelsen til faglig fornyelse af de forskere, der med held og dygtighed opbygger nye forskningsmiljøer og som med gratie kan gøre plads til yngre talentfulde forskere.

I såvel forskning som undervisning er åbenhed en nødvendighed. Styrelsesloven har her virket godt, såvel overfor yngre forskere, teknisk-og administrativt personale samt studerende. Men skal vi fremover kunne tilpasse os, må vi have et øget selvstyre på Institut-niveau, eventuelt med "department chairmens" med deraf følgende hurtige beslutningsprocesser samt en stærkere korrelation mellem faglig indsats og forskningspolitisk indflydelse. Derved vil vi kunne øge hastigheden og sikkerheden af den omstilling, der allerede er i fuld gang.

Debatsiderne er åbne for indlæg om emner der har med fysik at gøre. De første to indlæg har handlet om forsknings- og undervisningspolitik, men der er mange andre emner der kan tages op.

Korte bemærkninger til en forhåbentlig interessant debat er også velkomne. Debatindlæg sendes til redaktionen - se adresse foran i bladet.

Redaktionen



GROV- og FINVAKUUMPUMPER ★ ROOTSPUMPER ★ DIFFUSIONSPUMPER ★ TURBOMOLEKULARPUMPER ★ VAKUUMPUMPER for AGGRESSIVE LUFTARTER ★ OLIEFRI HØJVAKUUMPUMPESTANDE ★ VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER ★ VAKUUMFITTINGS og VENTILER ★ HELIUM-LÆKSØGERE ★ MASSESPEKTROMETRE ★ SPUTTER- og ÆTSANLÆG for TYNDFILM ★ SPECIALOPGAVER.



SPECTRAMASS PC 2000 MASSESPEKTROMETER
FARADAY/MULTIPLIER QUADROPOLER ★ 1 - 300 amu ★
COMPUTER INTEGRERET for PRÆCISIONS ANALYSE og
styring af PROCESSER ★ AUTOMATISK MASSE SCAN ★
BAR GRAPH ★ ENKELT eller FLER ION MONITORING ★
ALARM NIVEAUER ★ TREND ANALYSE ★ HELIUM
LÆKSØGNING ★ LAGRING af SPEKTRA ★ LAVPRIS
KVALITETS INSTRUMENTER ★ HØJVAKUUM PUMPE
SYSTEMER ★ SALG og SERVICE i DANMARK ★



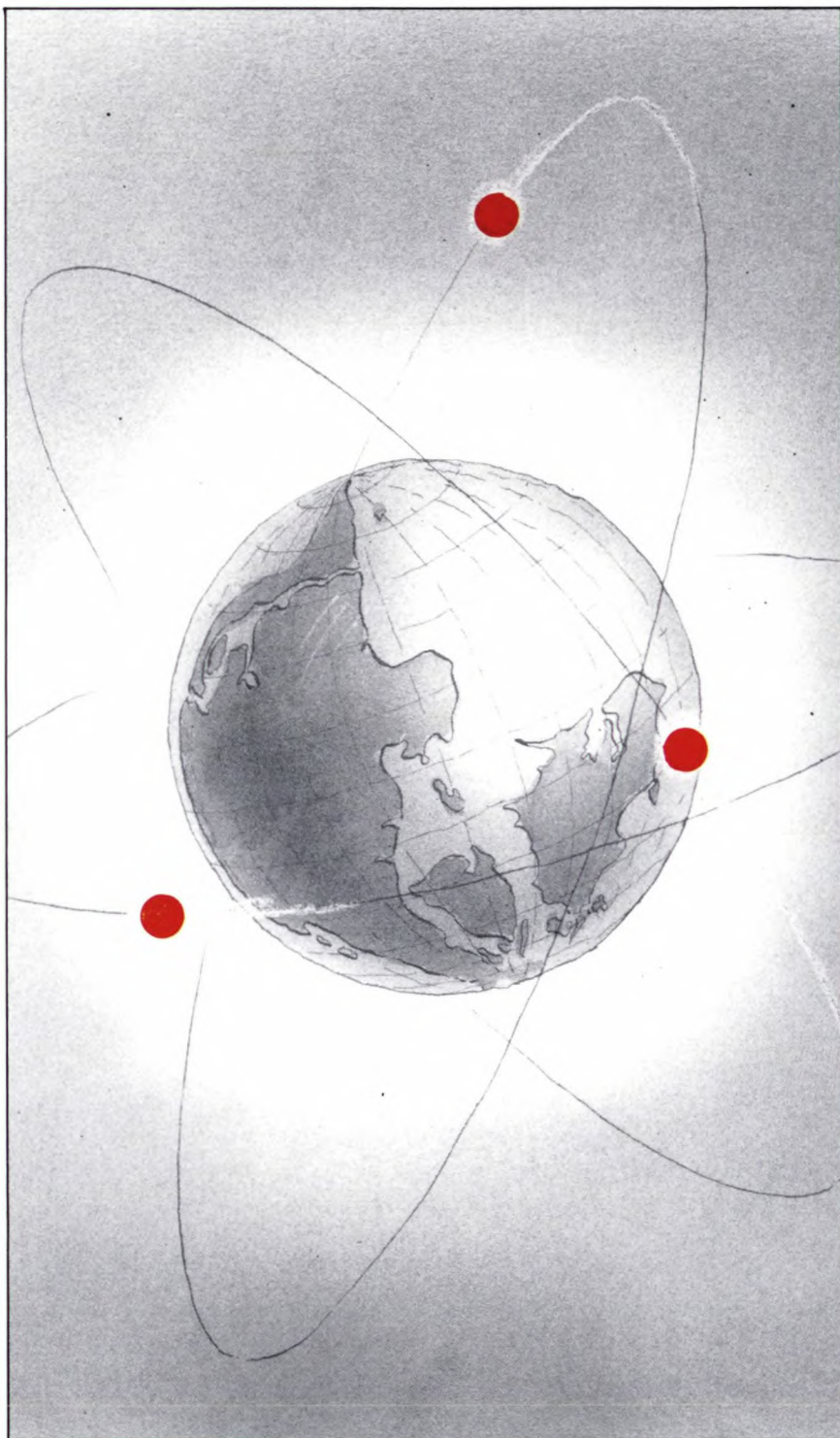
ELEKTRONKANONER



CRYOPUMPER

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS, NYBROVEJ 283, DK-2800 LYNGBY,
SHOWROOM, SERVICE, LAGER, NYBROVEJ 193, BIL 30 42 63 00,

TLF. 42 87 97 35
FAX. 45 93 32 93



UNI•C er dansk knudepunkt i internationale forskningsnet

UNI•Cs hovedopgave er at yde edb-service af international standard og rådgive om edb i forbindelse med forskning, udvikling og uddannelse, både i den offentlige og i den private sektor.

Opgaven løses bl.a. ved at sikre kunderne adgang til unikke faciliteter som en supercomputer og eget landsdækkende edb-net, der har direkte forbindelse til de internationale forskningsnet EARN og NORDUnet, samt til nationale net, fx Internettet i USA. Via UNI•Cs DENet kan man derfor udveksle data og elektronisk post med forskere i 30 lande.

Centret varetager fx også salg og support af PortaCOM - konferencesystemet, der er lige velegnet til intern kommunikation og til fjernundervisning, uafhængig af tid og sted.

Men ring og få årsberetningen med friske eksempler på opgaver, UNI•C løser for forskning og uddannelse.

Efter en nylig modernisering af maskinparken har UNI•C sat prisen på ydelserne kraftigt ned. Kunder i forsknings- og undervisningssektoren har ekstra fordele - videregående uddannelsesinstitutioner får fx altid 30% rabat på centrets ydelser.

KØBENHAVN
Vermundsgade 5
2100 København Ø
35 82 83 55

LYNGBY
DTH bygn.305
2800 Lyngby
45 93 83 55

AARHUS
Olof Palmes Allé 38
8200 Århus N
86 78 44 44

UNI•C
DANMARKS EDB-CENTER FOR
FORSKNING OG UDDANNELSE