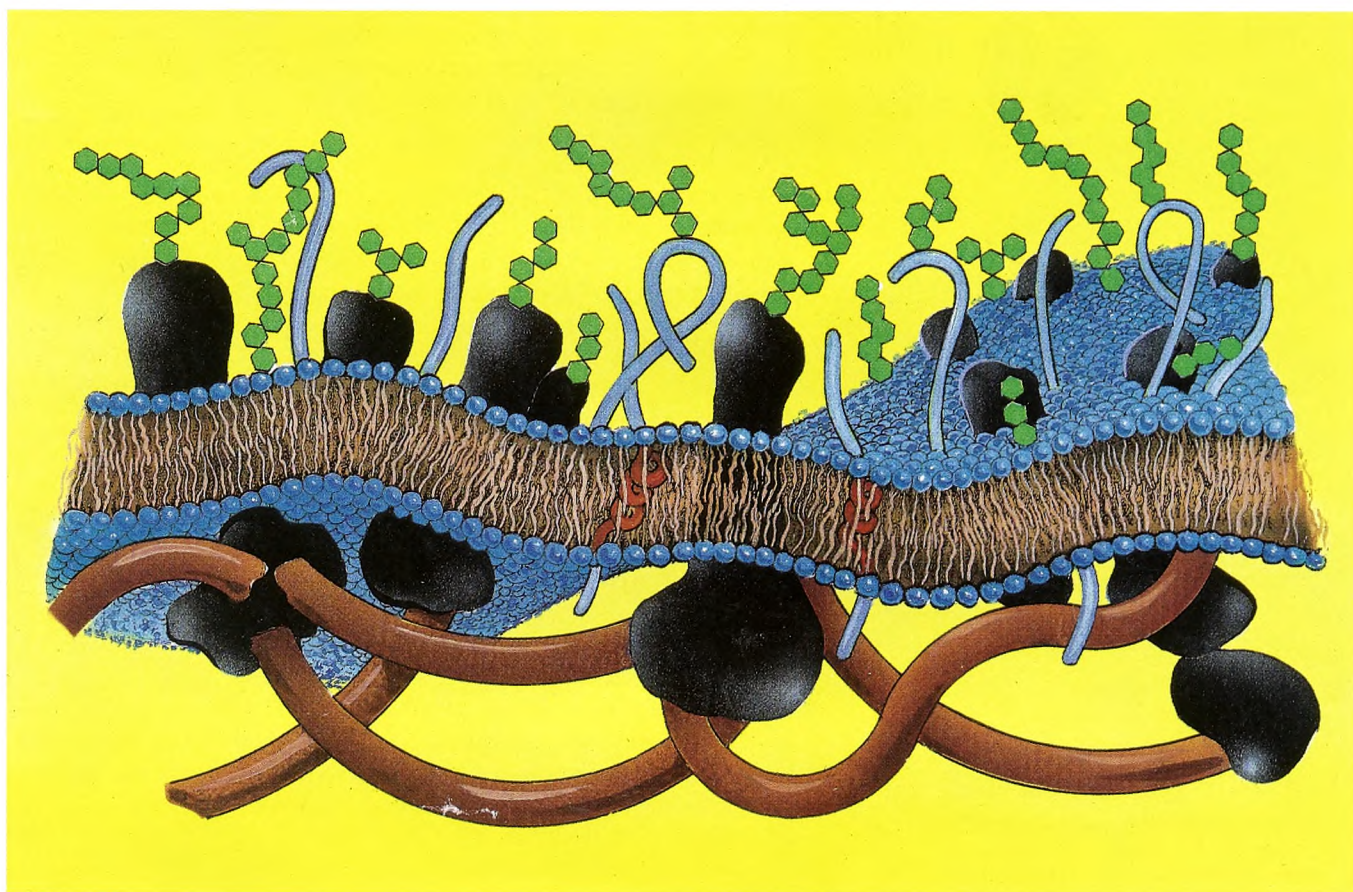


KVANT december 4 1991

Fysisk Tidsskrift

2. årgang



MARS • NOBELPRISEN 1991 • BLØDE FASTE STOFFER • DIAMANTLIGNENDE FILM •

ÅRSMØDE I DANSK FYSISK SELSKAB • PRIS TIL GRIP-PROJEKTET • PELL'S LIGNING •

GAMLE FYSIKINSTRUMENTER

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Institut for fysik og astronomi
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
Jørn Christiansen
Danmarks Lærerhøjskole
Torsten Freltoft (annoncer)
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. Henvendelser om annoncer til
Torsten Freltoft, NKT, telefon 43 48 35 69,
telefax 43 63 00 99.

Oplag: 1500
Tryk: AKA-print
ISSN 0905-8893

Indhold:

Mars.

Jens Martin Knudsen 1
Nogle af de helt store spørgsmål drejer sig om hvordan universet er
dannet og livet er opstået. En vigtig mulighed for at undersøge disse
spørgsmål består i at sammenligne Jorden og Mars. Det vil kunne lære
os meget om planeters dannelse og livets udvikling.

Nobelprisen i fysik for 1991 9
Prisen blev tildelt den franske fysiker Pierre-Gilles de Gennes for hans
arbejder indenfor magnetisme, superledning, flydende krystaller og
polymere stoffer. Som denne opremsning viser, er de Gennes en fysiker
med en usædvanligt bred horisont. Det er kun få personer, der har
tilstrækkeligt overblik til at kunne yde væsentlige bidrag indenfor så
mange emner.

Bløde faste stoffers fysik

Ole G. Mouritzen og Martin J. Zuckermann 10
Om 'soft condensed matter', strukturerede og komplekse væsker og om
Nobelprisen i fysik for 1991

Diamantlignende film

Michael D. Bentzon 14
Diamantlignende film (DLC) består af kulstof uden nogen krystallinsk
natur, det er amorf. DLC har flere forskellige gode egenskaber der gør
den anvendelig til tribologiske formål. På NKT Research Center forskes
der i fremstilling af DLC til tribologiske anvendelser.

Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab 17
Ved årsmødet blev NKT's forskerpris tildelt Carl Gaarde fra Niels Bohr
Institutet. Desuden bringes et referat af generalforsamlingen samt
formandens beretning.

Deltager i GRIP modtager pris 20
På Grønland er man i færd med at bore hele vejen ned gennem ind-
landsisen. En af deltagerne i projektet har modtaget et legat.

Valg til DFS' bestyrelse og atomfysiksektion 21

Pell's ligning

Christian Marcussen 22
En elektronisk regnemaskine har ofte en meget begrænset rækkevidde
af hele tal som den kan regne på. I talteoretiske problemer støder man
ofte på denne grænse. Man må derfor anvende andre metoder. Artiklen
viser hvorledes det er muligt at komme om ved problemerne, og giver
et eksempel på et program, der kan anvendes.

Hvor findes der gamle Instrumenter?

Hemming Andersen Bagsiden
Som et resultat af den voksende interesse for gamle instrumenter vil der
nu blive opbygget et register over disse. Men hvor findes de?

Forsiden:

Som omtalt i artiklen om "bløde faste stoffer" beskæftiger fysikere sig nu
med så komplicerede ting som en biologisk membran. Billedet viser en af
naturens foretrukne strukturerede væske, den biologiske membran, som er
et eksempel på et blødt fast stof. Man ser, at membranen er et komposit-
materiale bestående af en vandig opløsning af et lipiddobbeltlag, et celle-
skelet (på membranens inderside) og en skov af kulhydrater (på mem-
branens yderside). I lipidmembranen, som er en todimensional væske,
flyder bla. proteiner og polypeptider rundt.

Billedet er tegnet af Ove Broo Sørensen, DTH.

Mars

Jens Martin Knudsen, Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet

Indledende bemærkninger

Visse problemer har - i forskellige former - optaget menneskene siden civilisationens begyndelse. Lad os opsummere nogle af disse spørgsmål i vore dages sprog:

- 1) Hvad er stoffets mindste bestanddele? Atomerne består af kerner og elektroner. Atomkerner består af protoner og neutroner. Protoner og neutroner består af kvarker, og kvarker ...
- 2) Er Universet endeligt? Nært beslægtet med dette spørgsmål er sammenhængen mellem rum, tid og stof. Er den almene relativitetsteori det endelige svar?
- 3) Har Universet haft en begyndelse? Hvis dette er tilfældet, hvorfor og hvordan har strukturer som galakser, stjerner og planeter da udviklet sig? Evolutionen i denne den videste betydning af ordet leder til:
- 4) Hvor og hvorledes er kronen på Universets udvikling, livet selv, opstået?

Som kommentar til punkterne 3 og 4 kan følgende anføres.

Et fundamentalt forskningsprogram i det næste århundrede vil blive at undersøge, om Jorden er enestående i Mælkevejen. Stærkt forbundet med dette problem er spørgsmålet om livets oprindelse og kosmiske udbredelse. Sådanne spørgsmål studeres ved at søge efter planeter omkring andre stjerner eller ved at sammenligne Jorden med de øvrige faste legemer i solsystemet. Mars, den planet, der ligner Jorden mest, vil spille en afgørende rolle i sådanne bestræbelser.

Et væsentligt mål i sammenligningen af Jorden og Mars er at konstatere, om der nogensinde har været biologisk aktivitet på Mars. Uanset, om man finder fossile eller nutidige biokemiske reaktioner på Mars, altså uanset, om der nogensinde har været liv på Mars eller ej, vil resultatet af undersøgelserne have dybtgående indflydelse på vor opfattelse af Jorden som planet.

Solsystemets dannelse

Vort planetsystem dannedes ved kondensation i den primitive solare sky, d.v.s. den skive af gas og støvkorn, der omgav den nyfødte stjerne, vi kalder for solen. Disse processer fandt sted for 4,6 milliarder år siden. Skiveformede støvskyer omkring nyfødte stjerner er nu blevet observeret. Figur 1 viser stjernen β -pictoris, der kan observeres fra den sydlige halvkugle. Billedet - optaget i det nære infrarøde, 890 nm - viser en fladtrykt skive af støv. Skiven, der ses fra kanten, strækker sig ud til en afstand af ca. 400 astronomiske enheder fra stjernen [1 astronomisk enhed $\equiv$ jordens middelf afstand fra solen]. Lyset, der detekteres i teleskopet, er stjernelys fra β -pictoris. Lyset er reflekteret fra de små partikler i skiven. Det direkte lys fra stjernen

selv er blokeret for at få den svagere lysende skive til at træde frem. Vi er her vidne til dannelsen af et system af planeter, på samme måde som f.eks. Jorden og Mars dannedes i den sky, der omgav vor egen stjerne, solen.

Studiet af Mars er en del af de almene bestræbelser, der går ud på at forstå dannelsen og udviklingen af planetsystemer. Overflademineralerne, atmosfæren og hydrosfæren på Mars indeholder væsentlige oplysninger om de processer, der fører til dannelsen af planeter. En sky af gas og støv, der omgav den nydannede sol - lig den sky, der idag omgiver β -pictoris - har altså udviklet sig til vort planetsystem, og alt hvad dette indeholder.

BOKS 1

Radioaktive stoffer i naturen

Lad os antage, at vi har en beholder, der er fremstillet af et ideelt varmeisolerende materiale. Varme kan altså hverken undslippe eller trænge ind i beholderen. Vi tænker os nu et stykke granit, f.eks. en brosten, anbragt i beholderen. Hvilke forandringer vil der ske i beholderen?

Hvis beholderen undersøges efter et par års forløb, vil der næppe kunne konstateres ændringer. Efter nogle hundrede tusinde år vil temperaturen i beholderen være steget, og venter man 100 millioner år, vil granitten være smeltet! Årsag: Granitten indeholder små mængder af radioaktivt U, Th og K. Disse radioaktive kerner produceres i supernovaeksplosioner, og forekommer i meget små mængder i alle mineraler, der dannes og inkluderes i planeterne. Den varme, de radioaktive stoffer producerer, er en energikilde for den varmekraftmaskine, der driver planeternes udvikling. Her på Jorden er disse stoffer f.eks. en medvirkende årsag til vulkanudbrud og kontinentaldrift. Måske er den varme, som de radioaktive stoffer producerer, også en medvirkende årsag til, at vi har oceaner. Hvis U, Th og K ikke var tilstede, ville vandet på Jorden sandsynligvis sidde som krystalvand og permafrost i Jordens yderste lag.

Mars er mindre end Jorden og har således større overflade i forhold til sit volumen end Jorden. Mars kan derfor nemmere komme af med den varme, de radioaktive kerner producerer. Mars har idag ingen kontinentaldrift, intet flydende vand, måske ingen aktive vulkaner, og en meget tynd atmosfære. Hvilken rolle har U, Th og K spillet for udviklingen af Mars? Rumsonderne til Mars medbringer udstyr til måling af forekomsten af radioaktive stoffer på planeten.

 Spectra-Physics

**Spectra
Diode Labs**

 **LASERTRONIC®**

 **uniphase**

 **ANDO**

 **PHOTON
inc.**

 **JOBIN
YVON**

 **OPHIR**

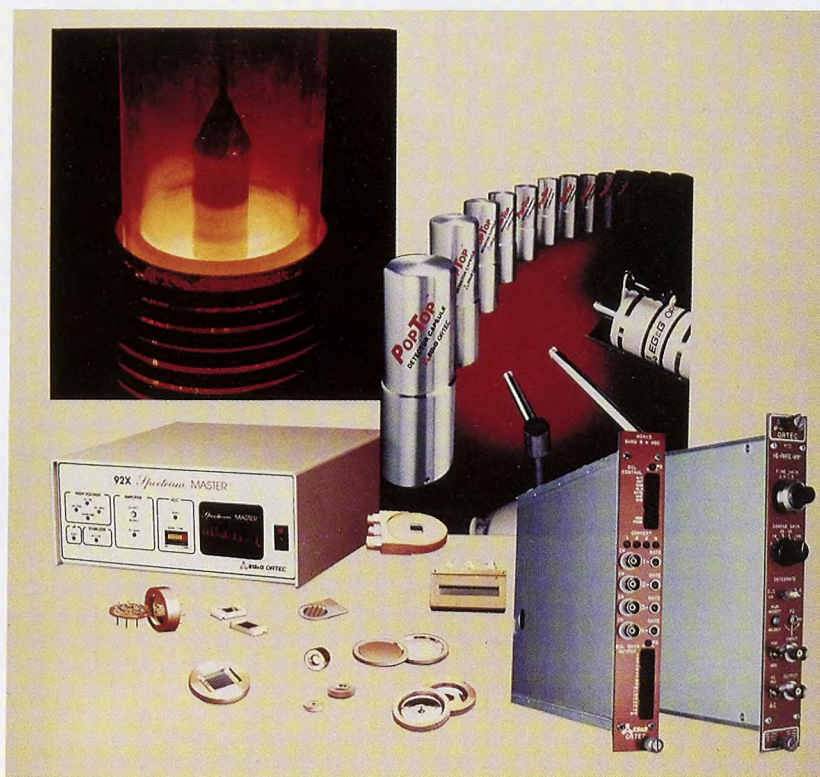
 **Exciton**

burleigh

 **LASER
PHOTONICS**

 **UNITED
DETECTOR
TECHNOLOGY**

 **bbt.
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**



 **laser science, inc.**

 **micro-
control**

 **EG&G ORTEC**

QUESTEK

 **EG&G
GAMMA SCIENTIFIC**

 **EG&G
FIBER OPTICS**

 **Quanta-Ray**

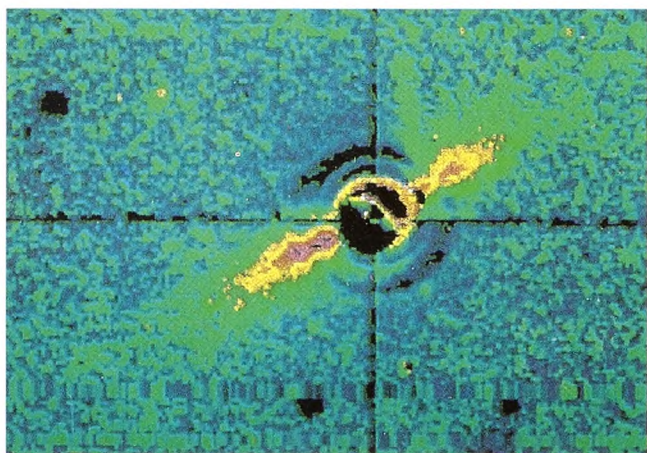
 **EG&G PRINCETON
APPLIED RESEARCH**

 **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**

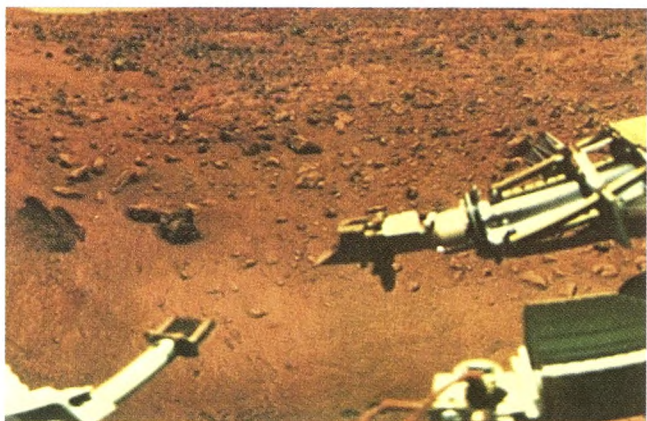


Figur 1. Sky af støvpartikler omkring stjernen β -pictoris. Skyen er sandsynligvis et planet system i dannelsesfasen.

Detaljerne i sådanne kosmiske processer vil vi måske aldrig nå at forstå fuldstændigt. Eksempelvis har en lille del af den frie energi, der var tilstede i den oprindelige solsky, ført til Mozarts musik og Tolstoys romaner. Ja endog tidsskriftet KVANT er i sidste ende et resultat af udviklingen af en støvsky, af samme natur som den vi idag ser omkring β -pictoris.

Viking Projektet

I 1976 landede to amerikanske rumsonder på Mars i det såkaldte Viking Projekt. Sonderne medbragte fuldt automatiserede kemiske laboratorier, som analyserede den røde jord på Mars (figur 2). Man søgte efter liv i støvet, men fandt det ikke. Derimod afslørede eksperimenterne på Mars nogle overraskende kemiske reaktioner i den røde jord.



Figur 2. Viking sonde på Mars

Eksempelvis: Ved tilsætning af vand afgav det røde støv fri ilt, og Marsjorden kunne syntetisere simple organiske stoffer ud fra kuldioxid og vand, i nogen grad som fotosyntesen her på jorden! De kemiske reaktioner, man konstaterede, synes at være fremkaldt af en jernholdig katalysator, hvis natur dog ikke med sikkerhed blev fastlagt. Resultaterne af undersøgelserne var så overraskende, at det hold af forskere, der stod for de biologiske undersøgelser, så sig nødsaget til

BOKS 2

Er dette et stykke af Mars?



Når en prøve af Mars bliver bragt til Jorden ved hjælp af rumsonder, vil man måske opdage (som så ofte før!): "Naturen gjorde det først".

Der findes 8 meteoritter - de såkaldte SNC-meteoritter (SNC = Shergottites, Nakhilites, Chassignites) - som af mange grunde menes at stamme fra Mars. Kor fortalt:

Mineralerne i SNC-meteoritter er mere oxiderede end i andre lignende meteoritter. SNC-meteoritterne indeholder vandholdige mineraler, det gør ingen andre meteoritter af akondrit typen. Krystallerne i SNC-meteoritterne viser, at disse meteoritter er krystalliserede i et anseligt gravitationsfelt, større end et felt på asteroiderne, der ellers anses for meteoritternes moderlegemer.

Oxygenisotopforholdet i SNC-meteoritterne er forskelligt fra basalter på Jorden, måneprøverne og i andre basaltiske meteoritter.

Almindelige meteoritter størknede for $4,6 \times 10^9$ år siden. Krystallerne i SNC-meteoritterne størknede for $1,3 \times 10^9$ år siden eller senere. Ingen asteroide er stor nok til at være vulkansk aktiv flere milliarder år efter, at den dannes. Se boks 1.

Et skråt nedslag af en kæmpemeteorit på Mars har accelereret disse klippestykker til undvigelseshastigheden for Mars (≈ 5 km/s).

På Niels Bohr Institutet undersøger man de jernholdige mineraler i SNC-meteoritterne ved hjælp af Mössbauer spektroskopi. Her studeres hvorledes Fe-joner er fordelt på de forskellige pladser i krystallerne, hvorved man opnår indsigt i meteoritternes termiske historie. Også krystallernes magnetiske egenskaber studeres grundigt, med det formål at forstå, hvorledes Marsjordsens betydelige indhold af ferrimagnetisk materiale er opstået.

at konkludere: "... the Viking results do not permit any final conclusions about the presence of life on Mars".

De forbavsende kemiske reaktioner i den røde jord på Mars kan måske vise sig at være af betydning netop for studiet af naturvidenskabens største gåde: Livets oprindelse. Sådanne resultater og overvejelser er een af mange årsager til, at bemandede flyvninger til Mars nu overvejes seriøst.

Medens mange forskere mener, at muligheden for at finde selv lavere former for liv på Mars af idag er uhyre ringe, så mener de fleste, at der er en vis sandsynlighed for, at vi på Mars vil finde rester af tidligere liv, såkaldt fossilt liv.

Idag er Jorden og Mars meget forskellige. Temperaturen på Mars er lav (140K - 290K), og der kan ikke eksistere flydende vand på planeten, thi trykket i atmosfæren er for lavt (tryk $\approx$ 6-8 mb, sammensætning: 95% CO₂, 2,7% N₂, 1,6% Ar, 0,13% O₂, vanddamp og inaktive gasser). Sådan har det imidlertid ikke altid været. Man har fundet sikre spor af floder og stillestående vand på Mars. Da de to planeter Jorden og Mars blev dannet, var de i det store og hele ens. De radioaktive stoffer (se boks 1) i planeterne indre udviklede varme; vulkaner dannedes på begge planeter, vand pressedes ud af klipperne, floder strømmede, også på Mars.

Da livet opstod på vor egen planet Jorden for mere end 3,5 milliarder år siden, var de kemiske og fysiske betingelser - så vidt vi ved - de samme på Mars som her på Jorden. Senere har klimaet på Mars ændret sig drastisk. Mars var først varm og indeholdt flydende vand ligesom Jorden, men senere blev Mars kold; det flydende vand blev til permafrost, og den tætte atmosfære forsvandt.

Altså: I den første milliard år af Jordens historie opstod livet, og udviklede sig til et punkt, hvor det kunne efterlade sig svage, men synlige spor.

I den milliard år, hvor disse afgørende begivenheder fandt sted her på Jorden, herskede der i det væsentlige samme fysiske og kemiske betingelser på Mars. Det er derfor muligt, at der opstod liv på Mars i denne tidlige periode af solsystemets udvikling.

Hvad mere er: De allerførste spor af livets oprindelse her på Jorden er sandsynligvis slettet (erosion, kontinentaldrift). På Mars er situationen anderledes, og dele af planetens overflade har været uforandrede gennem måske 4 milliarder år. Mars kan således vise sig bedre egnet end Jorden, hvis man ønsker at studere de fysiske, kemiske og præbiologiske begivenheder, der førte til livets opståen.

Kan der være spor af udsukt liv, fossilt liv, på Mars, der venter på at blive opdaget ved en fremtidig ekspedition til planeten?

Forfatteren af denne artikel er af den overbevisning (tro!), at Mars af idag er livløs, og at Mars altid har været uden liv. Men naturvidenskabelige problemstillinger afgøres ikke ved tro eller formodninger, ej heller ved demokratiske afstemninger. Kun eksperimenter er af interesse. Og for spørgsmålet om livets eventuelle kosmiske udbredelse, er det væsentligt ad eksperimentets vej at få afklaret, om Mars nogensinde har produceret biokemiske reaktioner eller ej.

Kommende missioner til Mars

I de nærmeste årtier vil vi blive vidner til en udvidelse af studiet af planeten Mars, kulminerende med den bemandede flyvning til planeten, måske omkring år 2020.

De kommende afsnit vil handle om de missioner, hvor dansk forskning på nuværende tidspunkt er indblandet. Det drejer sig om:

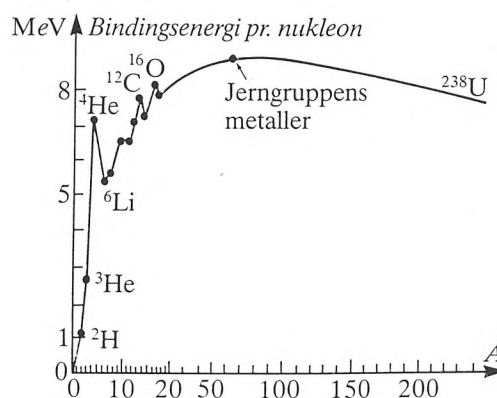
- 1) den sovjetiske "Mars-rover"-mission planlagt til 1996 (rover = lille fartøj, der kan køre rundt på planetens overflade).
- 2) opbygningen af et net (såkaldt Marsnet) af små videnskabelige stationer på planetens overflade. Marsnet er et kombineret europæisk-amerikansk projekt.

De robotstationer, der i de nævnte projekter skal sendes til Mars, vil medbringe videnskabeligt udstyr af vidt forskellig slags: neutrondetektorer, gamma-stråle detektorer, røntgenfluorescens udstyr, og meget andet.

Af pladshensyn vil det være umuligt at beskrive formålet med alle de mange fysiske og kemiske forsøg, der er planlagt. Vi vil begrænse os til en summarisk beskrivelse af de eksperimenter, hvor Danmark er involveret, og af baggrunden for dem. Overskriften på det danske forskningsprogram er: Jern på Mars.

Bemærkninger om grundstoffet jerns kosmiske historie

Lad A være antallet af nucleoner i atomkernerne. Den højeste bindingsenergi per nucleon forekommer i jerngruppens metaller, $50 < A < 60$. Atomkernen ⁵⁶Fe har den højeste bindingsenergi og er således den mest stabile af alle atomkerner.



Figur 3. Bindingsenergi for atomkerner. Atomkernen ⁵⁶Fe har den højeste bindingsenergi per nucleon⁴.

Den første afgørende rolle for jern i udviklingen af stoffet i mælkevejen begynder, når de centrale dele af en stor stjerne gennem termoneukleare processer er blevet omdannet til jern. Der kan da ikke foregå flere energi-producerende fusionsreaktioner, og stjernen undergår en såkaldt supernovaeksplosion, hvorved nydannede grundstoffer spredes ud i det interstellare rum.

I februar 1987 fandt der en supernovaeksplosion sted i Den store Magellanske sky. Eksplosionen betegnes

SN1987A. Gennem en periode på et par år aftog lysstyrken af SN1987A eksponentielt med en halveringstid på 78 dage. Energien til denne lysudsendelse blev leveret af nyligt syntetiseret radioaktivt ^{56}Co , der henfaldt til ^{56}Fe . Eller mere præcist:



Man har beregnet, at den mængde jern, der er produceret i SN1987A har en masse svarende til 70 gange planeten Jupiters masse. SN1987A har, via studiet af lyskurven og studiet af udsendte gamma-stråler, leveret det første direkte eksperimentelle bevis for, at grundstoffet jern (og andre grundstoffer) produceres i supernovaeksplosioner.

De ny-syntetiserede grundstoffer spredtes ud mellem stjernerne, danner molekyler og støvkorn, der inkluderes i interstellare skyer. Fra sådanne skyer opstår nye stjerner, og i det mindste een af disse stjerner er omgivet af planeter.

Jernets vej fra supernovaeksplosioner, over kometer, primitive meteoritter (kulkondritter) og asteroider til planeter, undersøges på mange måder og af mange grunde.

Jern er det hyppigste metalliske grundstof i vort solsystem, og jern forekommer i mindst tre forskellige oxidationstrin: Fe(0) (metallisk jern), Fe(II) og Fe(III). Der er en (svag) mulighed for, at Fe(IV) er tilstede på Mars. Det er ligeledes velkendt, at jern er den essentielle jon i mange magnetisk ordnede forbindelser, hvad enten der er tale om den ferro-, ferri- eller antiferromagnetiske tilstand. På grund af grundstoffet jerns store hyppighed, og p.g.a. de omtalte kemiske og fysiske egenskaber, kan vi opnå indsigt i dannelsen og udviklingen af planeter gennem studiet af jernforbindelser i og på planetare legemer.

I henhold til den almindeligt accepterede teori for kondensation i den primitive solare sky, gælder eksempelvis følgende: Jo længere fra Solen en planet dannes, jo mere oxideret vil det jern, den indeholder, være. Dette resultat er af indlysende betydning for studiet af jernforbindelser i solsystemet, og helt afgørende for sammenlignende studier af jern på Jorden og på Mars.

Af disse korte bemærkninger skulle det fremgå, at jern er et vigtigt grundstof for studiet af planetsystemets udvikling, herunder for studiet af Mars.

Grundstoffet jern på overfladen af Mars

Grundstoffet jern er årsag til den karakteristiske røde farve af Mars. Årsagerne til krystallinske stoffers farve er mange og varierede, men de forskellige årsager har eet element fælles: farverne produceres ved en vekselvirkning af elektromagnetiske bølger (lys) med elektroner. Farver er så at sige synlige manifestationer af de partikler og vekselvirkninger, der bestemmer materialets struktur, og videnskaben om farver berører en serie af grundlæggende fysiske teorier.

Vi kan ikke i detaljer gå ind på beskrivelsen af de omfattende undersøgelser, der foregår vedrørende farven af Mars, men nøjes med at konstatere:

Studiet af lys reflekteret fra Mars har vist, at elektronovergange i d-skallen af Fe(III)-ioner, herunder det såkaldte "charge transfer band", i een eller flere Fe(III)-forbindelser,

er hovedansvarlige for Marsoverfladens refleksionskurve i den synlige og nærinfrarøde del af spektret. Der udføres beregninger af elektronstrukturen af Fe(III)-ioner i naturligt forekommende krystallinske forbindelser med det hovedformål at søge en detaljeret forståelse af lysets refleksion fra Mars, og hermed en identifikation af Marsoverfladens sammensætning. Der kan dog ikke herske tvivl om, at den røde farve af Mars hovedsagelig fremkaldes af, at Fe(III)-forbindelser (via "the charge transfer band") absorberer den blå ende af det synlige spektrum. Refleksionsspektre af Mars fra de områder af planeten, der ikke er dækket af støv, de såkaldte mørke områder, viser, at også klipperne på Mars er meget jernholdige (Fe(II)).

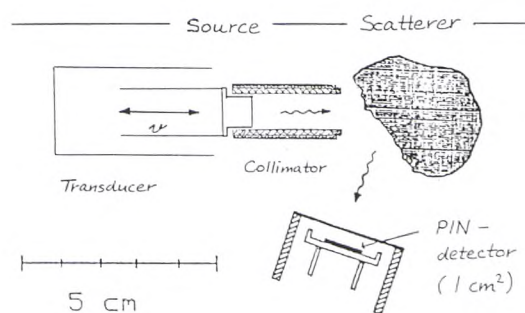
Ud fra røntgenfluorescens målinger udført under Viking missionerne har man bestemt grundstofsammensætningen af Mars-jorden. Det røde støv på Mars indeholder 13% af grundstoffet jern (efter vægt). Viking sonderne var ikke udrustet til at bestemme den mineralogiske sammensætning, men ved hjælp af medbragte magneter fandt man ud af, at Marsjorden indeholder ca. 5% af et ferrimagnetisk materiale.

På grundlag af studiet af reflekteret lys og af eksperimenter udført direkte på overfladen af planeten, ved vi altså med sikkerhed, at jern er et dominerende grundstof på Mars.

En fremragende metode til identifikation af jernholdige mineraler i naturen er Mössbauer spektroskopi. Teknikken er enestående for studiet af vigtige kemiske og fysiske egenskaber af jernholdige forbindelser, f.eks. oxidationstrin, partikelstørrelse og magnetiske egenskaber. Derfor er et Mössbauer spektrometer en del af nyttelasten i den russiske rover mission til Mars i 1996. Med henblik på Marsnet missionen undersøges muligheden for opsendelse af et yderst følsomt magnetometer og et Mössbauer spektrometer.

Mössbauer spektroskopi på Mars

I dette afsnit vil vi give en skitsemæssig beskrivelse af Mössbauer spektrometeret til Mars missionen i 1996, samt en kort omtale af formålet med Mössbauer spektroskopi på Mars.



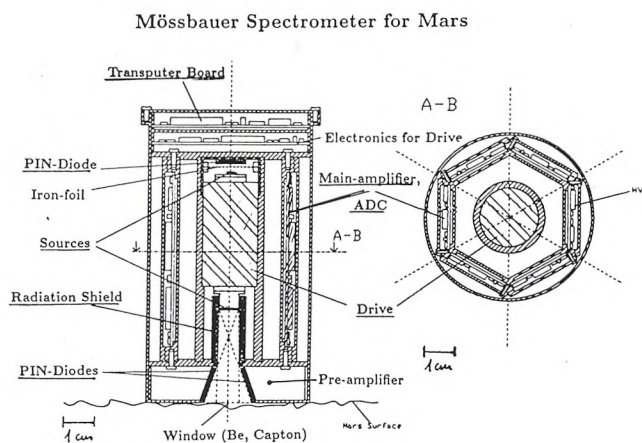
Figur 4. Mössbauer-effekt. Tilbagespredningsgeometri. Kilden (source) for enden af kollimatoren udsender 14,4 keV γ -stråling. Detektoren ser kun stråling, der reflekteres fra materialeprøven, da kollimatoren afskærmer den direkte stråling. Kilden bevæges med skiftende hastighed, v. Herved fremkommer et spektrum, idet γ -strålens frekvens bliver Doppler-forskudt.

Mössbauer spektroskopi består i studiet af spredt (eller absorberet) lavenergetisk gamma-stråling fra ^{57}Fe i den prøve, der skal undersøges. Se f.eks. reference 4, side 192.

De benyttede gamma-stråler produceres af en radioaktiv kilde af ^{57}Co . Figur 4 illustrerer princippet i Mössbauer spektroskopi i den såkaldte tilbagespredningsgeometri, der vil blive benyttet på Mars. Tilbagespredningsgeometri tillader, at det røde støv og klipperne kan studeres direkte som forefundet. Det er altså ikke nødvendigt med nogen form for manipulering af prøven.

Forberedelsen af Mössbauer spektroskopi på Mars foretages som et samarbejde mellem Rumforsknings Institutet i Moskva, Den tekniske Højskole i Darmstadt og Mössbauer grupperne i København (Niels Bohr Institutet, Danmarks tekniske Højskole og H.C. Ørsted Institutet).

En første udgave af instrumentet er bygget og afprøvet af professor Kankleit's gruppe ved den tekniske højskole i Darmstadt. I beskeden målestok, bl.a. vedrørende den såkaldte kollimator og de anvendte gamma-stråle detektorer har Mössbauer gruppen på Niels Bohr Institutet ydet væsentlige bidrag, og man fortsætter her, i samarbejde med Darmstadt-gruppen, arbejdet med at optimere systemet. De tekniske krav til instrumentet er store, og der vil i de kommende år foregå studier, såvel i Darmstadt som i Moskva og København af de forskellige aspekter af Mössbauer spektroskopi på en fjern planet.



Figur 5. Prototypen af det Mössbauer spektrometer, der skal landsættes på Mars. Spektrometeret er dobbelt: det øverste, "blinde" spektrometer tjener til kalibreringsformål. Spektrometeret er bygget på "Technische Hochschule" i Darmstadt.

En skitse af den udgave af spektrometeret, der foreligger idag er vist på figur 5, og tabel I giver de essentielle parametre for Darmstadt-spektrometeret. Skitsen er muligvis allerede forældet, idet ingeniør Johannes Madsen på Niels Bohr Institutet netop har udviklet et lille drev, hvis princip er nyt, og som måske vil kunne forbedre instrumentet.

Vi arbejder for øjeblikket på muligheden af at detektere de røntgen fluorescenslinier, der exciteres af ^{57}Co kilden i

Tabel I

Parametre for Mössbauer Spektrometeret konstrueret i Darmstadt

Masse	0,6 kg
Effektforbrug	< 2 W
Form	Cylinder.
Højde	180 mm
diameter	90 mm
Telemetri	1 Mbit per transmission
Detektor areal	6 cm ²
^{57}Co kilde, styrke på Mars	9,3 GBq (250 mCi)
Spænding	5 V
Hastighedsområde	±15 mm/s

overfladematerialet på Mars. På denne måde vil man være istand til at foretage en grundstofanalyse af den samme prøve, for hvilken Mössbauer spektret bliver optaget.

Mössbauer spektrometeret skal blandt andet anvendes til følgende:

- at undersøge oxidationsgraden i de allerøverste lag af Marsoverfladen og som funktion af dybden. Oxidationsgraden afspejles f.eks. i forholdet mellem Fe(II) og Fe(III), som lader sig bestemme ved hjælp af Mössbauer spektroskopi
- at identificere de jernholdige mineraler i overfladestøvet og i overfladeklipperne på Mars
- at undersøge den ferrimagnetiske fase på Mars, herunder f.eks. indhold af substitueret Al, Ti, eller andre grundstoffer.
- at undersøge egenskaberne af den magnetiske fase som funktion af temperaturen, idet temperaturvariationen gennem et Marsdøgn udnyttes
- at søge efter den eller de faser, der var ansvarlige for den overraskende katalytiske virkning, som blev opdaget under Viking missionerne
- at undersøge krystallitstørrelsen af den eller de faser, der er hovedansvarlige for Marsjordens refleksivitet i den synlige og infrarøde del af det elektromagnetiske spektrum
- at søge efter magnetiske faser i overfladeklipperne
- at søge efter evt. ligheder mellem SNC-meteoritter og overfladeklipper på Mars (sammenligning af Mössbauer spektre). SNC-meteoritter er en gruppe af meteoritter, der formodes at stamme fra Mars (boks 2).

Vi kan ikke i detaljer diskutere hvert af de mange formål med Mössbauer spektroskopi på Mars. Vi begrænser os til følgende:

Overfladeklipperne på Mars, og også SNC-meteoritterne, indeholder i det væsentlige kun jern i oxidationstrinnet 2+, Fe(II). I modsætning hertil er overfladestøvet på Mars højt oxideret, og jern formodes at være tilstede i støvet ude-

lukkende i formen Fe(III). Fundamentale problemer i studiet af Mars er således:

Hvordan og hvornår blev jernet på overfladen af Mars oxideret? Hvor dybt under overfladen indeholder Mars-jorden højt oxideret jern?

Den røde farve af Mars ligner farven af de røde tropejorde på Jorden. Disse tropejorde dannes, hvor klimaet er varmt og fugtigt. Mars af idag er kold og indeholder ikke flydende vand.

Identifikation af jernholdige mineraler på Mars vil hjælpe os til at forstå de kemiske og fysiske processer, der er foregået på overfladen af planeten, thi de individuelle Fe(III)-oxider og hydroxider dannes gennem forskellige processer. Skete oxidationen af jern, da Mars var varmere, og der var flydende vand på planeten? Eller finder oxidation sted den dag idag?

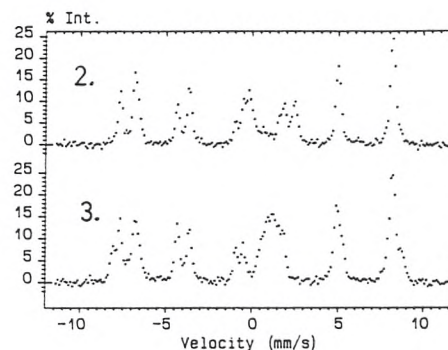
Kold som den er idag, er Mars stadig varm nok til at holde noget vand i atmosfæren. Vekselvirkningen af H₂O med ultraviolet lys er en kilde til stærkt reaktive frie radikaler (OH), der kan oxidere jernet i overfladen. En indre planet kan således bevæge sig mod en mere oxideret tilstand, selvom oxygen produceret ved fotosyntesen ikke forekommer på planeten. Det røde ørkenlignende landskab på Mars viser os måske det sluttelige resultat af sådanne komplekse processer.

Er der, eller har der været biokemiske reaktioner på Mars? Overfladestøvet på Mars synes meget fjendtligt overfor organiske molekyler. De reducerede kulstofforbindelser (proteiner, vitaminer), der blev bragt med i Viking Landerne, blev hurtigt oxideret til CO₂ og H₂O, en proces der står i forbindelse med den superoxiderede tilstand af de øverste lag af Marsjorden.

Hvor dybt går denne zone? Selvom der ikke medbringes boreudstyr på den første rover til Mars, vil man alligevel være istand til at studere aspekter af dette fundamentale problem. De seks uafhængigt drevne hjul på roveren kan grave et stykke ned i overfladelaget. Sprednings Mössbauer spektroskopi kan således give oplysning om oxidationstilstanden af jern i de øverste 20-30 cm af overfladematerialet på Mars. Disse afgørende oplysninger kan næppe fremskaffes med noget andet instrument! Kendskab til den kemiske tilstand af det fine støv på Mars er naturligvis af fundamental betydning, og måske vil det overhovedet være vanskeligt at bringe prøver tilbage til Jorden i den samme reaktive tilstand som støvet på Mars befinder sig i.

In situ studier af jernforbindelser på Mars ved hjælp af Mössbauer spektroskopi vil bringe nye - og måske overraskende - resultater.

Som en afslutning på denne korte omtale af Mössbauer spektroskopi på Mars viser vi i fig. 6 et Mössbauer spektrum i tilbagespredningsgeometri. Prøven indeholder en blanding af hematit (α -Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) og det ikke-magnetiske ilmenit (FeTiO₃). Kendere af Mössbauer spektre vil se, at selvom spektret er kompliceret, kan man klart skelne de tre faser. Det kan meget vel vise sig, at den endelige karakterisering af den magnetiske fase på Mars vil ske gennem Mössbauer spektroskopi.



Figur 6. Mössbauer spektrum i tilbagespredningsgeometri. Øverste spektrum: Ren magnetit (Fe₃O₄). Nederste spektrum: En blanding af hematit (α -Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) og ilenit (FeTiO₃).

Måling af magnetiske egenskaber af jernholdige mineraler på Mars

Nedenfor følger en kort beskrivelse af formålet med studiet af de magnetiske egenskaber af overflademineraler på Mars, og derefter en omtale af de foreslåede - og afprøvede - instrumenter til udførelse af målingerne.

Hvis Mars af idag har et dipollignende globalt magnetfelt, skabt af en indre dynamo, er dette felt mindre end en tusindedel af det tilsvarende magnetiske felt på Jorden.

De væsentlige mål med magnetiske undersøgelser er:

- måling af magnetiske egenskaber af - og mulige paleomagnetiske signaturer i - overfladeklipperne på Mars. Hvis man finder forskellige paleomagnetiske signaturer, kan man søge at etablere naturen af det oprindelige magnetfelt.
- at bidrage til identifikation af den magnetiske fase fundet under Viking missionen.
- undersøgelse af solvindens vekselvirkning med Mars, herunder studiet af elektriske strømme i Mars fremkaldt af solvinden.

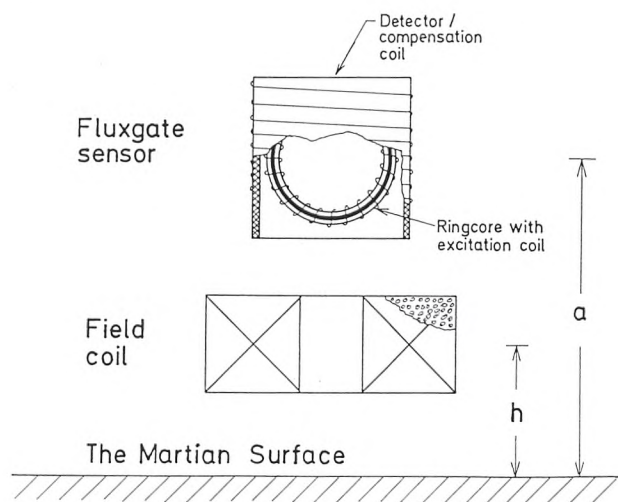
Det er af fundamental betydning for forståelsen af planetens historie, at undersøge om Mars engang har haft et globalt magnetfelt stærkt nok til at efterlade magnetiske signaturer i overflademineralerne. Hvis lokale anomalier i magnetfeltet findes, vil der kunne nås værdier på 100nT måske endog 1000nT nogle få cm fra overfladen. Til sammenligning: Det transiente magnetfelt på overfladen af Mars, skabt af solvinden, er af størrelsesordenen 10nT.

Fra dansk side er der blevet foreslået et enkelt og robust måleudstyr til udførelse af målinger af magnetiske egenskaber af mineraler på Mars-overfladen. Det er under overvejelse i ESA at inddrage det som nyttelast til Marsnet missionen. Kort beskrevet drejer det sig om følgende måleudstyr:

Forkortelser:

ESA:	European Space Agency.
NASA:	National Aeronautics and Space Administration (USA)
SNC:	Forbogstaver i navnene på de tre lokaliteter, hvor meteoritter af denne type er fundet.

Udstyret bygger på et fluxgate magnetometer udviklet over en årrække af O.V. Nielsen, Afdelingen for Elektrofysik, Danmarks tekniske Højskole og F. Primdahl, Dansk Rumforsknings Institut. Dette fine stykke måleudstyr kan måle magnetfelter med en præcision på ca. 5 pT (1 pico tesla = 10^{-12} tesla!)



Figur 7. Principskitse af apparatur til måling af mineralers magnetiske egenskaber på Mars.

Figur 7 viser en skitse af udstyret, som det tænkes anvendt på Mars. Instrumentet består af en magnetiserings-spole, der skal placeres indeni et hult støtteben, anbragt på en arm, der rager ud fra Mars-landeren. Støttebenet er bygget af et ikke-magnetisk materiale. Bunden af det hule støtteben er lukket, således at magnetisk støv ikke kan trænge ind.

Magnetiseringsspolen rører bunden af støttebenet. Et eksempel på en serie af eksperimenter er følgende: En opladet kapacitet udlades gennem spolen og sender et antal på hinanden følgende strømpulser (1 ms) igennem spolen af voksende styrke. Hver puls fremkalder magnetiske signaturer i Marsoverfladen, svarende til strømstyrken i spolen under udladningen. Det magnetiske felt, som efter udladningen frembringes af de således magnetiserede mineraler, måles (efter hvert strømslød) ved hjælp af et fluxgate magnetometer, hvis sensor er anbragt over magnetiserings-spolen⁵.

Når den første serie af magnetiseringseksperimenter er udført sendes en ny serie af strømpulser - i modsat retning - gennem spolen, og de magnetiske målinger gentages. Herved opnås kendskab til hysteresekurven for de magnetiske materialer i Marsoverfladen.

Som omtalt foran er det jernholdige mineraler, der skal undersøges med såvel magnetometer målinger som med Mössbauer spektroskopi. Som forberedelse hertil udføres der omfattende undersøgelser af såkaldte "Mars Sample Analogues". Man prøver, med det kendskab man idag har til overfladen af Mars, at opbygge et katalog over mulige resultater for eksperimenterne på planeten. Det er vist unødvendigt at retfærdiggøre dette. Rumeksperimenter er

vanskelige og kostbare. Sådanne eksperimenter kræver omhyggelig forberedelse.

Afsluttende bemærkninger

Grundlaget for, og perspektivet i, studiet af Mars er således:

Undersøgelsen af gas og støvskyer, der omgiver visse nyfødte stjerner, er et område, hvor astronomi og planetvidenskab mødes med fysik og kemi. Udforskning af Mars vil give os indsigt i nye aspekter af de fysiske og kemiske processer, der fandt sted i den oprindelige solare gas- og støvsky, thi en planets kemiske sammensætning er afhængig af det sted i skyen, hvor planeten dannedes. Samtidig vil studiet af Mars uddybe vor forståelse af planeters udvikling.

Det grundige studium af Mars begyndte i Danmark i årene 1576-1597, da Tycho Brahe studerede stjernehimlen fra sit observatorium på øen Hven. Tycho Brahe's hovedbidrag var meget omhyggelige observationer af planeten Mars gennem 21 frugtbare år. Tycho Brahe's tabeller over bevægelsen af Mars blev, gennem Kepler's analyse, hovedhjørnestenen i den newtonske mekanik. Den moderne udforskning af Mars er en fortsættelse af Tycho Brahe's og Kepler's arbejder. Det videnskabelige studium af Mars har stadig det formål at udvide vort kendskab til strukturen, oprindelsen og udviklingen af solsystemet. I disse anstrengelser søger vi nu også indsigt i de fysiske og kemiske betingelser, der leder til oprindelse af livet selv, den mest forbavsende form af stoffet i Universet.

Referencer:

1. The New Solar System, J. Kelly Beatty and Andrew Chaiken (eds.) (Cambridge University Press 1990).
2. Mössbauer Spectroscopy on the Surface of Mars. Why?, J.M.Knudsén, M.B.Madsén, M.Olsen, L.Vistisen, C.B.Koch, S.Mørup, E.Kankeleit, G.Klingelhöfer, E.N.Evlanov, V.N.Khromov, L.M.Mukhin, O.P.Prilutski, B.Zubkov, G.V.Smirnov, L.M.Mukhin, O.P.Prilutski, B.Zubkov, G.V.Smirnov, and J.Juchniewicz, Hyperfine Interactions, forår 1992.
3. Marsnet, A.F. Chicarro, M. Coradini, M. Fulchignoni, I. Liede, P. Lognonn, J.M. Knudsén, G.E.N. Scoon, H. Wänke, ESA Publication SCI(91)6
4. Fysikkens Spor, Claus Christensen, Carsten Claussen, Bjørn Felsager (Gyldendal 1990).
5. Possible Magnetic Experiments on the Surface of Mars, O. V. Nielsen, T. Johansen, J. M. Knudsén og F. Primdahl, Journal of Geophysical Research - Planets, under trykning.



Jens Martin Knudsén, dr.sci-ent., lektor ved Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet. Medlem af European Space Agency's "Mars Science Team". Konsulent for Sovjetunionens "Mars-rover team".

Nobelprisen i fysik 1991

Nobelprisen i fysik er nok et udtryk for den største anerkendelse en fysiker kan opnå. Prisen er højt respekteret af alle kolleger - og rent praktisk er et beløb på 1 million dollars og en solid guld medalje jo heller ikke at foragte. Prisen gik år til en helt usædvanlig fysiker med hensyn til bredde og udsyn og talent for at kaste sig over de mest komplekse fænomener inden for områder fra faststoffysik til kemi. Han finder det grænseoverskridende er vidunderligt og han har en glubende appetit på nye og frodige emner. Han er fra Paris, hans navn er Pierre-Gilles de Gennes, 58 år. Jeg har stødt på hans navn mange gange. Som student udarbejdede han en teori for de sjældne jordarter, som er en hjørnesten i det felt. Da neutronspreddings teknikken blev født skrev han en af de bedste oversigts artikler om det. Han har givet afgørende bidrag til adskillige felter, magnetisme, superledning, superflydende He_3 osv. osv. - intet af dette er nævnt i begrundelsen for prisen. Flydende krystaller og store molekyler var et nyt og ukendt område i fysik i tresserne, nu kender alle det og anvendelserne. Han var fra 1961-71 uformel leder af en gruppe "Orsay flydende krystal gruppe" og med denne gruppe lagdes grunden til en forståelse af de komplicerede fasetilstande disse kan udvise og analogier til magnetisme, superfluiditet polymerfysik osv. P.G.de Gennes formåede at formulere selv de mest håbløse problemstillinger inden for 'bløde stoffers fysik' i elegant matematisk form. Dette er en af hovedbegrundelserne for prisen: "de Gennes er en Isaac Newton af vores tid og har haft succes til at behandle systemer så komplicerede at få fysikere tidligere ville have troet det muligt at beskrive dem med de sædvanlige fysiske metoder". de Gennes gjorde komplicerede bløde stoffers fysik til en videnskab. Nu kunne man så tro han var helt umulig at forstå for de fleste, som nogle af vores nobelpris vindere nok kan siges at være. Men tvært imod. Jeg har haft fornøjelsen af at høre ham adskillige gange - altid blændende klar og fantastisk inspireret og inspirerende. Ydermere altid noget nyt - og jeg må indrømme som regel for mig absolut uhørt. For eksempel forklarede han for nogle år siden hvordan og hvorfor tilføjelse af få ppm af langstrakte molekyler til vand kan få en vandstråle til at skære gennem stål. Han er i skarp træning med at holde gode foredrag. Han er tilknyttet Collège de France (et af de mest prestigefyldte og utraditionelle videnskabelige institutioner i verden, startet under revolutionen for at uddanne de kloge hoveder i Frankrig og ikke kun de adelige). Her holder han hver uge et tilløbsstykke af et foredrag og skal hvert år tale om et nyt emne.

*Per-Anker Lindgård, dr.scient, Fysikafdelingen,
Forskningscenter RISØ*

I slutningen af 50'erne beskæftigede de Gennes sig med de ferromagnetiske egenskaber af nogle af de sjældne jordarters metaller. Her havde L. Neel en snes år tidligere fundet en empirisk formel for Curie-temperaturen (hvor ferromagnetismen forsvinder), der tydede på, at metalionernes spin i denne sammenhæng var vigtigere end deres magnetiske momenter. De Gennes viste, hvorledes dette resultat fulgte af mikroskopisk teori, og kunne også forklare andre egenskaber. Den afgørende parameter i denne teori går nu under navnet "de Gennes faktoren".

På samme tid var den teoretiske forståelse af superledning kommet på fast grund. Gennembruddet var den mikroskopiske BCS-teori, som kunne forklare en række af superlederes egenskaber og redegøre for den succesrige fænomenologiske beskrivelse, som Landau og Ginzburg tidligere havde opstillet. På dette grundlag forudsagde de Gennes i 1963 (sammen med D. Saint-James) et helt nyt fænomen i de teknologisk vigtige type 2 superledere: at de kunne være superledende i et tyndt overfladelag, selv om de var udsat for et magnetfelt, der var indtil 69 % højere end det ("kritiske") felt, som ellers blev anset for ødelæggende for de superledende egenskaber. Denne overfladesuperledning blev hurtigt eksperimentelt påvist og stemte i alle undersøgte detaljer med teorien.

I efteråret 1973 havde jeg tilfældigvis lejlighed til at overvære nogle gæsteforelæsninger, som de Gennes holdt ved et kemisk institut i USA. Emnet var flydende krystaller. Arrangøren kunne ikke introducere taleren uden at udtrykke en vis bekymring: han havde mærket sig, at de Gennes i 1965 havde skrevet en lærebog om superledning for derpå at skifte forskningsområde; nu var det rygtedes, at de Gennes forberedte en bog om flydende krystaller, og hvordan ville det så gå?

De Gennes havde udarbejdet en systematisk teoretisk beskrivelse af de flydende krystallers fysik og forklaret nogle af deres egenskaber. Flydende krystaller består af langstrakte molekyler, som kan ordne sig i forskellige mønstre, selv om stoffet stadig er flydende. Overgang fra et mønster til et andet kan fremkaldes ved ændringer i temperatur, tryk, elektriske felter m.v. De Gennes studerede disse faseovergange og viste desuden, at nogle dengang gådefulde lysspredningsfænomener kunne forstås som et resultat af fluktuationer af krystal-molekylernes retning.

De polymere stoffer er endnu mere komplicerede end de flydende krystaller. De består af meget lange molekyler, der er viklet ind i hinanden på en uoverskuelig måde. De Gennes udviklede en meget generel teori for de fysiske processer, der kan foregå blandt molekylerne (f. eks. diffusion), når stoffet er smeltet eller er i en koncentreret opløsning. Udover den grundvidenskabelige interesse har resultaterne har været af stor praktisk betydning for fremstilling af plasticstoffer og gummi.

Finn Berg Rasmussen, Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet

Bløde faste stoffers fysik

Ole G. Mouritsen, Fysisk Kemisk Institut, DTH, Martin J. Zuckermann, Department of Physics, McGill University

Om naturens kondenserede faser:

Hvis man betragter universet som helhed, viser det sig, at den del af stoffet, som er kondenseret, dvs. findes aggregeret i en form som væske eller fast stof, er forsvindende lille, omkring en del i 10^{11} . Ikke desto mindre er der flere fysikere, som studerer stoffets former i den kondenserede fase, end der findes forskere i alle andre områder af fysik tilsammen. Der er flere indlysende grunde til dette bemærkelsesværdige forhold. For det første kræver de fleste forskningsprojekter inden for den kondenserede fase ikke store forskningsgrupper og meget dyre faciliteter, således som det for eksempel er tilfældet inden for eksperimentel partikelfysik. Ofte foregår forskningen i ret små grupper, og omkostningerne er relativt lave. For det andet omhandler forskning i den kondenserede faser fysik vore umiddelbare omgivelser (endog menneskets eget fysiske velfærd), og det er dermed en videnskabsgren med store teknologiske implikationer. For det tredje, hvilket måske nok er det vigtigste forhold, byder studiet af aggregater af atomer og molekyler på en lang række intellektuelle udfordringer, som med nødvendighed vil lede til kvalitativ *ny indsigt*. Som dokumentation herfor kan nævnes, at omkring halvdelen af Nobelpriserne inden for fysik de sidste tyve år og adskillige inden for kemi og fysiologi er blevet givet for opdagelser inden for den kondenserede fase. Nobelprisen i fysik for 1991 blev således givet til den franske fysiker Pierre-Gilles de Gennes fra Collège de France for hans teoretiske forskning inden for strukturerede og komplekse væsker såsom flydende krystaller og polymerer.

Tildelingen af Nobelprisen i fysik til de Gennes er motiveret i hans mange bidrag til forskellige områder af faste stoffers fysik. Han er kendt for sin enestående evne til simpelt og meget elegant at kunne gennemskue og behandle meget komplekse problemstillinger. I den henseende er han en værdig arvtagere til den russiske fysiker Lev Landau, som også fik Nobelprisen i fysik for et meget bredt bidrag til fysikken. de Gennes's Nobelpris vil utvivlsomt stimulere interessen for forskning inden for moderne fysik og specielt den 'blød faste fase'[†].

Om blødt fast stof:

Inden for de faste stoffers fysik fokuserer man traditionelt mest på elektroniske tilstande og vekselvirkninger, og hvorledes disse leder til kondenserede strukturer og superstrukturer, som vi kender dem fra simple væsker og krystallinske

og amorfe faste stoffer. Hvis man imidlertid udvider perspektivet til også at omfatte 'bløde' realisationer af den kondenserede fase, 'soft condensed matter',^{FN} møder vi en hel ny verden af interessante strukturer som for eksempel komplekse og strukturerede væsker, mikroemulsioner, molekulære aggregater (kolloider), flydende krystaller, gummi, polymerer og 'levende' kondenseret stof, som det indgår i planter og dyr. Jo blødere materialer man betragter, desto mindre direkte kan man relatere de kollektive træk af materialerne til veldefinerede elektroniske og enthalpiske vekselvirkninger. Den komplekse og ofte subtile opførsel af bløde materialer skyldes derimod vekselspillet mellem mange svage, entropiske effekter, som er kontrolleret af termiske tæthedsfluktuationer. Denne indsigt har betydet, at vi netop nu befinder os i en forskningssituation, som udfordrer os til at karakterisere og forstå, hvorledes komplekse og bløde former af den kondenserede fase organiseres.

Et karakteristisk træk ved mange bløde former for fast stof er, at deres stabilitet ofte er uløseligt forbundet med det medium, hvori de er indlejret. De afviger fra simple faste stoffer og simple væsker ved, at deres opførsel må beskrives over mange størrelsesordner af tid- og længdeskalaer, og at denne opførsel er kvalitativt forskellig på forskellige skalaer. Systemerne kan for eksempel mekanisk opføre sig som en væske på én tidsskala og som et fast stof på en anden.

En ny forskningssituation:

Det er ofte forekommet inden for fysik, at man har betragtet komplekse fænomener og den eksotiske opførsel af uordnede og bløde materialer som utypiske og som en form for støj. Grundvidenskabernes forskere har dermed i en vis udstrækning overladt disse systemer til materialforskere og biologer under antagelsen om, at der ikke er noget kvalitativt nyt at lære ved studiet af disse af naturens 'urene' fremtrædelsesformer, og at man i princippet kan få den fulde indsigt i den kondenserede faser former ved at studere elektroniske vekselvirkninger i simple systemer. Der er to hovedtyper af kondenserede systemer, som den traditionelle faststoffysik har givet os en dyb kvantitativ og kvalitativ indsigt i: simple væsker og krystallinske faste stoffer. Vores viden om amorfe og glasagtige systemer er væsentlig mere begrænset. De fysiske egenskaber af simple væsker kan forudsiges kvantitativt på baggrund af få-partikelvekselvirkninger, når man medtager korrelationer mellem et lille antal atomer eller molekyler. Nøjagtigheden af forudsigelserne afhænger kun af den nøjagtighed, hvormed man kender vekselvirkningspotentialerne, og af den beregningsmæssige indsats, man er parat til at yde på udtryk givet fra veletablerede fysiske love. På samme måde leder den periodiske symmetri af krystallinske, faste stoffer i forening med kvantemekanikkens spilleregler til en elegant, teoretisk og

[†] Udtrykket 'blød fast fase' er et forholdsvis nyt begreb, som understreger, at former af den kondenserede (faste) fase kan være både 'hårde' og 'bløde'. Derfor er den kondenserede faser fysik et langt mere dækkende udtryk for feltet end det lidt gammeldags faststoffysik, som per tradition kun synes at dække de klassiske realisationer af den kondenserede fase.

kvantitativ beskrivelse af de fleste fysiske egenskaber i termer af et lille antal 'partikler' eller 'kvasipartikler'. Disse partikler (fononer, plasmoner, osv) er udtryk for den kollektive bevægelse af et ekstremt stort antal elektroner, atomer eller molekyler.

Der er nu imidlertid hos mange forskere inden for naturvidenskab en voksende erkendelse af, at den måde, hvorpå man traditionelt har beskrevet den kondenserede fase, kun gør det muligt at beskrive og forstå en meget lille del af organiserede realisationer af den faste fase. Der synes nu at være enighed om, at der er virkelig essentiel ny fysik at lære ved studiet af komplekse systemer.^{1,2} Det må betragtes som mest sandsynligt, at det, at uordnede og bløde materialer for os optræder som komplekse, skyldes, at vi endnu ikke har det fulde begrebsapparat til at identificere generaliserede symmetrier og mønstre i komplekse fænomener, som de blandt andet optræder i soft condensed matter. Et systematisk studium af komplekse systemer skulle føre til opdagelsen af nye fysiske lovmæssigheder og begreber. De seneste års forskning i disse problemstillinger har vist, at der er en vej, og en række nye ideer og begreber er dukket op og har vist deres styrke. Eksempelvis har de teoretiske begreber scaling og fraktal geometri muliggjort en beskrivelse af kollektive fænomener som faseovergange, fluktuerende grænseflader, flow i væsker, turbulens, vækstprocesser, selvorganisering, polymerdynamik, ligesom begrebet renormalisering har vist sig nyttigt i beskrivelsen af kræfterne mellem fluktuerende grænseflader og overflader i strukturerede væsker (for eksempel kolloider, membraner og mikroemulsioner).

Den eksperimentelle forskning inden for soft condensed matter har i de senere år fået nogle meget betydelige, nye værktøjer i hænde, som gør det muligt at karakterisere komplekse fænomeners struktur og dynamik på de relevante tids- og længdeskaler. Der kan således nævnes forfiningen af lavvinkel neutronspreddning, fremkomsten af intense synchrotron røntgenstrålingskilder samt udviklingen af faststof-magnetisk resonansteknikker. Ligeledes har den teoretiske forskning i de senere år fået et opsving gennem konstruktionen af nye, simple modeller, der bygger på fundamentale mikroskopiske vekselvirkninger, samt gennem formuleringen af generelle begreber som scaling og universalitet. Specielt har man i den teoretiske forskning draget nytte af den moderne computerteknologi, som bla. har gjort det muligt at foretage computersimuleringer af store samlinger af partikler.

Som eksempler på nogle vigtige typer af strukturerede og komplekse væsker, der alle kan betegnes som bløde faste stoffer, skal vi i det følgende kort omtale tre, som alle har haft de Gennes' opmærksomhed: polymersmelter, mikroemulsioner og membraner.

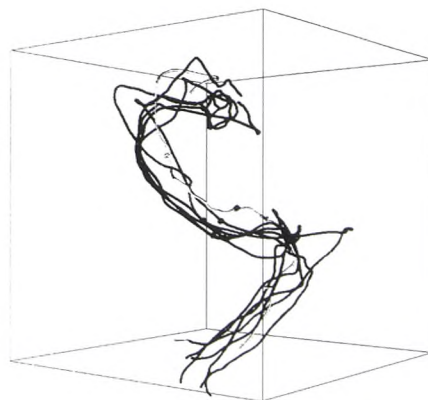
Polymersmelter:

Polymerer er lange, ofte lineære molekyler, som består af en række ens molekulære komponenter. Det at et polymermolekyle er stort og har en betydelig grad af fleksibilitet betyder ofte, at de kondenserede faser, hvori det indgår, også bliver strukturerede og komplekse. En velkendt polymerfase er po-

lystyrencement, en lim, som består af polymerer opløst i et opløsningsmiddel af små molekyler. På en længdeskala af nogle få Å opfører denne blanding sig som en simpel væske, men på større længdeskalaer, f.eks. 100Å, som er den typiske udstrækning af polymeren, har opløsningen helt andre og faste egenskaber, som kendetegner lim.

Både énkomponent polymersystemer og polymerblandinger kan præpareres med høj tæthed som en såkaldt polymersmelte. I denne smelte vekselvirker den enkelte polymerkæde med et meget stort antal andre polymerer. Kæderne er kraftigt viklet ind i hinanden, hvilket bevirker, at kæderne på korte tidsskalaer kan underkastes reversible deformationer, hvilket igen betyder, at polymervæsken udviser elastisk respons og opfører sig som en gummi. På længere tidsskalaer kan kæderne imidlertid vikle sig ud af hinanden, og smelten flyder som en væske. Det er indlysende, at man ved blanding af polymerer med forskellig længde, og ved krydsbinding af polymerkæderne kan fremstille strukturerede væsker, der har ønskede egenskaber, f.eks. til brug ved fremstilling af lim, sirup, maling eller shampoo.

Et fundamentalt problem er forbundet med beskrivelsen af, hvorledes den enkelte polymerkæde på forskellige tidsskalaer bevæger sig blandt alle de andre kæder. Det er de Gennes' fortjeneste, at han har formuleret en scalingteori, som beskriver de dynamiske og statiske egenskaber af polymersmelter og polymeres og polyelektrolytters adsorption til overflader. Blandt andet har han foreslået en dynamisk mekanisme, 'reptation', hvorved den enkelte polymerkæde i en smelte bevæger sig som en slange mellem de andre kæder i smelten. I Fig. 1 er vist, hvorledes en polymerkæde på korte tidsskalaer bevæger sig i et 'rør' mellem smeltens andre polymerkæder.



Figur 1. Skematisk illustrationen af det 'rør', hvori en enkelt polymerkæde i en polymersmelte bevæger sig over korte tidsskalaer.

Mikroemulsioner:

Blandinger af amfiler, olie og vand udviser almindeligvis thermodynamiske faser, som enten kun har korttrækkende korrelationer (f.eks. en almindelig tre-komponentblanding), eller som kan beskrives ved langtrækkende orden (f.eks. flydende krystaller). En amfil er et molekyle, som består

af både en vandopløselig og en olieopløselig del. Sæbe er en velkendt amfifil. En *mikroemulsion* er thermodynamisk stabil fase af en struktureret væske,³ som er en blanding af olie, vand og amfifil, og som har både korttrækkende og langtrækkende korrelationer. I mikroemulsionen er områderne af olie og vand afgrænsede, og amfifilmolekylerne er organiseret i monolag på olie/vandgrænsefladerne. Der er langtrækkende korrelationer mellem olie og vand molekylerne, som er segregeret i områder af en udstrækning på typisk nogle hundrede Å. Desuden er der langtrækkende korrelationer mellem amfifilmolekylerne i den organiserede monolagsfilm på olie/vandgrænsefladen, men de forskellige monolag er normalt ikke ordnede indbyrdes. I denne henseende er mikroemulsioner forskellige fra almindelige tre-komponentblandinger. Desuden har de organiserede amfifilmonolag ikke den samme type langtrækkende orden, som man finder i flydende krystaller. Det er vigtigt at skelne en mikroemulsion fra en almindelig emulsion, som er thermodynamisk metastabil eller ustabil og kinetisk stabiliseret, og som udviser struktur over meget større længdeskalaer, typisk 10^4 - 10^5 Å.

Det er netop disse særegne egenskaber ved mikroemulsioner, som gør en beskrivelse af dem både interessant og vanskelig. Den er interessant, fordi mikroemulsionens struktur kan idealiseres som et agglomerat af grænseflader, og vanskelig, fordi disse grænsefladers orden indbyrdes ikke er langtrækkende som i en flydende krystal. Det sidste forhold gør beskrivelsen vanskelig, fordi det betyder i praksis, at mikroemulsionen er en dynamisk, struktureret væske af fluktuerende grænseflader, hvis stabilitet i stor udstrækning er kontrolleret af entropiske kræfter.

Mikroemulsioner er af omfattende teknologisk betydning til solubilisering, f.eks. inden for kosmetik- og levnedsmiddelindustrien. En særlig vigtig form for mikroemulsionsfaser eller systemer med mikrofaseseperation er blok copolymerer, som benyttes i maling. Et andet vigtigt eksempel er anvendelsen af detergenter til dannelse af olie-vand mikroemulsioner ved tertiær olieindvinding.

Det helt afgørende spørgsmål i forbindelse med mikroemulsioner angår, hvilke forhold, der bestemmer mikroemulsionens stabilitet. Her er en række faktorer, der gør sig gældende, hvoraf de vigtigste er: (i) grænsefladespændingen mellem olie og vand, (ii) blandingsentropien for olie-vand blandingen, (iii) krumningsenergien i amfifillaget mellem vand- og olieområderne og endelig (iv) vekselvirkningen mellem olie og vand. Det er den høje grænsefladespænding mellem olie og vand (~ 50 mN/m), som amfifilmolekylerne medvirker til at sænke til et niveau (typisk ~ 5 mN/m), som tillader opløsning af de to komponenter i hinanden i form af f.eks. en mikroemulsion. Mikroemulsionen er imidlertid kraftigt destabiliseret af det energibidrag, som ligger i krumningen af amfifilgrænsefladet. Det er ved sænkning af krumningsenergien, f.eks. ved tilsætning af en passende cosurfactant som alkohol, at det er muligt at foretage en kraftig stabilisering af mikroemulsionsfasen. Alkoholen ændrer stivhedskonstanten af monolaget, så grænsefladespændingen bliver meget lille (typisk $\sim 10^{-2}$ mN/m). de Gennes har som bidrag til dette felt formuleret en enkel

teori, som forbinder grænsefladestivheden med mikroemulsionens koherenslængde, og som dermed giver en forståelse af, hvilke af systemets egenskaber, man skal ændre for at stabilisere mikroemulsionen.

Membraner:

Plane faser (membraner) af amfifiler kan under visse omstændigheder dannes i forbindelse med vand. Det simpleste eksempel er amfifilmonolag dannet på en vand/luft-grænseflade. Denne bløde tyndfilm har en lang række todimensionale faser med forskellige strukturer. Filmens mikrostruktur kan kontrolleres ved hjælp af lateralt tryk, ionfordeling i vandfasen og ved hjælp af elektriske felter. Det er muligt at overføre filmen til et fast substrat, hvorved der dannes en såkaldt Langmuir-Blodgettfilm. Sådanne film er velegnede til indbygning af specifikt designede molekyler til brug i mikroelektroniske devices.

Det er også muligt i vand at danne amfifildobbeltlag, hvorved de vandopløselige dele af amfifilen afskærmes fra vandet. Lipidmolekyler, som er en form for fedtstof, er en speciel type af amfifiler, der danner strukturerede væsker af dobbeltlag i vand. Dette lipiddobbeltlag er kernen i en biologiske membran. En skematisk illustration af en biologisk membran er vist på forsiden. Foruden dobbeltlaget består den biologiske membran af en lang række andre komponenter, for eksempel proteiner.

Selve membranens lipiddobbeltlag er ganske tyndt: det hydrofobe lag af kulbrintekæder er cirka 30-40 Å tykt, og de to modstillede hydrofile hovedgruppeområder er hver på cirka 5 Å. Dertil kommer, at det tilgrænsende vand har en særlig struktur i et område ud til omkring 10 Å fra hovedgrupperne. Overgangen fra membranen til det vandige medium er derfor diffust. Også på dette område har de Gennes ydet et vigtigt teoretisk bidrag ved at opstille en simpel teori, som forklarer profilen af vandmolekylernes ordning i nærheden af membranens overflade. Membranen med lipider og proteiner opfører sig under fysiologiske betingelser som en todimensional væske. Molekylerne er bundet til membranens plan, men de kan frit bevæge sig (diffundere) i denne plan. Derved får membranen mange egenskaber tilfælles med flydende krystaller. Man kan sige, at den biologiske membran er naturens foretrukne strukturerede væske og flydende krystal. Der er mange interessante materialfysiske grunde hertil!

Selve lipidmembranen er en mekanisk stærk kemisk isolator. Naturen har forøget kohæsionen af membranen i forhold til et simpelt én-komponentlipiddobbeltlag ved at vælge en særlig sammensætning af forskellige membran-komponenter. Fra et materialfysisk synspunkt er et sådant system en legering eller et såkaldt kompositmateriale. Membranens store mekaniske styrke bevirker, at ioner og større molekyler kun vanskeligt kan trænge igennem. Desuden medfører den, at membranen let kan deformeres uden at bryde. Mikromekaniske studier af modelmembraner har vist, at membraner har helt usædvanlige materialegenskaber. I den flydende fase er membranen 100-10000 gange mindre sammentrykkelig end en ideal gas, men samtidig 1000 gange mere sammentrykkelig end en almin-

delig væske. Desuden er membranen 100 gange blødere end den blødeste latexgummi og samtidig mange størrelsesordner mere modstandsdygtig over for udmattelse. Til at frembringe disse helt ekstraordinære materialeegenskaber har naturen benyttet et legeringsprincip, og den helt afgørende molekylære komponent hertil er kolesterol. Det optimale kolesterolindhold er på cirka 30-40%. Man kender ikke noget andet molekyle end kolesterol, der kan frembringe disse legeringsegenskaber. Det er bemærkelsesværdigt, at røde blodceller har plasmamembraner med netop dette optimale kolesterolindhold, og at disse cellers udmattelsesstyrke kan sammenlignes med en modellipidmembran, som indeholder ca. 35% kolesterol. De bløde elastiske egenskaber af røde blodceller er helt enestående: cellerne deformeres elastisk og kommer tilbage til deres oprindelige form mindst 100.000 gange under deres funktion i menneskets blodcirkulation. Ikke det blødeste latexgummi ville kunne klare dette.

De mekaniske stabilitetsegenskaber af lukkede lipidmembraner kan studeres ved mikromekaniske målinger. Ved høje temperaturer er membranen en todimensional væske. I denne fase er membranens egenskaber bestemt af konfigurationsentropi, hvilket blandt andet betyder, at den som en todimensional polymer frastøder andre membraner og faste overflader. En generalisering af de Gennes' scalingteori for éndimensionale polymerer til to dimensioner anvendes ofte til beskrivelse af membraner. Det er også interessant at bemærke, at flydende membraner kan ses som specialtilfælde af de tilfældige overflader, som studeres i højenergifysik og superstrengteori⁶.

Om soft condensed matter og naturens eget design af materialer:

Naturlige organiske materialer, som de findes i biologiske celler og væv, udviser en stor rigdom af komplekse strukturer. Der er klare indikationer af, at biologiske materialer fra naturens side er optimalt designet til hvert deres specifikke formål.⁴ Disse materials kompleksitet udgør i sig selv en forskningsmæssig udfordring. Men mere afgørende er måske, at de muligvis skjuler hidtil upåagtede designprincipper. At disse principper formodentlig er helt ekceptionelle og langt mere geniale end de opfindelser, som den menneskelige teknologiske snilde nogensinde har frembragt, antydes af det forhold, at naturen gennem evolutionen har haft mere end 10^9 år at udvikle og gennemprøve sådanne principper. Forsøget på at 'aflure' naturen disse designprincipper er i mindre grad en biologisk disciplin, end den er en opgave for fysikere, som arbejder inden for soft condensed matter.

Grunden til at tro, at studiet af blødt biologisk materiale kan bibringe os nye fysiske koncepter, er, at de strukturelle designprincipper, som naturen bruger, er fuldstændig forskellig fra de principper, som fysikere og ingeniører anvender til at fremstille og behandle kunstige (ikke-natur) materialer. Biologiske materialer synes komplekse for os, men nogle af deres fysiske egenskaber kan vi faktisk nu forstå ved hjælp af principper, som er hentet fra den kondenserede fases fysik. I sådanne tilfælde finder man

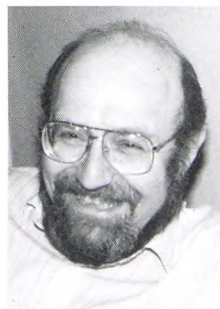
altid, at de fysiske egenskaber er optimeret med hensyn til betingelser fastsat af omgivelserne gennem en evolutionær proces. Et systematisk udforskning af de fysiske principper, som kontrollerer disse specielle egenskaber vil med stor sandsynlighed lede til nye tilgange til design af materialer og kan derfor komme til at udgøre grundlaget for en materialteknologi, som er helt anderledes, end den vi kender i dag. Den videnskabelige interesse i at afdække og forstå disse naturens designprincipper motiveres af den oplagte mulighed for at udnytte disse principper teknologisk, men samtidig også af, at der er et behov for en bedre forståelse af både den korrekte funktion såvel som den patologiske fejlfunktion af biologiske materialer.

Referencer:

- 1) For en interessant beskrivelse af den nye fysik af specielt strukturerede væsker, se T. A. Witten, *Physics Today*, July 1990.
- 2) A. J. Leggett, *The Problems of Physics*, Oxford University Press, Oxford (1987).
- 3) Y. Chevalier and T. Zemb, *Rep. Prog. Phys.* **53**, 279 (1990).
- 4) M. Bloom, E. Evans, and O. G. Mouritsen, *Quart. Rev. Biophys.* **24**, 293 (1991).
- 5) O. G. Mouritsen, *Naturens Verden* **3**, 60 (1991).
- 6) R. Lipowsky, *Nature* **349**, 475 (1991).



Ole G. Mouritsen dr.scient. professor i fysisk kemi ved Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby. Arbejder med statistisk fysik og computersimulering anvendt på områderne biologiske membraner, faseovergange i faste stoffer og på overflader, ordningsprocesser og systemer fjernet fra ligevægt.



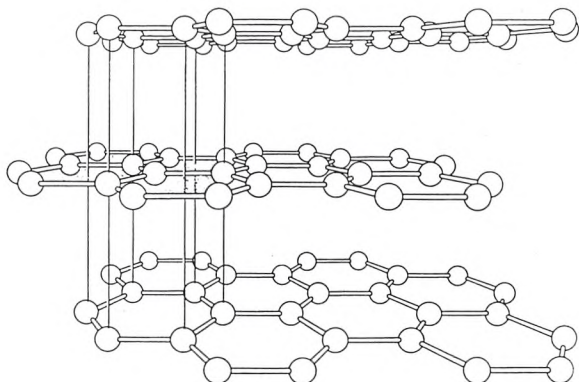
Martin J. Zuckermann professor i fysik ved Department of Physics and Centre for the Physics of Materials, McGill University i Montreal, Canada. For tiden gæsteforsker på DTH under Forskerakademiet. Arbejder med statistisk faststoffysik anvendt på amorf magnetiske materialer, biologiske systemer, og strukturerede væsker.

Diamantlignende film

Michael D. Bentzon, NKT Research Center

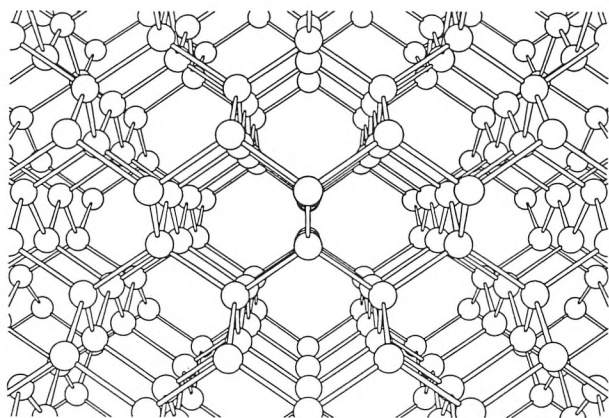
Forskellige former for kulstof

Kulstof findes på mange forskellige former. De to mest kendte er grafit og diamant. Grafit og diamant er begge krystallinske former for kulstof.



Figur 1. Krystalstrukturen for grafit.

Grafit har en hexagonal struktur, atomerne er bundet kraftigt til hinanden i sekskanter, der danner store plader (se figur 1). Pladerne er stablet oven på hinanden, men er indbyrdes kun svagt bundet. Dette betyder at krystaller af grafit er nemme at ødelægge. Pladerne glider let hen over hinanden, og grafit kan på grund af denne egenskab bruges som smøremiddel.



Figur 2. Krystalstrukturen for diamant.

Den anden form for krystallinsk kulstof er diamant. I diamant sidder alle atomerne i midten af et ligesidet tetraeder og binder lige stærkt til alle fire naboer. Diamant har selv givet navnet til denne krystalstruktur, der simpelt hen hedder diamantstrukturen (se figur 2). Også andre materialer har denne struktur, det gælder f.eks. silicium og germanium. Da alle atomerne i diamant binder lige kraftigt

til alle naboer er diamant mere isotrop end grafit. De kovalente bindinger mellem kulstof atomerne er desuden meget kraftige: disse to ting gør tilsammen at diamant er et meget stærkt og hårdt materiale, faktisk det hårdeste materiale, der kendes.

Den bindingstype som atomerne i grafit udviser kaldes sp^2 -bindinger, og det betyder, lidt forenklet, at de stærke bindinger imellem atomerne er lokaliseret i et plan (pladerne). Modsat disse kaldes bindingerne i diamant for sp^3 -bindinger.

Kulstof findes også på amorf form, det vil sige at materialet ikke kan beskrives ved en enhedscelle, der blot gentages. Derimod beskrives disse materialer ofte som tredimensionale netværk uden nogen langtrækkende struktur. Det er nu nærliggende at antage at disse amorf materialer kan være enten "grafit-lignende", det vil sige at sp^2 -bindinger dominerer, eller "diamant-lignende", altså at sp^3 -bindingerne dominerer. Det har faktisk været muligt at fremstille disse amorf materialer med et indhold af sp^3 -bindinger fra 0 % op til over 80 %.

Man ser ofte de diamant-lignende materialer omtalt som "amorf diamant", hvilket er en meget uheldig betegnelse på grund af det selvmodsigelige i de to ord "amorf" og "diamant". Udtrykket "diamantlignende" bruges i øvrigt også om belægninger, der indeholder op til 60 atom% brint.

Egenskaber af diamant og DLC

Diamant er et materiale, der har en lang række ret enestående egenskaber. Af disse kan nævnes at det er optisk transparent i et meget bredt område, fra det infrarøde til langt ind i det ultraviolette. Det har en meget høj resistivitet og en meget høj elektrisk gennemslagsstyrke. Det er som tidligere nævnt meget hårdt, faktisk fire gange så hårdt som siliciumkarbid, der er det næst hårdeste materiale og friktionen af diamant mod diamant er meget lille. Diamant har en meget høj varmeledningsevne, den er kemisk inaktiv og meget modstandsdygtigt mod f.eks. ætsning, idet ikke engang flussyre (HF) angriber diamant.

Mange af de enestående egenskaber som diamant udviser, er DLC også i besiddelse af, omend det absolutte niveau af disse ofte er reduceret noget. Dette er imidlertid ikke så alvorligt, idet der stadigvæk er tale om fortræffelige egenskaber.

Anvendelse af diamantfilm og DLC

Tribologi. Tribologi er læren om slid, friktion og smøring. Ligesom diamant er DLC meget hård og udviser lav friktion. Det er derfor en naturlig kandidat indenfor tribologiske anvendelser, idet lavt slid og lav friktion naturligvis er ønskelig. Specielt vil DLC være anvendelig i kemisk aggressive miljøer, samt i omgivelser hvor smøring er uønskelig eller umulig.

Skærende værktøj. Diamantfilm kan benyttes som en hård og slidstærk belægning på skærende værktøj. Det der i øjeblikket ser ud til at være den alvorligste begrænsning på disse anvendelser er, at det er vanskeligt at få en god vedhæftning. Diamantfilmen falder af inden den bliver slidt.

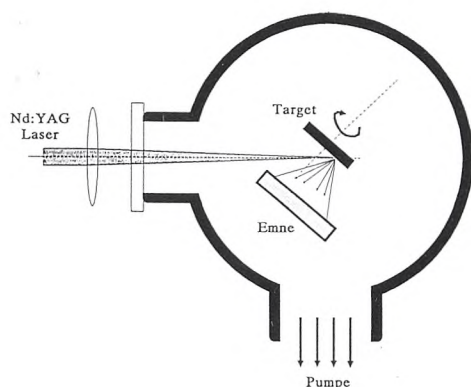
Elektronik. Diamant er en potentiel kandidat til anvendelse som halvleder. Diamant har et båndgab på 5.5 eV og har desuden en stor varmeledningsevne. Dette betyder at halvlederkomponenter vil kunne operere under ekstreme betingelser. DLC vil endvidere kunne anvendes som en meget bekvem metode til bortledning af varme fra elektroniske komponenter idet DLC både er elektrisk isolerende og har en meget stor varmeledningsevne.

Diamant og DLC's anvendelsesmuligheder er langt fra begrænset til de her nævnte. Af andre områder kan nævnes: beskyttende belægning på optiske- og mikroelektronikkomponenter, kapacitorer med høj energitæthed, belægning på proteser (bio-kompatibel) osv.

Fremstilling af DLC

Syntetisk fremstilling af diamant og DLC kan foregå under brug af flere forskellige teknikker. Fælles for de fleste er at en kulstofholdig gas, f.eks. metan, ioniseres eller eksiteres og reagerer med en varm overflade, ofte under tilstedeværelse af brint og små mængder ilt. Ioniseringen kan foregå enten ved at anvende plasma teknikker eller ved at gassen ledes hen over en varm glødetråd. Afhængig af betingelserne vil der så blive dannet enten krystallinsk diamant eller DLC, idet fremstilling af krystallinsk diamant ofte kræver højere temperaturer.

På NKT Research Center (NRC) foregår fremstillingen af DLC ved laserforstøvning. Princippet fremgår af figur 3. En høj-effekt laser stråle fokuseres på et grafit target. I et lille område frembringer laser strålen en meget kraftig opvarmning, og en lille del af grafitten "fordamper". De "fordampede" kulstof atomer og ioner bevæger sig derefter langs en ret linje fra target over på den overflade man ønsker at belægge med DLC.



Figur 3. Opstilling til fremstilling af DLC film ved laserforstøvning.

Ved at pålægge en spændingsforskel mellem target og substrat kan de positive ioner accelereres op til en ønsket energi.

Ved NRC er arbejdet med DLC endnu ikke så langt fremme at anvendelser ligger lige om hjørnet. Arbejdet har indtil nu været koncentreret om etablering af en opstilling til fremstilling af belægninger med en simpel geometri, samt etablering af karakteriseringsfaciliteter. Endvidere er der blevet fremstillet en hel del film med henblik på at opnå erfaring i hvilke parametre, der er vigtige for fremstillingsprocessen.

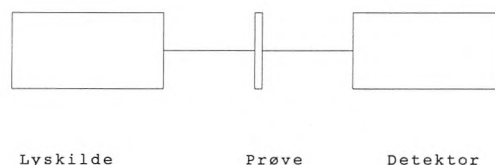
Karakterisering af DLC

Hvis man ønsker at anvende DLC belægninger til tribologiske formål, er det nærliggende at foretage målinger af materialets tribologiske egenskaber. Først og fremmest dets evne til at modstå slid samt materialets friktion under relevante betingelser. Imidlertid er tribologiske målinger ofte tidskrævende, og adgang til specielt udstyr er nødvendigt. Endvidere er det ofte vanskeligt at sammenligne resultater, der er opnået på forskellige laboratorier.

Ved udvikling af teknikker til fremstilling af DLC film er det derfor ønskeligt at råde over simple og ikke-destruktive teknikker til karakterisering af de fremstillede film. Egenskaber, hvor grafit og diamant afviger meget fra hinanden er nærliggende at anvende ved karakterisering af DLC film. Og da man ønsker den fremstillede film så diamant-lignende som mulig må man så stile efter at filmen mere ligner diamant end grafit.

Indholdet af sp^2 - og sp^3 -bindinger i materialet er en nærliggende måde at karakterisere den fremstillede film på. Imidlertid kræver dette anvendelse af et såkaldt dedicated STEM instrument (Scanning Transmissions Electron Microscope), som er et meget dyrt instrument (5-10 Mkr). Endvidere er metoden destruktiv, idet den kræver at der ætzes et hul i substratet, således at elektronerne kan trænge igennem prøven.

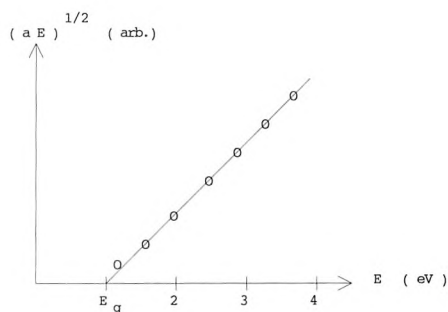
Massetæthed er en parameter hvor grafit og diamant afviger en del (2,3 hhv. 3,5 g/cm³). Imidlertid er det ofte vanskeligt at måle massetætheden af en tynd (0.1-1µm) film der sidder på et tungt substrat, idet man ikke bare kan måle masse og volumen. På NRC er der udviklet en metode til bestemmelse af $t \cdot \rho$ (t :tykkelse, ρ :massefylde) ved anvendelse af et SEM (Scanning Electron Microscope), en måling, der ellers kræver meget dyrere udstyr. Ved derefter at måle tykkelsen af filmen i et optisk mikroskop, eller med andre teknikker, kan man derefter finde massefylden ρ .



Figur 4. Spektrofotometer opstilling til måling af films absorption af lys i bølglængde området 200-600 nm.

Da diamant er meget transparent og grafit er ikke-transparent, er det nærliggende at anvende optiske metoder

til karakterisering af DLC-filmene. Ved anvendelse af et spektrofotometer kan man måle en films evne til at transmittere lys med forskellig bølglængde, se figur 4. Metoden kan også anvendes når filmen ligger på et substrat, der er ikke-transparent, idet man da måler det reflekterede lys.



Figur 5. Afbildning af $(a \cdot E)^{1/2}$ som funktion af E , hvor E er lyskvanternes energi og a den lineære dæmningskoefficient. Punkterne ligger på en ret linje og ekstrapoleres til skæring med abscissen. Dette punkt angiver båndgabets E_g .

Halvledermaterialer, som f.eks. diamant, karakteriseres ofte ved deres båndgab, d.v.s. energifstanden mellem valens- og ledningsbåndet. For diamant er båndgabets 5.5 eV, mens det for DLC-film ofte ligger i intervallet fra 0.5-3.0 eV. Båndgabets kan man måle med spektrofotometret ved at måle den lineære dæmningskoefficient, a , for forskellige bølglængder, se figur 5.

Fremtiden for diamant og DLC

Det er vanskeligt at spå, specielt om fremtiden. Men med den store indsats der gøres indenfor forskning og udvikling omkring fremstilling og anvendelse af DLC og diamant, sammenholdt med de enestående egenskaber som disse materialer udviser, er der for mig ingen tvivl om at de fremover vil indgå i en stigende del af produkterne fra den moderne industri.



Michael D. Bentzon Civilingeniør fra Danmarks tekniske Højskole (1983). Afgangsprøve ved Laboratoriet for Teknisk Fysik II, hvor han også gennemførte licentiatstudium indenfor studiet af vekselvirkning mellem metaldefekter og gasurenheder, undersøgt med positronannihilationsteknik. Derefter fem år som fondsansat ved Laboratoriet for Teknisk Fysik (I), DTU, med undersøgelse af ultrafine partikler ved anvendelse af transmissions elektron mikroskopi (TEM). I 1991 ansat ved NKT Research Center, hvor han deltager i arbejdet omkring fremstilling af diamantlignende belægninger.

NKT's Forskerpris

Baggrunden for Forskerprisen, som den blev udtrykt ved overrækkelsen den 18 november af NKT's direktør Ole Steen Andersen.

For godt 3 år siden aftalte NKT og Dansk Fysisk Selskab, at NKT i en treårig prøveperiode ville sponserere en fysikpris på 50.000 kr.

Prøveperioden udløb sidste år, og NKT besluttede, at man gerne ville fortsætte, men under lidt ændrede former.

For det første vil man hos NKT gerne sikre, at prisen er attraktiv. Derfor er prisbeløbet hævet til 100.000 kr. Til gengæld uddeles den kun hvert andet år til en fysiker. Herved mener man at have sikret, at prisen også fremover kun tildeles for en indsats af virkelig høj, international klasse.

De øvrige år vil prisen blive tildelt en kemiker. Prisuddelingen vil her ske ved Kemisk Forenings årsmøde. Da prisen gøres mere permanent har NKT endvidere ønsket, at prisen fremover skal bære navnet **NKT's FORSKERPRIS**.

NKT's baggrund for at finansiere en sådan pris er, at den virksomhed der bedrives inden for den naturvidenskabelige grundforskning er af overordentlig stor betydning for udviklingen af vort samfund. Og den er naturligvis også af stor betydning for en virksomhed som NKT, hvis virke er baseret på teknologisk kunnen. Og af grundvidenskaberne er det specielt fysik og kemi, der har NKT's særlige interesse.

På den anden side er det synd at sige, at den naturvidenskabelige forskning nyder den store bevågenhed i dagens Danmark - og slet ikke forskningen inden for fysik og kemi. Resultatet er, at selv for de forskere, som yder en helt ekstraordinær indsats skorter det på anerkendelse. Og det på trods af, at de ofte ofrer både dag og nat for at nå deres resultater.

Derfor vil NKT med Forskerprisen være med til at sætte et flag, der fortæller: "Her er en dansk forsker, der har ydet en fremragende præstation, også målt med internationale alen. Og det værdsætter vi".

Det er personen - forskeren - der er i centrum. Derfor også navnet "**FORSKERPRIS**".

NKT's Forskerpris 1991 til kernefysiker fra Niels Bohr Institut

Docent lic. scient Carl Gaarde, Niels Bohr Institutet, fik tildelt NKT's Forskerpris 1991 på 100.000 kr for sin internationalt anerkendte indsats omkring forståelsen af atomkernernes spinrespons.

Den 18. november 1991 blev NKT's Forskerpris uddelt for 4. gang under Dansk Fysisk Selskabs årsmøde i Odense. Dansk Fysisk Selskab står for uddelingen af prisen på 100.000 kr. til en fysiker, som har gjort en speciel bemærkelsesværdig forskningsindsats. I år pegede selskabets bedømmelseskomité på docent, lic. scient Carl Gaarde, som er ansat på Niels Bohr Institutet i København og ved Risø.

Stærk forskningsprofil

Carl Gaarde tildeles NKT's Forskerpris 1991 for sit bidrag til forståelsen af atomkernens spin-isospin respons. I 1980 lykkedes det for Carl Gaarde og hans medarbejdere i USA at iagttage en skarp spinrespons, som optræder ved høj energi i alle tunge kerner. Det er sjældent, at en eksperimentalfysiker oplever, at hans målbevidste anstrengelser krønes med så klar og væsentlig en opdagelse, som der her var tale om. Carl Gaarde står fortsat som en central person i det frugtbare, internationale forskningsfelt, som hans opdagelser har medvirket til at danne grundlag for. Han er ærketypen af en grundforsker, der over en lang årrække frem til i dag har fastholdt sin stærke forskningsprofil, udtaler Peter Sigmund på bedømmelseskomitéens vegne.

Dejligt at opleve noget "specifikt"

Carl Gaarde virker i dag som forsker og underviser ved Niels Bohr Institutet, dels på Blegdamsvej i København, dels på instituttets Tandem Accelerator Laboratorium ved Risø.

- Forskning er min hovedbeskæftigelse, og det er ikke en gerning, som man nogensinde slipper helt. Det er en livsstil, som i perioder praktiseres både dag og nat. Det, der driver én, er ønsket om at finde sammenhængen imellem nogle komplicerede fænomener, således at man bidrager til en udvidelse af grænserne for den menneskelige erkendelse. I 1980 fandt vi en specifik metode til at analysere atomkernens spinrespons. Det er dejligt, når man oplever noget specifikt, for så gør man fremskridt. Hver enkelt erkendelse er en sten i et stort bygningsværk, som aldrig bliver helt færdigt, siger Carl Gaarde.

Dansk-fransk forskningssamarbejde

Carl Gaarde indgår i dag i et internationalt team af primært danske og franske eksperimentalfysikere, som til stadighed søger at nå til nye erkendelser om atomkernen ved igennem accelerator-forsøg at bombardere atomkernen med partikler for herefter at måle og analysere kernens respons. De praktiske forsøg foregår på Saturne laboratoriet uden for Paris, hvor man råder over en accelerator, der er mere end

100 meter lang, og som alene i el-forbrug koster 100.000 kr om dagen i drift. Forskergruppen fra NBI benytter acceleratoren i ca. 1 måned om året. En betydelig del af det efterfølgende, computerbaserede analysearbejde foregår i Danmark.

- Atomkernen er et rigt system, som er særdeles velegnet til studiet af fundamentale fysiske egenskaber. Vi søger bl.a. igennem samarbejde med teoretikere at skabe et overblik over sammenhængen imellem det, man har forstået ved lave energier, og det man har forstået ved høje energier. Fænomener, som optræder ved høje energier, ytrer sig nemlig måske allerførst ved en spinrespons i atomkernen. Man kan sige, at vi forsøger at bygge bro imellem atomkernefysik og partikelfysik, siger Carl Gaarde.



NKT's Forskerpris 1991 på 100.000 kr. blev tildelt kernefysikeren Carl Gaarde, Niels Bohr Institutet, på Dansk Fysisk Selskabs årsmøde i Odense den 18. november 1991. Prisen overrækkes her af direktør Ole Steen Andersen, NKT.

Carl Gaarde har indvilget i at skrive en artikel til KVANT omkring sit arbejde. Den håber vi at kunne bringe i løbet af foråret 1992.

Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab

Referat af Generalforsamling den 18. november 1991

1. Valg af dirigent. Jørn Hvam blev valgt og konstaterede, at generalforsamlingen var lovligt indkaldt.

2. Formandens beretning. Nils O. Andersen gennemgik selskabets aktiviteter i det forløbne år. Den fulde beretning bringes i KVANT.

Sektionernes aktiviteter blev kort nævnt.

European Physical Society er udsat for stort pres for at ændre sig til et tydeligere talerør for Europas ca. 60.000 fysikere. Et hollandsk forslag om at lade alle fysikere være direkte medlemmer af EPS til et væsentligt reduceret kontingent, i stedet for som nu gennem deres nationale selskaber, er en af mulighederne.

KVANT, som udgives sammen med Selskabet til Naturlærens Udbredelse, er kommet godt fra start med en tilfredsstillende økonomi og et værdsat indhold. Vanskelighederne med at holde tidsplanen er forhåbentlig ved at være overvundet. Kvant er hovedårsagen til en glædelig *medlemsfremgang* på ca. 75 i det forløbne år, først og fremmest juniormedlemmer. Hvert af de udgivende selskaber har stillet et beløb på op til 10.000 kr. til rådighed til marketing for at udbygge denne indsats.

Den efterhånden traditionelle *sommerskole*, i år "Sorødagene '91", havde 24 deltagere og søger nu finansiering for de nærmeste år.

NKTs forskerpris er efter prøvetiden på 3 år forøget fra 50.000 kr. til 100.000 kr. og vil i fremtiden blive uddelt hvert andet år i fysik og i kemi.

Bestyrelsesvalget for 1992-93 : Den afgående bestyrelse foreslår genvalg af Jens Peter Lynov (Risø), Brian Bech Nielsen (AU), Jens Onsgaard (OU) og Nils O. Andersen (KU) samt nyvalg af Torsten Freltoft (NKT), Mette Vedelsby (Frederiksborg Gymnasium) og Dan Birkedal (DTH). Eventuelle andre forslag modtages efter opslag i Kvant.

Fra 1. november 1991 er *sekretærfunktionen* overtaget af Bjarne Andresen (KU) efter Jørgen Schou (Risø).

Fysikudredningens endelige rapport fra styregruppen vil blive færdiggjort efter styre-gruppens sidste møde den 29. november.

Kommentarer: Svend Bjørnholm efterlyste et indlæg fra en repræsentant fra styregruppen, så der ikke skulle gå et helt år, før den kunne diskuteres på næste generalforsamling. Flere fandt det upassende at diskutere rapportens (eventuelle) indhold før dens offentliggørelse og fandt i øvrigt, at det ikke hørte under generalforsamlingen.

3. Godkendelse af regnskab for 1990 og orientering for 1991. Nils O. Andersen fremlagde regnskabet for kassereren, Brian Bech Nielsen, som var forhindret. Det reviderede regnskab blev omdelt, hvilket fik Jacob Bohr til at foreslå udsættelse af behandlingen til næste generalforsamling, da det ikke havde været udsendt. Generalforsamlingen akcepterede i lighed med tidligere år at behandle det

straks. Formanden vil anmode kassereren om fremover at bringe regnskabet i det i forvejen udsendte program. Selskabets økonomi er i et stabilt leje med et overskud på ca. 30.000 kr. i 1990. Foranlediget af et spørgsmål fra Svend Bjørnholm blev DFSs udgifter i forbindelse med EPS diskuteret. Ove Poulsen rundede af med at opfordre til at blive individuelt medlem af EPS. Herefter blev regnskabet godkendt.

Forventningerne for 1991, som også var aftrykt på det omdelte regnskab, er gode med udsigt til overskud. Jacob Bohr ønskede, at tab på manglende kontingentindbetalinger tydeligere skulle fremgå af regnskabet.

4. DFSs fremtidige aktiviteter og struktur. Igangværende og planlagte aktiviteter omfatter bl. a. *Kvant* og *Danish graduate school in physics, astronomy, and geophysics*, hvor DFS har stillet 5.000 kr. til rådighed for det forberedende arbejde. Det er tanken, at DFS's rolle primært er katalyserende, således at selve skolen skal foregå i institutionernes regi.

Der blev derefter fremsat forslag om i 1993 at afholde et fælles forårsmøde for alle DFS's sektioner. DFS's generalforsamling og Fysikprisens uddeling skulle så finde sted her. Hensigten er dels at lave et arrangement, der kan samle alle landets fysikere (hvad årsmødet ikke kan pga tidspunktet), dels at reducere udgiften ved deltagelse i DFS's møder. Per-Anker Lindgaard understregede på faststofsektionens vegne, at omlægningen ikke måtte gå ud over mødets faglige indhold, og at det fortsat skulle være et forum for yngre forskere til at præsentere deres ideer. Han var endvidere bekymret for, om SNF's støtte kunne opretholdes. Nils O. Andersen vil undersøge dette spørgsmål og understregede endelig, at forslaget via Kvant lægges ud til medlemmerne til overvejelse.

Nils O. Andersen nævnte endvidere, at DFSs *sektionsopdeling* har eksisteret i en årrække og måske er moden til revision, f. eks. ved samle atom-, molekyl- og optisk fysik, som det er sket i andre lande, ligesom plasmafysikkens tilhørsforhold kunne drøftes. Mulige samarbejdsformer med Dansk Optisk Selskab (DOPS), der har ca. 220 medlemmer, berørtes; der er skønsmæssigt et sammenfald på 20-25% i medlemsskaren. DOPS vil drøfte spørgsmålet på sin generalforsamling dagen efter.

5. Forslag fra medlemmerne. Der var ingen forslag indkommet i forvejen. På mødet foreslog Per-Anker Lindgaard, at DFS tager et initiativ med hensyn til fysikudredningen, så snart den er offentliggjort. Jacob Bohr advarede selskabet mod at blande sig og specielt mod direkte eller indirekte at evaluere sine egne medlemmer.

6. Eventuelt. Intet.

Referat ved Bjarne Andresen

Dansk Fysisk Selskab, 1991

Formandens beretning, afgivet på generalforsamlingen den 18. november 1991 på Brandts Klædefabrik, Odense

Sektionerne

Den væsentligste faglige aktivitet ligger i sektionerne, så vi starter med dem :

Faststofsektionen har i det forløbne år afholdt følgende møder :

Winter School in Modern Physics, 21-22 januar på Forskningscenter Risø. Arrangeret af Kell Mortensen og Per-Anker Lindgaard. Støtte fra Risø, SNF og DFS.

Spring Meeting '91, 21-22 maj på Nyborg Strand. Arrangeret af faststofsektionen. Støtte fra SNF, Tuborg og Otto Mønsteds Fond.

Aktuel Halvlederfysik, 9 oktober på H.C. Ørsted Institutet. Arrangeret af Erling Veje. Støtte fra SNF.

DFS Topical Meeting on Nonlinear Physics, 14 oktober på NORDITA. Arrangeret af Henrik Jeldtoft Jensen og Mads Peter Sørensen. Støtte fra SNF.

Sektionen har endvidere inviteret P.G. de Gennes til at holde et foredrag i anledning af Nobelpris tildelingen (tidspunkt ikke fastlagt), og planlægger et fællesnordisk møde i faststoffysik, *Nordic Spring Meeting '92*, 7-10 maj på Nyborg Strand.

Atomfysiksektionen har ydet rejsestøtte til studerende til et møde om fusionsforskning, 20 november på DTH, og planlægger næste år deltagelse i den Europæiske *ECAMP IV* konference i Riga 6-10 april, hvortil man søger at skaffe særlige midler til studenterrejser.

Sektionen for Kerne-, Partikel- og Astrofysik har afholdt følgende møde :

Forårsmøde 1991, 5-6 maj på Sandbjerg Slot. Støtte fra DFS.

Sektionen for Uddannelse og Undervisning planlægger et initiativ til foråret vedrørende post-gymnasial undervisning.

European Physical Society

EPS drøfter for tiden intenst en restrukturering af selskabet. De mange ændringer af samarbejdsvilkårene i Europa stiller krav om en omlægning af EPS fra et lille, eksklusivt selskab med (dårlig økonomi og) kun ca. 4000 medlemmer (såkaldte IOM's : Individual Ordinary Members) til en slagkraftig organisation for alle Europas fysikere, hvis antal alene i de vestlige lande er 60.000. Det hollandske fysiske selskab har stillet forslag om, at de nationale selskaber kan tegne kollektivt IOM-medlemskab til en stærkt reduceret pris, hvorefter medlemmerne bl.a. vil modtage Europhysics News. Forslagets skæbne drøftes på EPS-mødet i marts. Der spores overvejende positiv stemning for forslaget i mindre lande som de skandinaviske, mens de store lande, og her især IOP (England) og DPG (Tyskland), der vil få den største udgiftsstigning, er tøvende. EPS arbejder endvidere med et intereuropæisk program til studenter-udveksling,

hvor fem danske fysikinstitutter foreløbigt har meldt sig som interesserede.

KVANT

Bladet er kommet godt fra start. Her ved afslutningen af dets andet leveår kan der konstateres en udbredt tilfredshed med bladets form og indhold. Ligeledes ser budgetterne ud til at holde, bl.a. takket være en tilfredsstillende annoncemængde. Det har knebet med at holde udgivelsesterminerne, af grunde delvist ude af redaktionens kontrol. Der arbejdes på at rette op på dette, idet det er forudsætningen for, at bladet kan bruges som meddelelsesblad for DFS og sektionerne, f.eks. til mødeannoncering. Selskabet for Naturlærens Udbredelse har bevilget op til 10.000 kr til marketing for bladet, idet man mener bladet fortjener endnu større udbredelse. DFS's bestyrelse har besluttet at støtte med et tilsvarende beløb.

Sommerskole

Selskabet har for fjerde år i træk afholdt en sommerskole for elever i 2.g. 24 elever deltog i *Sorødagene 91* i dagene 24 juni-1 juli på Sorø Akademi. Hovedemnerne var i år Den levende jord tilrettelagt af Klaus Mosegaard (KU) og Trine Dahl-Jensen (GGU), samt Lyd, Lys og Farver tilrettelagt af Birte Christensen-Dalsgaard (AU) og Søren Keiding (OU). Endvidere var der foredrag om aktuelle emner indenfor fysik, kemi og matematik af en række forskere. Den bevilling fra Jernets Uddannelsesfond, som har været det økonomiske grundlag for aktiviteten de senere år, er nu opbrugt, og vi søger for tiden nye sponsorer.

NKT's Forskerpris

Efter en prøveperiode på tre år har NKT besluttet at fortsætte ordningen indtil videre, idet prisen fordobles til 100.000 kr og vil alternere mellem fysik og kemi i regi af henholdsvis DFS (ulige år) og Kemisk Forening (lige år).

Fysikudredningen

Det igangværende udredningsarbejde om den offentlige danske fysikforskning nærmer sig sin afslutning. Bestyrelsen tager ikke initiativer mens arbejdet står på, men modtager gerne forslag til eventuelle opfølgende arrangementer.

Medlemstal

Medlemstallet i 1991 ser ud til at vokse med ca. 75, især ungdomsmedlemmer tiltrukket af KVANT-initiativet. Medlemslisten er under a jourføring i forbindelse med en omlægning og smidiggørelse af selskabets administration; tallene søger vi at bringe i næste nummer af KVANT.

Bestyrelsen

Forslag til bestyrelsens sammensætning i 1992-93 fremgår af annoncen andetsteds i KVANT.



Den 10. oktober 1991 blev Kirstine Meyer f. Bjerrums legat tildelt Dorte-Dahl Jensen ved en sammenkomst i Selskabet for Naturlærens Udbredelse på H.C.Ørsted Institutet

Oplevelser på Grønland med GRIP

Motivation for tildelingen

Professor Willi Dansgaard, Geofysisk Institut, København

I længst forsvundne dage havde en professor betydelig indflydelse på hvem der blev ansat på et institut. Og dengang *blev* der af og til ansat folk ved institutterne.

Jeg husker tydeligt fra den gang, at jeg havde nogle ganske enkle kriterier, som jeg vurderede ansøgere ud fra.

Det første spørgsmål jeg stillede mig selv var:

Kan vi omgås den person på en venskabelig måde?

Det fandt jeg vigtigst af alt. Det næste spørgsmål var:

Er ansøgeren bredsporet? Kan han/hun flere/mange ting - undervise, forske, forhandle, skrive, få ideer, udføre eksperimentelt arbejde, teoretisk arbejde, praktisk arbejde o.s.v.

Navnlig på et lille institut er det vigtigt, at de få medarbejdere ikke er for specialiserede, at de supplerer hinanden og helst overlapper hinandens ekspertise en smule, så de kan erstatte hinanden om nødvendigt. Og det sidste spørgsmål var:

Er ansøgeren dygtig nok?

Jeg tror at jeg har været heldig med at bruge disse tre kriterier, for så vidt som samtlige fire faste medarbejdere i vores afdeling har været ansat over 20 år. Vi har af og til været uenige, men aldrig uvenner, og der er ikke groet mos på andre end mig selv.

Hvad nu Dorte angår, har jeg desværre aldrig haft lejlighed til at anvende kriterierne på hende, fordi der endnu ikke har været en passende stilling at putte hende i. Skulle det ske en dag, og skulle jeg blive spurgt, ville svaret på alle tre spørgsmål blive et klart JA med store bogstaver: Hun er overordentlig omgængelig, alsidig og talentfuld.

Hendes talent som forsker har længe været åbenbart. Under det store europæiske forskningsprojekt, Greenland Icecore Project (GRIP), som vi er beskæftiget med i disse år, har Dortes modelberegninger været af fundamental betydning for valget af toppen af indlandsisen som boretsted. Dorte udviklede en kombineret model for isflydning og varmetransport i iskappen, der gjorde det sandsynligt, at temperaturen ved bunden, 3000 m under overfladen, er et godt stykke under tryk-smeltepunktet, modsat hvad der er tilfældet for eksempel i Antarktis. Måtte hun få ret i sin spådom, for eventuel smeltning ved bunden fjerner mange af de ældste årlag, iskappen indeholder, og vil således sætte snævre grænser for hvor langt tilbage i tiden, vi kan nå ved at gennembore iskappen.

Med hensyn til alsidighed vil onde rygter vide, at Dorte ikke er verdensmester i at slå søm i. Men til gengæld har jeg personligt overværet, hvordan hun sammen med sin søster flyttede 50 tons gods på en enkelt dag i Søndre Strømfjord, samtidig med at hun viklede såvel US Air Force som lufthavnsmyndighederne om sin lillefinger og fik dem til at makke ret til fordel for FRIP og *det* er ikke nogen let sag!

Hun er også kendt og respekteret på den anden side af Atlanten, ikke bare på grund af sit videnskabelige arbejde, men også på grund af en episode, der udspillede sig på Indlandsisen i Sydgrønland for snart adskillige år siden. Vore amerikanske venner havde store problemer med at få deres iskernebor til at fungere. Til sidst opgav de, vendte hele ekspeditionen og begav sig på vej tilbage mod vores fælles hovedbase. Undervejs stødte de på et mærkeligt syn: Midt i ødemarken stod én enkelt person med et langt mindre bor og trak det ene kernestykke op efter det andet. Det var Dorte, og *det* gjorde indtryk.

Men vigtigst for dette selskab er naturligvis udbredelsen af naturlæren. Også på dette område har Dorte gjort en alsidig indsats: Hun holder nogle fremragende forelæsninger og studiekredse. Hun har i flere år været redaktør af de fysikstuderendes tidsskrift GAMMA. Hun har skrevet populære videnskabelige artikler i NATURENS VERDEN. Og senest har hun gjort en stor indsats ved etablering og gennemførelse af sommerferie-fysikkurser for gymnasieelever, de såkaldte Sorø-dage. Der er således særdeles god grund til at hædre Dorte Dahl-Jensen ved at tildele hende Kirstine Meyer, f. Bjerrums legat.

Takketale

Dorte Dahl-Jensen, GRIP, Geofysisk Institut, København

Tak til Selskabet for Naturlærens udbredelse for at have tildelt mig Kirstine Meyer's (født Bjerrums) legat. Det er en stor ære for mig at modtage dette legat, som må siges at være kommet helt uventet. En uventet ære glæder og luner meget og jeg vil gerne takke alle som har tænkt så godt om mig og om mit arbejde med isflydemodeller.

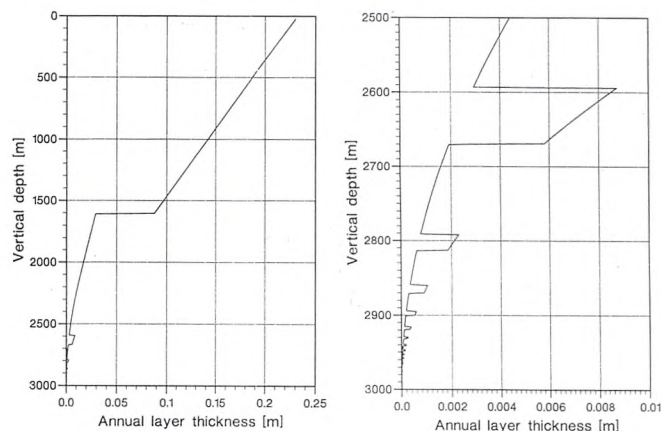
I år har jeg, som i de sidste par år, tilbragt det meste af sommeren på Grønland, hvor hele den glaciologiske gruppe ved Københavns Universitet er dybt involveret i boringen af en 3000 m lang iskerne fra toppen til bunden af Grønlands indlandsis ved Summit. Projektet GRIP (Greenland Ice core Project) er et europæisk projekt og boringen af iskernen

startede sidste år. Vi er ved slutningen af denne 1991 felt sæson nået ned i 2321 m's dybde, hvor isen er omkring 35 000 år gammel. De resultater, som vi får frem i denne periode omkring palæoklimaet, er så spændende og de giver mange modellerings-opgaver til mig:

- Hvor tykke er årlagene i isen? (Hvor er grænsen for at kunne opløse iskernemålingerne på år)
- Hvor gammel er isen ved bunden? (Hvor mange istider kommer vi igennem)
- Hvor finder vi de samme lag som amerikanerne, der borer en iskerne 30 km væk.

Så for tiden fungerer jeg som den store spåkone! Til beregning af alle disse størrelser kræves en isflydemodel for hvordan isen flyder nedad og udad mod iskappens rand. Beregninger af årlagstykkelserne (figur 1) viser, at årlagene fra toppen af iskernen ned til overgangen til sidste istid for 11 000 år siden udtyndes fra 23 cm til 9 cm. Efter overgangen til glacial is i 1625 m's dybde, er årlagene aftaget til 3-4 cm på grund af en mindre nedbør under istiden. Vi kan stadig opløse årene i vores kemiske, isotopiske og elektriske målinger. Næste år vil de årlag, der findes i den is der bores, udtyndes til under 1 cm i 2600 m's dybde,

hvor isens alder er 115 000 år. Men i den forrige mellem-istids periode, Eem tiden, vil årlagene igen være omkring 1 cm, og måske være målelige. En hidtil ukendt viden om fortidens klima ligger og venter på os!



Figur 1. Beregnede årlagstykkelser ned gennem isen ved Summit i Central Grønland, hvor GRIP projektet borer en 3000 m dyb iskerne.

Hvad alderen af isen er ved bunden, kan man stadig kun gætte på, måske 500 000 år? Mine beregninger viser at isens temperatur er -13°C ved bunden, og da den viser sig ikke at ændre sig mere end 2°C gennem en istidscyklus, kan man konkludere at den gamle is må være der, da den ikke er smeltet bort.

Som I kan høre, er vi ved at få nogle utrolige spændende og helt unikke resultater inden for vores viden om palæoklima fra iskerner. Jeg er glad for at få lov til at være med til at måle og fortolke disse data.

Valg til DFS's bestyrelse 1992-1993

Ved generalforsamlingen den 18. november 1991 blev det meddelt, at Bent Elbek, Søren Isaksen og Niels Falsig Pedersen træder ud af bestyrelsen efter eget ønske. Bestyrelsen foreslår herefter følgende sammensætning for 1992-93 :

- Jens Peter Lynov, Risø (1988; genvalg)
- Brian Bech Nielsen, Aarhus Universitet (1990; genvalg)
- Jens Onsgaard, Odense Universitet (1990; genvalg)
- Nils O. Andersen, Københavns Universitet (1990; genvalg)
- Torsten Freltoft, NKT (nyvalg)
- Mette Vedelsby, Frederiksborg Gymnasium (nyvalg)
- Dan Birkedal, Danmarks tekniske Højskole (nyvalg)

Der fremkom på generalforsamlingen ikke andre forslag til valg. Selskabets medlemmer kan inden 15. februar til selskabets sekretær, Bjarne Andresen, Fysisk Laboratorium, H.C. Ørsted Institutet, indsende andre forslag til kandidater. Forslag skal være underskrevet af 3 medlemmer som stillere samt af kandidaterne. Modtages sådanne forslag, vil der blive afholdt skriftlig afstemning efter gældende regler. I modsat fald er de syv ovenstående valgt.

Valg til bestyrelse i Atomfysiksektionen i DFS

Ifølge vedtægterne skal der ved årsskiftet 1991-92 vælges en ny bestyrelse for Atomfysiksektionen. Den afgående bestyrelse foreslår følgende sammensætning:

- Nis Bjerre, Aarhus Universitet (genvalg)
- Helge Knudsen, Aarhus Universitet (nyvalg)
- Jens Juul Rasmussen, Risø (genvalg)
- Paolo Sibani, Odense Universitet (genvalg)
- Erling Veje, Københavns Universitet (genvalg)

Sektionens medlemmer kan indsende andre forslag til kandidater til selskabets sekretær, Bjarne Andresen, Fysisk Laboratorium, H.C. Ørsted Institutet. Forslag skal være underskrevet af 3 medlemmer som stillere samt af kandidaterne. Modtages sådanne forslag inden 15. februar 1992, vil der blive afholdt skriftlig afstemning efter gældende regler. I modsat fald er de fem ovenstående valgt.

Pell's ligning

Christian Marcussen

I 1940'erne lykkedes det at konstruere de første effektive elektroniske regnemaskiner. I det 10-år, der fulgte, 1950'erne, blev forskerne klar over, at det var muligt at kaste lys over mange problemer, naturvidenskabelige og matematiske, ved at lade datamaterne arbejde numerisk med disse problemer. Det viste sig i 1950'erne, at det var muligt at tage opgaver op, som man før havde måttet lade ligge, da de krævede for omfattende numeriske regninger. I 1950'erne blev man også klar over, at de forskellige områder af naturvidenskab og matematik krævede numeriske metoder af varierende art, når de skulle behandles effektivt af datamaterne. De hele tals teori har op gennem tiderne fascineret matematisk interesserede mennesker, både professionelle og amatører. De hele tals system har en meget simpel opbygning, som de fleste mennesker har let ved at forstå.

Da matematikerne i 1600-tallet forsøgte at trænge dybere ind i de hele tals natur viste det sig hurtigt, at det var svært at afdække tallenes hemmeligheder. Man stødte på store teoretiske vanskeligheder; og mange forhold vedrørende de hele tals natur er stadig uafklarede. Disse problemer ser undertiden simple ud ved en overfladisk betragtning; og meningen med dem kan forstås af mennesker med kun ringe matematisk viden. Det er derfor forståeligt, at mange er kommet til at interessere sig for de hele tals problemer.

Vi vil i dette indlæg beskæftige os med nogle simple metoder til numerisk behandling af problemer i de hele tals teori. Ved de almindelige kommercielle og naturvidenskabelige beregninger bruges floating-point talrepræsentation i datamaterne. De hele tal kræver fixed-point talrepræsentation; derfor kan datamaterne i almindelighed kun regne med hele tal af en meget begrænset størrelse. For en mikrocomputer ligger denne grænse i mange tilfælde ved tallet $2^{15}-1=32767$. Indgår der i en regning et helt tal, som overstiger denne grænse, kommer der den fejludskrift, som man betegner "overflow"; og maskinen standser udførelsen af vores regneprogram.

Arbejder man numerisk med talteoretiske problemer, finder man hurtigt ud af, at man ikke kan affinde sig med denne øvre grænse for størrelsen af hele tal. Man forsøger at omgå dette problem ved at anvende metoder af egen opfindelse ved programmeringen af de talteoretiske problemer. Anvendelsen af disse metoder gør, at man kan regne numerisk med væsentlig større hele tal end det ellers er muligt med vores computer.

Vi vil i dette indlæg komme ind på rutiner, som kan udføre de almindelige regningsarter med "vilkårligt store" hele tal. "Vilkårligt store" hele tal skal her forstås på den måde, at der er en naturlig grænse for tallenes størrelse. Denne grænse afhænger af vor computers størrelse og regnehastighed. En mikrocomputers centrallager har en begrænset størrelse. Skal man udføre regninger, hvori der

indgår "store" hele tal, må disses størrelse begrænses af, at man skal kunne udføre de nødvendige operationer med dem indenfor det område af maskinens centrallager, som vort program har til rådighed. Det andet problem, at man skal tage hensyn til computerens regnehastighed, bliver man også hurtigt klar over, når man udfører regninger med "store" hele tal. Det viser sig nemlig, at operationer med disse tal kan tage ret lang tid for en mikrocomputer. Multiplikation af 2 hele tal hver med 100 cifre kræver eksempelvis over 20000 enkeltregninger; og dette kræver selv i en forholdsvis hurtig computer en tid, som man må tage i betragtning.

Man må altså ved udvælgelsen af de opgaver, man tager op, og ved tilrettelæggelsen af de indgående regninger være opmærksom på, om det er en opgave, som ens computer har kapacitet til og kan udføre på en rimelig tid. Ved arbejdet med hele tal kan man komme ud for at skulle udføre de 6 grundlæggende regningsarter med dem. Vil man kunne tage de problemer op, som forekommer, må man have rutiner til enhver af disse 6 regningsarter. Det drejer sig om:

- 1) Addition.
En additionsrutine vil som regel kunne beregne summen af et vilkårligt antal addender.
 - 2) Subtraktion.
Af en rutine for subtraktion må man forlange, at den skal kunne finde den numeriske differens mellem en minuend og en subtrahend med et vilkårligt antal cifre og angive, om differensen er positiv, 0 eller negativ.
 - 3) Multiplikation.
En rutine skal her kunne multiplicere 2 hele tal med et vilkårligt antal cifre.
Det skal bemærkes, at disse tre rutiner er ganske simple.
 - 4) Division.
En rutine til denne regningsart skal kunne bestemme kvotient og principalrest, hvis dividend og divisor er vilkårligt store hele tal.
 - 5) Potensopløftning.
En rutine er her forholdsvis simpel, da en potensopløftning er en udførelse af et vist antal multiplikationer efter hinanden. Ved mine egne regninger har jeg aldrig været ude for tilfælde, hvor eksponentens værdi ligger uden for computerens heltalsområde.
 - 6) Roduddragning.
Hvis man f.eks. vil løse opgaven: uddrag 7. rod af et 41-cifret tal, skal man have en rutine som kan bestemme rod og rest. Ved rest forstås her den mindste rest ≥ 0 .
Rutinerne for division og roduddragning er væsentlig mere komplicerede end de andre. Disse rutiner vil ikke blive gennemgået i dette indlæg.
- I resten af denne artikel vil vi gennemgå et forholdsvis simpelt program, som kan anvendes til løsning af de såkaldte PELL'ske ligninger. Når denne opgave er valgt som eksempel, skyldes det særligt to forhold.

When It Comes To Temperature Control Performance, Lake Shore Puts It On The Line.

*Specify Lake Shore
temperature controllers for
precise temperature regulation
with control stability to within $\pm 0.001K$.*

Lake Shore controllers utilize true analog control under digital management to produce precise, stable temperature regulation. Dual sensor inputs are provided for control and display of temperature. Front panel functions may be implemented from IEEE-488 or RS-232C interfaces.

Virtually all cryogenic temperature sensor types can be accommodated — even for magnetic field use to 19 tesla or higher. Compatible sensors include:

- Capacitance sensors
- Carbon composite resistors
- Carbon-glass resistors
- Gallium-aluminum-arsenide diodes
- Gallium arsenide diodes
- Germanium resistors
- Platinum resistance thermometers
- Rhodium-iron RTDs
- Silicon diodes
- Thermistors
- Thermocouples — Types K, E, T, Ch-AuFe (0.07%), Ch-AuFe (0.03%)
- Other sensors with similar characteristics

With Lake Shore controllers, you get real function versatility including:

- Analog output
- Math functions
- Control of temperature from 0.3K to 873K (600°C)
- Temperature profiling
- Scan multiple sensors
- Multiple sensor curve storage — by factory or user
- IEEE-488/RS-232C interface capability
- Three term (PID) analog control
- Control and measurement
- Selectable maximum heater power level
- Display of temperature in K, °C, °F or sensor units in volts, ohms or nanofarads
- Continuous display of setpoint temperature and heater output power

Look to
Lake Shore.
High-
performance
in low
temperature
technology

LakeShore

CRYOTRONICS, INC.



AAGE CHRISTENSEN A/S
INGENIØR- OG HANDELSVIRKSOMHED

SKELMOSEVEJ 10
DK-2500 VALBY

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

- 1) Mange problemer af aritmetisk og geometrisk natur kræver løsning af en sådan ligning.
- 2) En forholdsvis simpel programtekst kan anvendes til løsning af de fleste af de PELL'ske ligninger, man bliver stillet overfor ved anvendelserne.

Det teoretiske grundlag for løsningsmetoden vil her kun blive skitsemæssigt gennemgået.

Ved en PELL'sk ligning forstås en ligning af formen:

$$x^2 - Dy^2 = 1$$

hvor konstanten D er hel og $D \geq 2$.

At løse ligningen vil sige at finde talpar (x, y) , hvor x og y er hele tal, som stemmer i ligningen. Er D et kvadrattal, har ligningen kun løsningen $(x, y) = (1, 0)$. Vi vil derfor gå ud fra, at D ikke er kvadratet på et helt tal. Har man først fundet en løsning (p, q) i en PELL'sk ligning, kan man finde en hel serie af løsninger ved simple regninger. Lad (p, q) være en løsning i ligningen $x^2 - Dy^2 = 1$. Vi har så:

$$x^2 - Dy^2 = p^2 - Dq^2 = 1;$$

da $1^n = 1$, har man

$$x^2 - Dy^2 = (p^2 - Dq^2)^n = 1;$$

For $n=2$ får vi:

$$\begin{aligned} x^2 - Dy^2 &= (p^2 - Dq^2)^2 = 1; \\ (p^2 - Dq^2)^2 &= p^4 + D^2 q^4 - 2Dp^2 q^2 \\ &= p^4 + 2Dp^2 q^2 + D^2 q^4 - 4D^2 q^2 \\ &= (p^2 + Dq^2)^2 - (2pq)^2 D = 1. \end{aligned}$$

Lad os betegne de 2 nu kendte værdisæt (p_1, q_1) og (p_2, q_2) . Vi har altså:

$$(p_1, q_1) = (p, q); \quad (p_2, q_2) = (p^2 + Dq^2, 2pq)$$

Vi vil nu finde et 3. værdisæt (p_3, q_3) :

$$\begin{aligned} x^2 - Dy^2 &= 1 = (p^2 - Dq^2)^3 \\ (p^2 - Dq^2)^3 &= (p^2 - Dq^2)^2 (p^2 - Dq^2) \\ &= [(p^2 + Dq^2)^2 - D(2pq)^2] (p^2 - Dq^2) \\ &= (p^2 + Dq^2)(p_1^2 - Dq_1^2) \\ &= (p_1^2 p_2^2 + D^2 q_1^2 q_2^2) - D(p_1^2 q_2^2 + q_1^2 p_2^2) = 1 \\ &= (p_1^2 p_2^2 + 2p_1 p_2 q_1 q_2 D + D^2 q_1^2 q_2^2) \\ &\quad - D(p_1^2 q_1^2 + 2p_1 p_2 q_1 q_2 + q_1^2 p_2^2) \\ &= (p_1 p_2 + Dq_1 q_2)^2 - D(p_1 q_2 + p_2 q_1)^2 = 1 \end{aligned}$$

Vi har altså fundet:

$$(p_3, q_3) = (p_1 p_2 + Dq_1 q_2, p_1 q_2 + p_2 q_1)$$

Ved at fortsætte dette ræsonnement kan man komme til formelen:

$$(p_{n+1}, q_{n+1}) = (p_1 p_n + Dq_1 q_n, p_1 q_n + p_n q_1)$$

Vi ser altså, at hvis man kan finde én løsning og helst den mindste løsning i ligningen

$$x^2 - Dy^2 = 1,$$

kan man bestemme en hel serie af løsninger.

Vi mangler nu at finde den mindste løsning i ligningen $x^2 - Dy^2 = 1$. Hertil anvender vi teorien for kædebrøker. En størrelse af formen:

$$a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{a_4 + \dots}}}$$

kaldes en kædebrøk.

Findes der i en kædebrøk kun et endeligt antal af konstanter a_k , kaldes kædebrøken endelig eller sluttet. En sluttet kædebrøk kan omskrives til et rationalt tal (en brøk). Eksempel:

$$\frac{r}{s} = a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{a_4}}}$$

Tager man kun en del af kædebrøken led med, får man en tilnærmelse af brøken r/s . De forskellige tilnærmelser kaldes brøkens konvergener (se næste side).

Vi vil nu fremhæve 3 ting:

- 1) Konvergenerne approksimerer brøken r/s

$$\frac{r_1}{s_1} < \frac{r}{s}, \quad \frac{r_2}{s_2} > \frac{r}{s}, \quad \frac{r_3}{s_3} < \frac{r}{s}, \quad \frac{r_4}{s_4} > \frac{r}{s}, \quad \frac{r_5}{s_5} = \frac{r}{s}.$$

- 2) Har vi en kædebrøk med n konstanter $a_1, a_2, \dots, a_n$ kan man ved at de ovenstående regninger nå til formelen:

$$\frac{r_{k+1}}{s_{k+1}} = \frac{a_{k+1} r_k + r_{k-1}}{a_{k+1} s_k + s_{k-1}}$$

- 3) Ved hjælp af denne formel kan man successivt bestemme konvergenerne og sluttelig brøken r/s ud fra talsættet $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ i en sluttet kædebrøk.

Skal man finde den mindste løsning i ligningen $x^2 - Dy^2 = 1$, benytter man kædebrøksfremstillingen for $\sqrt{D}$. Det viser sig, at en kvadratrodd kan repræsenteres ved en uendelig kædebrøk. Denne kædebrøk er "periodisk"; d.v.s. at konstanterne a_i gentager sig med en vis periode.

Metoden med successivt at bestemme konvergenerne kan også bruges ved kvadratrødder, da denne formels udledning ikke forudsætter at kædebrøken er sluttet. Skal

man finde konvergenerne for $\sqrt{D}$ er man i den situation, at man i starten ikke kender kædebrøkens konstanter $a_1, a_2, a_3, \dots$

Vi vil begynde med at angive formlerne for konvergenerne:

Konvergener til r/s

$$\begin{aligned}\frac{r_1}{s_1} &= \frac{a_1}{1} \\ \frac{r_2}{s_2} &= a_1 + \frac{1}{a_2} = \frac{a_1 a_2 + 1}{a_2} = \frac{r_1 a_2 + 1}{s_1 a_2} \\ \frac{r_3}{s_3} &= a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3}} = a_1 + \frac{1}{\frac{a_2 a_3 + 1}{a_3}} = a_1 + \frac{a_3}{a_2 a_3 + 1} = \frac{a_1(a_2 a_3 + 1) + a_3}{a_2 a_3 + 1} \\ &= \frac{a_1 a_2 a_3 + a_1 + a_3}{a_2 a_3 + 1} = \frac{a_3(a_1 a_2 + 1) a_1}{a_2 a_3 + 1} = \frac{a_3 r_2 + r_1}{a_2 s_2 + s_1} \\ \frac{r_4}{s_4} &= \frac{r}{s} = a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{a_4}}} = a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{\frac{a_3 a_4 + 1}{a_4}}} = a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{a_4}{a_3 a_4 + 1}} \\ &= a_1 + \frac{1}{\frac{a_2 a_3 a_4 + a_2 + a_4}{a_3 a_4 + 1}} = a_1 + \frac{a_3 a_4 + 1}{a_2 a_3 a_4 + a_2 + a_4} = \frac{a_1(a_2 a_3 a_4 + a_2 + a_4) + a_3 a_4 + 1}{a_2 a_3 a_4 + a_2 + a_4} \\ &= \frac{a_4(a_1 a_2 a_3 + a_1 + a_3) + (a_1 a_2 + 1)}{a_4(a_2 a_3 + 1) + a_2} = \frac{a_4 r_3 + r_2}{a_4 s_3 + s_2}\end{aligned}$$

$$P_1=0; Q_1=1; a_1 = \text{hele del af } \sqrt{D}; p_1=a_1; q_1=1$$

$$P_2=a_1; Q_2=D-a_1^2; a_2 = \text{hele del af } \frac{2a_1}{Q_2};$$

$$p_2=a_2 a_1 + 1; q_2=a_2$$

$$P_n=a_{n-1}Q_{n-1}-P_{n-1}; Q_n=\frac{D-P_n^2}{Q_{n-1}}$$

$$a_n = \text{hele del af } \frac{a_1 + P_n}{Q_n}$$

$$p_n=a_n p_{n-1} + p_{n-2}; q_n=a_n q_{n-1} + q_{n-2}$$

Ved hjælp af disse formler kan vi forholdsvis let beregne konvergenerne p_n/q_n af kvadratroden, hvis D er et lille tal.

Beregning af konvergener for $\sqrt{7}$

I tabellen herunder er konvergenerne for $\sqrt{7}$ beregnet ved hjælp af formlerne op til $n=13$. For at antyde et "bevis" for denne fremgangsmåde, beregnes kædebrøksfremstillingen af $\sqrt{7}$ øverst på næste side, og konvergenerne beskrives nederst på næste side.

Værdier for konvergener af $\sqrt{7}$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P	0	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2
Q	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1
a	2	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	4
p	2	3	5	8	37	45	82	127	590	717	1307	2024	9403
q	1	1	2	3	14	17	31	48	223	271	494	765	3554

Vi ser, at udtrykket $\frac{1}{\sqrt{7}-2}$, som forekommer til sidst ved

P_6 også forekom i andet led ved P_2 . Regningerne vil altså nu gentage sig på samme måde igen; vi har fundet kædebrø-

kens periode. Perioden for P , Q og a indeholder altså 4 led. Dette ser man let ud fra det beregnede skema.

Vi ser, at der gælder det samme m.h.t. konvergenerne her som ved den sluttede kædebrøk, de er skiftevis større end og mindre end det tal, de skal approksimere. Vi ser endelig, at der gælder formelen:

$$p_k^2 - 7q_k^2 = (-1)^k Q_{k+1}$$

Skal man løse ligningen $x^2 - Dy^2 = 1$, skal man i talrækken for Q 'erne finde et ulige n , hvor $Q=1$. Så har man:

$$p_{n-1}^2 - Dq_{n-1}^2 = 1$$

Som før bemærket: der kan siges 2 ting om det program, der er medtaget i denne artikel.

- 1) Problemet med løsning af PELL'ske ligninger er valgt, fordi det kan gennemføres med en forholdsvis simpel programtekst.
- 2) Det er tilstræbt at gøre programteksten så enkel som muligt. Det er så overladt til den enkelte læser at gøre den mere "avanceret" på sin egen måde.

Maskinen er en SPERRY mikrocomputer. For at størrelser skal opfattes som fixed-point tal i denne, skal deres identifikator (navn) slutte med tegnet %; dette gælder for simple variable og arrays. Man kan godt undgå %-tegnene ved at indføre deklarationssætninger; men det er ikke anvendt i dette program.

Vi vil forsøge at give en kort beskrivelse af regningernes forløb. Forkortelse: ℓ =linie. Konstanten D i den PELL'ske ligning betegnes D1% (ℓ 100). Er computerens øvre grænse for heltalsregning $2^{15}-1=32767$, vil programmet kunne klare ligninger med $D < 32768$.

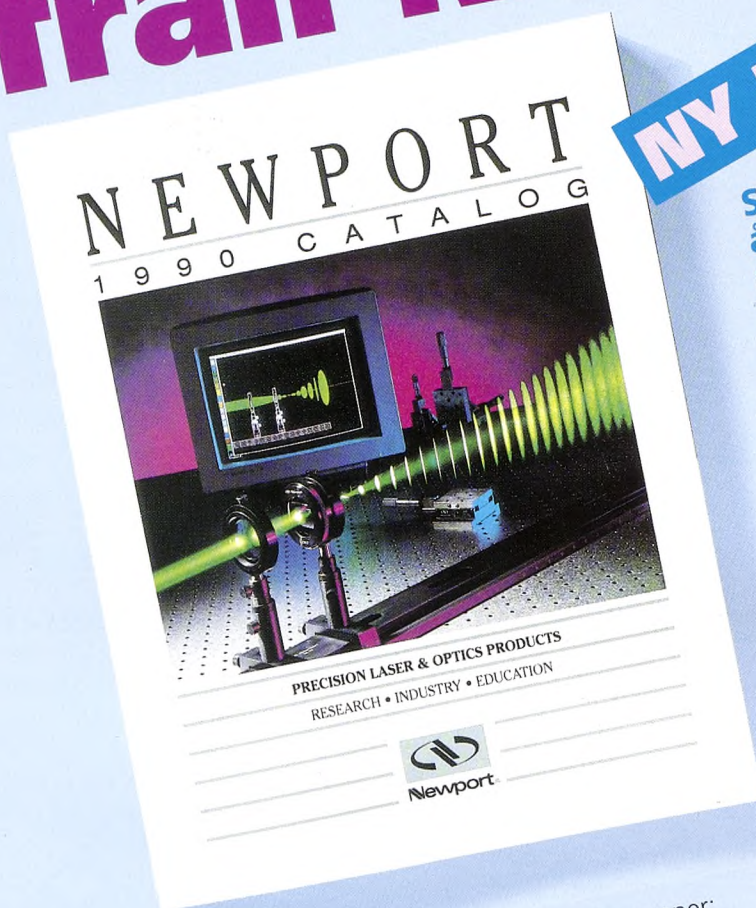
Man kan ved programmets hjælp lave en tabel over løsninger til ligningerne op til denne værdi af D . Selv har jeg kun regnet eksempler på ligninger med $D < 10000$. For at løse ligningen får vi brug for de 2 størrelser

- 1) den hele rod af $\sqrt{D}$
- 2) resten.

Eksempel: $D=13$; hele rod $=3$; rest $=4$.

Optiska komponenter från Newport

NY KATALOG



Saven AB har sedan många år ett etablerat samarbete med världens ledande tillverkare av optronikprodukter. Vår kompetens inom området har därför fått en bredd och ett djup som gett oss en unik position på den nordiska marknaden.

**Introduktionserbjudande
till våra danska kunder:
Newports produkter
prissänkta med upp
till 40%!**

Vårt produktsortiment är uppdelat i tre grupper:
Lasrar från **Coherent, Lambda Physik** (ej Danmark),
Quantel, Schwartz Electro-Optics, Oxford Lasers m.fl.
Optiska mätinstrument från **Photo Research,**
Optronic-Laboratories, Acton Research, Coherent
Components m.fl.

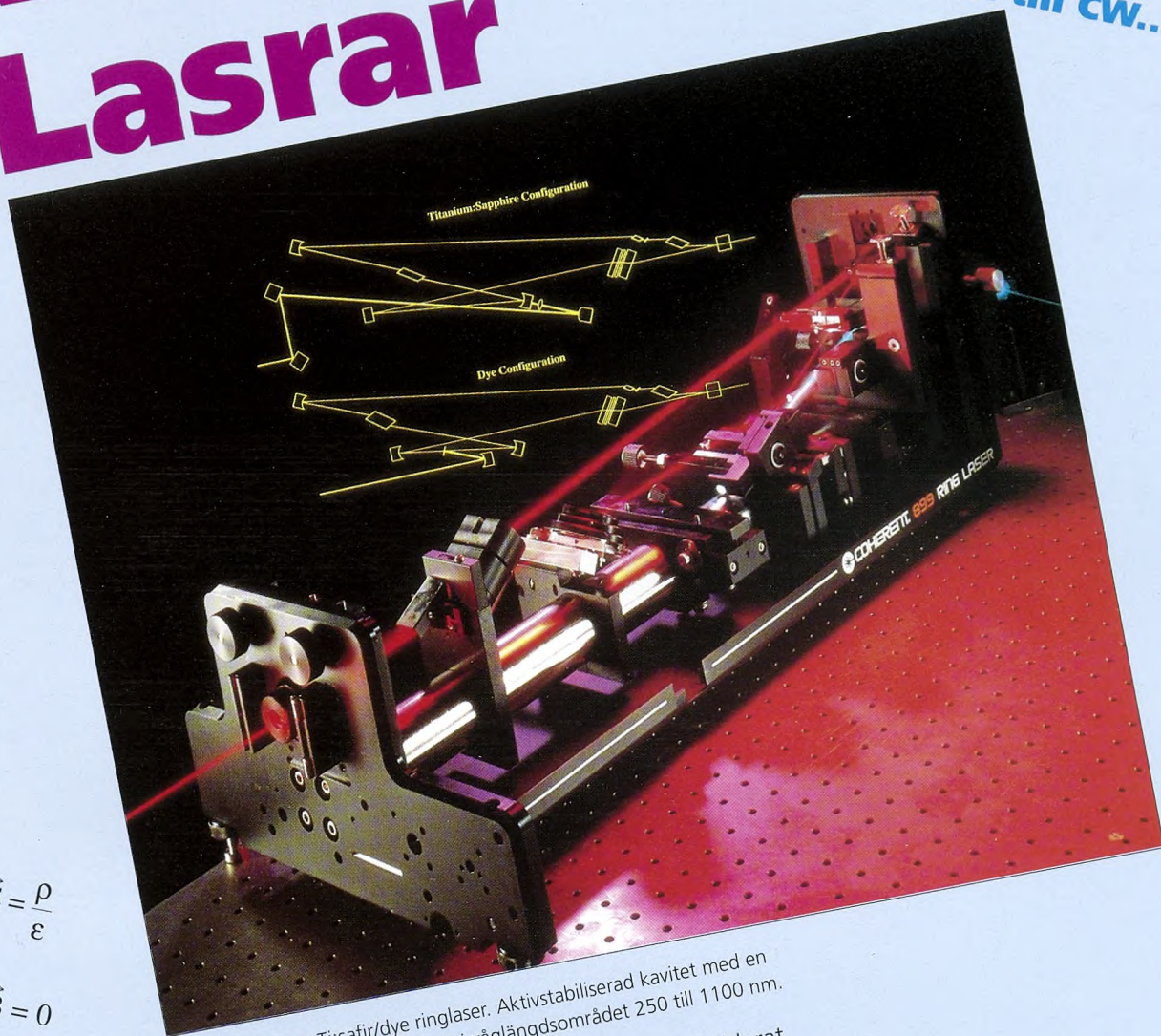
Optiska komponenter från **Oriel, Photonetics, Canstar,**
ILC, Scientec, Newport och många andra. Newport är vår
senaste agentur som vi representerar i hela Norden.
Kontakta oss om du vill ha Newports produktkatalog och
prislista.

NEWPORT

Saven AB
Box 504
183 25 Täby
Sverige
Telefon:
+46 8 630 93 00
Telefax:
+46 8 732 44 50

Vetenskapliga Lasrar

Från UV till IR,
från μW till TW,
från fsec till CW...



$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Coherents nya Ti:safir/dye ringlasrar. Aktivstabiliserad kavitet med en linjebredd på mindre än 500 kHz i våglängdsområdet 250 till 1100 nm.

Under många år har vi på **SAVEN AB** haft ett etablerat samarbete med världens ledande tillverkare av optronik-produkter. Vår kompetens inom området har därför fått en bredd och ett djup som gett oss en unik position på den nordiska optronikmarknaden.

Vårt produktsortiment är uppdelat i tre grupper:
Lasrar från **Coherent, Lambda Physik** (ej Danmark),
Quantel, Schwartz Electro-Optics, Oxford Lasers m.fl.
Optiska mätinstrument från **Photo Research, Optronic-Laboratories, Acton Research, Coherent Components** m.fl.
Optiska komponenter från **Oriel, Photonetics, Canstar, ILC, Scientec, Newport** m.fl.

SAVEN

Saven AB
Box 504
183 25 Täby
Sverige
Telefon:
+46 8 630 93 00
Telefax:
+46 8 732 44 50

Kædebrøksfremstilling af $\sqrt{7}$

$$\begin{aligned}\sqrt{7} &= 2 + (\sqrt{7} - 2) = 2 + \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{7} - 2}} = 2 + \frac{1}{\frac{\sqrt{7} + 2}{3}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{7} - 1}{3}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\sqrt{7} + 1}}} \\ &= 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{7} - 1}{2}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\sqrt{7} - 1}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\sqrt{7} + 1}}}} \\ &= 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{3}}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\sqrt{7} + 2}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4 + \frac{1}{\sqrt{7} - 2}}}\end{aligned}$$

Ved resten forstår man altså den mindste positive (principale) rest ved kvadratrodsuddragningen. Rest = 0 forekommer ikke, da programmet ikke kan løse ligninger, hvor D er kvadrattet på et helt tal. En sådan ligning har som før nævnt kun løsningen $(p, q) = (1, 0)$.

For at finde den hele rod og resten anvender programmet (l 140--230) den enkleste mulige metode. Man forsøger først med rod = 1, 2, 3, ... o.s.v. til man finder den rigtige. Resultat: K5% = rod; K4% = rest.

For at finde en løsning på ligningen skal man, som før bemærket, beregne søjlerne i skemaet skridtvis (søjle 1, 2, 3, ..., n) indtil vi finder en søjle med ulige n , hvor $Q_n = 1$. Beregningen af de 2 første søjler adskiller sig fra beregningen af de følgende. I de første 2 søjler holder tallene sig indenfor computerens heltalsområde, så der er det ikke nødvendigt at bruge vore egne rutiner. N10% (l 240) angiver søjle nr.

1. søjle: l 240-320; der beregnes (P, Q, a_1, p_1, q_1) ;
resultat = (P1%, Q1%, A1%, R1%, S1%).

2. søjle: l 330-410; der beregnes $(P_2, Q_2, a_2, p_2, q_2)$;
resultat = (P2%, Q2%, A2%, R2%, S2%).

Vi går nu over til at beskrive beregningen af en vilkårlig søjle (søjle n). I dette program er der gået ud fra, at de 3 første rækker i søjlerne for alle n ligger indenfor computerens heltalsområde; for at denne betingelse skal være opfyldt er det nødvendigt at forlange, at $D < \text{øvre grænse for dette område}$.

l 420-530 beregner P_n, Q_n og a_n .

Resultat: P3% = P_n ; Q3% = Q_n ; A3% = a_n .

For at finde de 2 størrelser p_n og q_n bruges formlerne:

$$p_n = a_n p_{n-1} + p_{n-2}$$

$$q_n = a_n q_{n-1} + q_{n-2}$$

Man kan komme ud for, at allerede p_3 og q_3 ligger udenfor vor computers heltalsområde.

For at beregne p og q for $n > 2$ er det altså nødvendigt at anvende særlige rutiner, som vi selv konstruerer. Den simpleste måde at regne med disse "store hele tal" på er ved at lagre 1 ciffer i hver af vor computers celler. Lad os først se på $n=3$:

$$p_3 = a_3 p_2 + p_1$$

$$q_3 = a_3 q_2 + q_1$$

Vi ser, at der i formlerne for p_3 og q_3 indgår de 5 størrelser p_1, p_2, q_1, q_2 og a_3 .

For at anvende vore "hjemmelavede" rutiner er det nødvendigt at spalte disse 5 tal op, så der ligger 1 ciffer i hver celle.

a_3 lagres i array IAA%

Konvergener i udvikling af $\sqrt{7}$

$$\begin{aligned}\frac{p_1}{q_1} &= \frac{2}{1}; \left(\frac{p_1}{q_1}\right)^2 = \frac{4}{1} < 7; p_1^2 - 7q_1^2 = 4 - 7 = -3 = -Q_2 \\ \frac{p_2}{q_2} &= 2 + \frac{1}{1} = \frac{3}{1}; \left(\frac{p_2}{q_2}\right)^2 = \frac{9}{1} > 7; p_2^2 - 7q_2^2 = 9 - 7 = 2 = +Q_3 \\ \frac{p_3}{q_3} &= 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1}} = \frac{5}{2}; \left(\frac{p_3}{q_3}\right)^2 = \frac{25}{4} < 7; p_3^2 - 7q_3^2 = 25 - 28 = -3 = -Q_4 \\ \frac{p_4}{q_4} &= 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{8}{3}; \left(\frac{p_4}{q_4}\right)^2 = \frac{64}{9} > 7; p_4^2 - 7q_4^2 = 64 - 63 = 1 = +Q_5 \\ \frac{p_5}{q_5} &= 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4}}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{5}}}} = 2 + \frac{1}{1 + \frac{5}{4}} = 2 + \frac{9}{14} = \frac{37}{14}; \\ \left(\frac{p_5}{q_5}\right)^2 &= \frac{1369}{196} < 7; p_5^2 - 7q_5^2 = 1369 - 7 \times 196 = -3 = -Q_6\end{aligned}$$

p_1 og p_2 i de 2 arrays IAR1% og IAR2%

q_1 og q_2 i de 2 arrays IAS1% og IAS2%

Disse beregninger udføres i ℓ 490-980; tallene spalttes her op i cifre og antallet af cifre i hvert tal bestemmes.

At problemet med løsning af PELL'ske ligninger er så simpelt skyldes, at der kun skal anvendes addition og multiplikation for at bestemme p_n og q_n .

Vi ser først på addition. Vi udfører den på computeren på samme måde som vi selv adderer på papir: Først lægges enerne sammen, menten overføres og dernæst lægges tierne sammen osv.

ℓ 1210-1290 er udført additionen i ligningen for p .

K3% er mente; denne er 0 fra start.

Vi har de 2 addender i de 2 arrays IAR3% og IAR1%; summen lagres i IAR3%.

ℓ 1250: man adderer mente + 1 ciffer fra hver addend.

ℓ 1260-1270: opspaltning i sum og ny mente.

ℓ 1220: Ved at addere 1 gang mere end antal cifre i noget af tallene undgår man beskrivelse af, at menten skal med som ciffer, når man adderer sidste gang.

Vi ser nu på multiplikation. Her anvender man også samme princip på computeren som når man regner "i hånden"; men man udfører multiplikation og addition samtidigt for at spare plads i maskinen.

ℓ 990-1200 er udført multiplikationen i p -ligningen. K9% er additionsmenten; K7% er multiplikationsmenten. a_3 er som før sagt lagret i array IAA%; denne anvendes som multiplikator; p er lagret i IAR2%; denne bruges som multiplikand. Produktet lagres i IAR3%, dette array er "nulstillet" før starten på multiplikationen.

ℓ 1080 og ℓ 1120: disse udtryk udfører forskydningen mod venstre.

ℓ 1030: Både ved multiplikation og addition går man 1 skridt længere end antallet af cifre i multiplikanden for at undgå en beskrivelse af, at menten skal med i produkt og sum sidste gang.

Efter multiplikationen er udført findes antal cifre i produktet (ℓ 1150-1200).

Slutningen af programmet ℓ 1940-2140 behandler skift til næste søjle. Her skal kun bemærkes en enkelt ting. Man skelner mellem søjle 3 og de følgende. Før man kan beregne p_3 og q_3 må man som før sagt spalte a_3, p_1, p_2, q_1 og q_2 op i cifre og bestemme cifferantal. Efter at p_3 og q_3 er beregnet er de allerede spaltet op i cifre; og man bestemmer deres cifferantal umiddelbart efter. ℓ 550-920 kan derfor overspringes for $n > 3$. a_n skal spalttes op i cifre for alle n , da denne størrelse bliver beregnet ved hjælp af computerens almindelige rutine til fixed-point regninger.



Christian Marcussen er cand. scient. med astronomi som hovedfag. Arbejder ved Observatoriet for Rumforskning i Rude Skov ved Birkerød. Har gennem flere år lejlighedsvis som hobby arbejdet med talteoretiske problemer på computer.

```
10 T1%=0
20 C0%=100
30 DIM IAA%(C0%)
40 DIM IAR1%(C0%)
50 DIM IAS1%(C0%)
60 DIM IAR2%(C0%)
70 DIM IAS2%(C0%)
80 DIM IAR3%(C0%)
90 DIM IAS3%(C0%)
100 D1%=13
110 PRINT
120 PRINT "D=";D1%
130 PRINT
140 N9%=0
150 N9%=N9%+1
160 K1%=N9%*2
170 K2%=D1%-K1%
180 IF K2%=0 GOTO 2160
190 IF K2%<0 GOTO 240
200 K5%=N9%
210 K3%=K1%
220 K4%=K2%
230 GOTO 150
240 N10%=1
250 P1%=0
260 Q1%=1
270 A1%=K5%
280 R1%=A1%
290 S1%=1
300 PRINT
310 PRINT "N=";N10%
320 PRINT "p=";P1%;", Q=";
  Q1%;", a=";A1%;", p=";
  R1%;", q=";S1%
330 N10%=N10%+1
340 P2%=A1%
350 Q2%=K4%
360 A2%=(A1%+P2%)\Q2%
370 R2%=A1%*A2%+1
380 S2%=A2%
390 PRINT
400 PRINT "N=";N10%
410 PRINT "p=";P2%;", Q=";
  Q2%;", a=";A2%;", p=";
  R2%;", q=";S2%
420 N10%=N10%+1
430 P3%=A2%*Q2%-P2%
440 Q6%=D1%-P3%*2
450 Q3%=Q6%\Q2%
460 IF Q3%>1 GOTO 480
470 IF Q3%>3 GOTO 930
480 A3%=(A1%+P3%)\Q3%
490 IAA%(1)=A3% MOD 10
500 K1%=A3%\10
510 IAA%(2)=K1% MOD 10
520 K1%=K1%\10
530 IAA%(3)=K1%
540 IF N10%>3 GOTO 930
550 FOR N1%=1 TO 5
560 K1%=R1% TO 5
570 R1%=R1%\10
580 IAR1%(N1%)=K1%
590 K1%=R2% MOD 10
600 R2%=R2%\10
610 IAR2%(N1%)=K1%
620 K1%=S1% MOD 10
630 S1%=S1%\10
640 IAS1%(N1%)=K1%
650 K1%=S2% MOD 10
660 S2%=S2%\10
670 IAS2%(N1%)=K1%
680 NEXT N1%
690 K10%=6
700 K10%=K10%-1
710 K1%=IAR1%(K10%)
720 IF K1%=0 GOTO 700
730 C10%=K10%
740 C11%=C10%+1
750 K10%=6
760 K10%=K10%-1
770 K1%=IAR2%(K10%)
780 IF K1%=0 GOTO 760
790 C12%=K10%
800 C13%=C12%+1
810 K10%=6
820 K10%=K10%-1
830 K1%=IAS1%(K10%)
840 IF K1%=0 GOTO 820
850 C14%=K10%
860 C15%=C14%+1
870 K10%=6
880 K10%=K10%-1
890 K1%=IAS2%(K10%)
900 IF K1%=0 GOTO 880
910 C16%=K10%
920 C17%=C16%+1
930 K10%=6
940 K10%=K10%-1
950 K1%=IAA%(K10%)
960 IF K1%=0 GOTO 940
970 C8%=K10%
980 C9%=K10%+1
990 FOR N2%=1 TO C9%
1000 K9%=0
1010 K7%=0
1020 K8%=IAA%(N2%)
1030 FOR N3%=1 TO C13%
1040 K1%=IAR2%(N3%)
1050 K2%=K8%*K1%+K7%
1060 K3%=K2% MOD 10
1070 K7%=K2%\10
1080 K5%=IAR3%(N2%+N3%-1)
1090 K6%=K3%+K5%+K9%
1100 K1%=K6% MOD 10
1110 K9%=K6%\10
1120 IAR3%(N2%+N3%-1)=K1%
1130 NEXT N3%
1140 NEXT N2%
1150 K10%=C13%+4
1160 K10%=K10%-1
1170 K1%=IAR3%(K10%)
1180 IF K1%=0 GOTO 1160
1190 C18%=K10%
1200 C19%=K10%+1
1210 K3%=0
1220 FOR N1%=1 TO C19%
1230 K1%=IAR3%(N1%)
1240 K2%=IAR1%(N1%)
1250 K4%=K1%+K2%+K3%
1260 K1%=K4% MOD 10
1270 K3%=K4%\10
1280 IAR3%(N1%)=K1%
1290 NEXT N1%
1300 K10%=C19%+2
1310 K10%=K10%-1
1320 K1%=IAR3%(K10%)
1330 IF K1%=0 GOTO 1310
1340 C18%=K10%
1350 C19%=K10%+1
1360 FOR N2%=1 TO C9%
1370 K9%=0
1380 K7%=0
1390 K8%=IAA%(N2%)
1400 FOR N3%=1 TO C17%
1410 K1%=IAS2%(N3%)
1420 K2%=K8%*K1%+K7%
1430 K3%=K2% MOD 10
1440 K7%=K2%\10
1450 K5%=IAS3%(N2%+N3%-1)
1460 K6%=K3%+K5%+K9%
1470 K1%=K6% MOD 10
1480 K9%=K6%\10
1490 IAS3%(N2%+N3%-1)=K1%
1500 NEXT N3%
1510 NEXT N2%
1520 K10%=C17%+4
1530 K10%=K10%-1
1540 K1%=IAS3%(K10%)
1550 IF K1%=0 GOTO 1530
1560 C20%=K10%
1570 C21%=C20%+1
1580 K3%=0
1590 FOR N1%=1 TO C21%
1600 K1%=IAS3%(N1%)
1610 K2%=IAS1%(N1%)
1620 K4%=K1%+K2%+K3%
1630 K1%=K4% MOD 10
1640 K3%=K4%\10
1650 IAS3%(N1%)=K1%
1660 NEXT N1%
1670 K10%=C21%+2
1680 K10%=K10%-1
1690 K1%=IAS3%(K10%)
1700 IF K1%=0 GOTO 1680
1710 C20%=K10%
1720 C21%=K10%+1
1730 PRINT
1740 PRINT "N=";N10%
1750 PRINT "p=";P3%;", Q=";
  Q3%;", a=";A3%
1760 K6%=0
1770 PRINT "p=";
1780 FOR N1%=1 TO C18%
1790 K6%=K6%+1
1800 K1%=IAR3%(C18%-N1%+1)
1810 PRINT K1%;
1820 IF K6% MOD 25=23
  THEN PRINT
1830 NEXT N1%
1840 PRINT
1850 PRINT "q=";
1860 K6%=0
1870 FOR N1%=1 TO C20%
1880 K6%=K6%+1
1890 K1%=IAS3%(C20%-N1%+1)
1900 PRINT K1%;
1910 IF K6% MOD 25=23
  THEN PRINT
1920 NEXT N1%
1930 PRINT
1940 P2%=P3%
1950 Q2%=Q3%
1960 A2%=A3%
1970 FOR N1%=1 TO C19%
1980 IAR1%(N1%)=IAR2%(N1%)
1990 IAR2%(N1%)=IAR3%(N1%)
2000 IAR3%(N1%)=0
2010 NEXT N1%
2020 FOR N1%=1 TO C21%
2030 IAS1%(N1%)=IAS2%(N1%)
2040 IAS2%(N1%)=IAS3%(N1%)
2050 IAS3%(N1%)=0
2060 NEXT N1%
2070 C10%=C12%
2080 C11%=C13%
2090 C14%=C16%
2100 C15%=C17%
2110 C12%=C18%
2120 C13%=C19%
2130 C16%=C20%
2140 C17%=C21%
2150 IF T1%=0 GOTO 420
2160 END
```

Hvor findes der gamle Instrumenter?

Der er tradition for at sætte midten af 1500-tallet som det tidspunkt, hvor eksperimentalfysikken gjorde sit indtog i videnskabens verden. Det er derfor overraskende, at studiet af selve det grej, som gennem tiden er brugt i de fysiske forsøg, først har taget et selvstændigt omfang i de seneste årtier.

Udviklingen af instrumenter ses nu ikke blot i relation til de fænomener, som de er brugt til at undersøge, men er ved at få en uafhængig rolle i videnskabshistorien. Astronomiske instrumenter har i længere tid nydt en sådan bevågenhed, men sammenfatningen af fysiske, kemiske, medicinske, geologiske, meteorologiske, psykotekniske og andre instrumenter i en større, selvstændig interessesfære er relativt ny. Det ser ud, som om interessen for antikviteter har virket som katalysator, idet gamle instrumenter har åbenbart deres mange kvaliteter for folk med sans for skønhed og stil og med økonomisk basis for at gå på auktioner.

De historiske instrumenter er med til at sætte milepæle i videnskabshistorien, og ved studiet af dem får man også indtryk af deres samspil med andre sider af vor kultur. Instrumenters udførelse skildrer gennem formgivning og materialevalg meget mere end det, deres funktion står for. Videnskabelige instrumenter, der udvikles til praktiske hjælpere, giver et håndgribeligt indblik i den voksende inspiration, som videnskaben har været for teknologien og dermed også for dagligdagen. Studiet af disse instrumenter bliver derfor ikke alene af videnskabshistorisk, men i høj grad også af almen kulturhistorisk interesse.

Der er for tiden kræfter i gang for at etablere nationale fortegnelser over videnskabshistorisk interessante instrumenter med det primære formål er at skabe redskaber til gavn for forskningen.

Det er faldet i min lod at starte en registrering af "danske instrumenter, der kan have videnskabshistorisk værdi". Projektet er igang og har økonomisk baggrund i donationer fra Undervisningsministeriet, fra Humanistisk Forskningsråd og fra Lundbeckfonden. Der findes allerede registre for medicinsk-historiske instrumenter og for gamle glober, for blot at nævne et par eksempler på områder, der er bedre belyst end de "fysikinstrumenter", som jeg her taler om.

Registreringen omfatter instrumenter til undervisning og til forskning såvel som instrumenter til praktiske anvendelser. Visse typer: kirurgiske instrumenter, almindelige ure og musikinstrumenter, er allerede godt dækket ind og medtages ikke i denne registrering. Derimod medtages skibskronometre og astronomiske ure. Instrumenter fra dette århundrede vil blive sorteret kraftigt, idet masseproduktionen kunne gøre opgaven fuldstændig uoverkommelig. Dansk frem-

stillede instrumenter vil blive medtaget i højere grad end udenlandske. Andre registre vil have en lignende holdning.

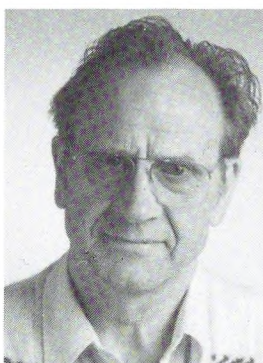
Og nu nærmer jeg mig mit egoistiske formål med denne lille artikel: hvor finder jeg "videnskabshistorisk interessante instrumenter"? Hidtil har jeg bevidst søgt steder, som ikke primært har samme interesse som jeg, men hvor man måske kan finde gamle, bevaringsværdige instrumenter: institutioner, skoler, firmaer eller lignende steder, som kan tænkes at besidde interessante sager, men som måske ikke rigtigt ved, hvad man skal stille op med ting, der er blevet gamle og skal udrangeres. **Jeg hører meget gerne fra sådanne steder.** Dette gælder også private, som besidder arvestykker. Det gør ondt i sjælen at opleve støvsugede lofter, som i energibesparelsens hellige navn har givet plads til isolering ved, at det oprindelige indhold af værdifuldt apparatur er blevet hældt i en affaldscontainer. På den anden side har jeg også været på museer, hvor jeg har haft den glæde at kunne påvise interessante instrumenter og forklare deres funktion, ikke mindst ved fund på magasiner.

Hvis læseren kender til samlinger eller enkelte instrumenter, som kan formodes at være af interesse for denne registrering, beder jeg om, at man henvender sig til mig!

Det skal understreges, at jeg ikke har noget ønske om at indsamle instrumenter, kun om at registrere. Et eventuelt ønske om anonymitet vil naturligvis blive respekteret, idet instrumentet så blot vil optræde i registeret med betegnelsen "privat eje". Iøvrigt kan man også henvende sig til Videnskabshistorisk Institut ved Aarhus Universitet, hvor man nu er i fuld gang med opbygningen af Danmarks videnskabshistoriske Museum, som på længere sigt også ventes at blive instrumentregisterets hjemsted.

Henvendelser rettes til:

Hemming Andersen
Bymøllevej 1
5960 Marstal
Tlf. 62 53 21 28



Hemming Andersen cand.polyt 1949. Arbejdede indtil 1965 med industriel procesregulering og instrumentering hertil i forskellige firmaer. Siden 1965 lektor ved Søro Akademis Skole. Arbejdede her i sin fritid med opstillingen af "Hauch's fysiske Cabinet" (et enestående fysik og kemilaboratorium fra 1790'erne). Orlov 1990-1992 med henblik på udarbejdelse af den danske registrant over videnskabshistorisk interessante instrumenter.