Fra Fysikkens Verden

Nr. 3 – 1993
55. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

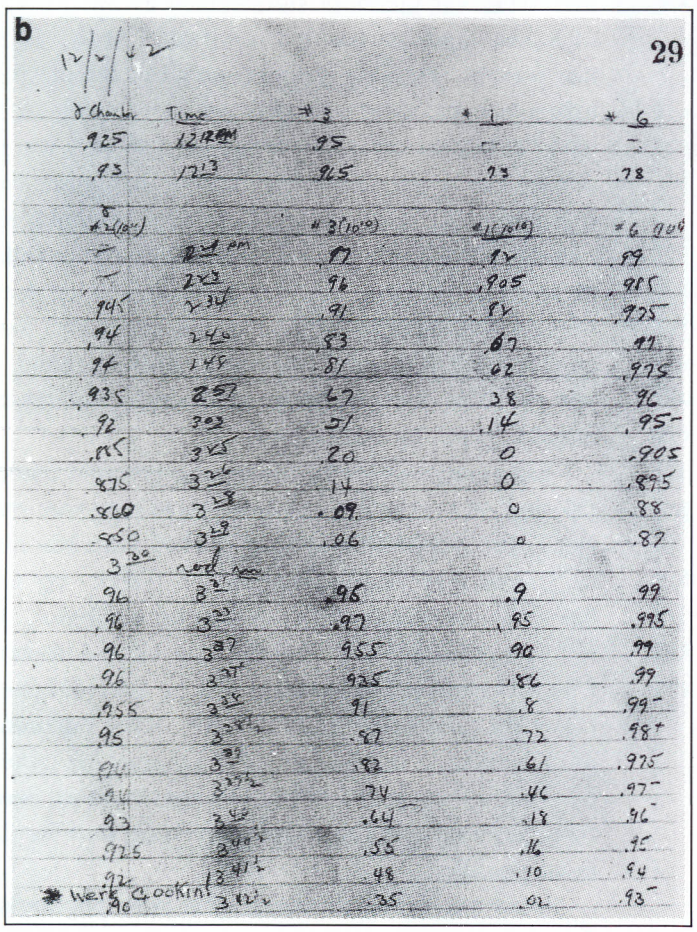
Innhold

Alexis C. Pappas:
Energi via kjernekraft – Del II .. 69

Kai T. Hansen:
Kaos og Størmers problem 77

O. Steinsvoll og A. Mæland:
Nye miljøvennlige batterityper .. 82

Fra Redaktørene 66
In Memoriam: Helmut Ormestad ... 66
FFV Gratulerer 68
Konferanse: Fraktale vekstprosessar . 87
Meningsytring: Forskningsrådet 88
Bokomtaler 89
Nye Doktorer 91
Dr.scient. Marit Pedersen
Dr.scient. Litian Wang
Dr.scient. Shao Xiong Zhou
Trim i FFV 92
Tsjernobyl igjen 93
Nytt fra NFS 93
Årsmelding
Erratum: Tvillingparadokset 95



Dick Watts, 2. desember 1942: *We're cookin!*
(Se artikkel: Energi via kjernekraft – Del II)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

En av FFVs redaktører har hatt sabbatsår. Det ble tilbrakt i Paris, noe som har medført mange hevede øyebryn og kommentarer: "Å jasså – det har nok vært et fint (ferie)opphold!" Og et fint opphold var det - nesten selvsagt – men også av andre grunner enn de første assosiasjoner tilsier. For det andre – et sabbatsår kan bli en ren faglig luksustilværelse; fritatt og godt skjermet fra normale plikter (også for FFV), er den fjerne student-tilværelse et godt sammenlikningsgrunnlag. Når det ble Paris har det – for å være seriøs – også en faglig side.

Innen rom-fysikk har gruppen ved Universitetet i Oslo (med støtte fra Forskningsrådet), engasjert seg sterkt i ett av de store framtidige satellitt-prosjekter: CLUSTER; fire identiske satellitter i synkrone baner i jordas magnetosfære. Studiet av magnetosfærens fysikk vil bli tilført en ny dimensjon – romlige flerpunktsmålinger. Strømmen av data vil også få en ny dimensjon – og vil en i 1995-96 ha et ord med i laget, bør en stille godt forberedt. Når så en av de sentrale grupper innen CLUSTER-prosjektet holder til i Paris, var stedsvalget ikke så vanskelig.

En erfaring som utvilsomt deles av mange er at et opphold ved en utenlandsk forskningsinstitusjon kan gi uvurderlig faglig utbytte og inspirasjon. De hjemlige miljøer settes også i perspektiv – og på enkelte områder er vi kanskje ikke så dårlige, som f.eks. på datasiden, med bruk av arbeidsstasjoner i nettverk. Men anledningen til konkret å utnytte den mulighet nettverkene gir til samtidig å arbeide med felles programmer over vilkårlige avstander, var en ny erfaring. Bedre dataoppdaterte kolleger har ofte forsøkt å forklare hva det dreier seg om, men som med så mye annet, en får ikke skikkelig tak i poenget før en har forsøkt på egen hånd. Og det er noe fascinerende ved å sitte ved sin X-terminal på Blindern og være usikker på om den kurve som plottes i det eksponerte vinduet kommer fra et program som kjører på arbeidsstasjonen i naborommet eller på den som sto i naborommet i Paris – det burde kanskje sjekkes på stedet.

∞

Husk
Kontingenten!

In Memoriam

Helmut Ormestad 1913 – 1993

Helmut Ormestad døde 10. august, vel 80 år gammel. Han var gjennom størstedelen av sitt liv knyttet til Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Her var han forsker, lærer og popularisator, og forente på den måten alle tre sider ved Universitetets oppgave. Han var et samfunnsengasjert menneske som var kjent langt ut over Universitetets kretser. Ikke minst gjorde han en stor innsats for skoleverket, både som lærebokforfatter og mangeårig medlem av Gymnasrådet, og for folkeopplysningen gjennom sitt engasjement i Studentersamfunnets Friundervisning og Folkeuniversitetet. han sto også sentralt i arbeidet til Human-Etisk Forbund. Han var dessuten kunstkjenner, med særlig interesse for musikk, poesi og malerkunst.

Etter endt universitetsutdannelse arbeidet Ormestad i skolen, som assistent ved Universitetet og som studiosjef i Norsk Rikskringkasting. I 1948 kom han tilbake til Unvesitetet som amanuensis i fysikk, og senere ble han universitetslektor, dosent og professor. Hans forskningsområde var akustikk, og hans doktorarbeid fra 1955 handlet om høreskarphet og taletydelighet, og ble utført med støtte fra bl.a. NRK. Hans fagkunnskap på akustikkens område er også kommet til nytte ved bygging av studioer i NRK. Ormestad var en eminent foreleser med stor formuleringsevne og sans for de fysiske poenger.

Utad var ormestad mest kjent som popularisator. Sammen med sin gode venn og kollega Otto Øgrim, sto han for TV-serien "Fysikk på roterommet" og flere hundre andre radio- og TV- programmer. I 1989

fikk de to Norges almennvitenskapelige forskningsråds ærespris for popularisering. Selv mente Ormestad at hans viktigste innsats i folkeopplysningens tjeneste var som lærebokforfatter. Også her samarbeidet han med Øgrim, og for noen år siden fikk de Cappelens litteraturpris for sin innsats på dette området. I løpet av de senere år laget Ormestad og Øgrim både bok og video om fysikk for barneskolen, og de var ved Ormestads bortgang opptatt med et tilsvarende prosjekt for ungdomsskolen. Ormestad hadde 10–15 foredragsavtaler for den nærmeste fremtid. Han var syk i tre uker før han døde; men selv den siste dagen han levde, ville han ikke avlyse noen avtaler. Han regnet med å være i full aktivitet igjen om kort tid.

Selv om det er 10 år siden Ormestad gikk av med pensjon, var han i daglig virksomhet ved Fysisk institutt. Her hadde han venner i alle aldersgrupper. Det er blitt et stort tomrom etter ham ved instituttet.

Eivind Osnes

Studer
FYSIKK

Helmut Ormestad

Helmut ønsket ingen blomster
Tenk på meg når du steller din hage sa han
Helmut ønsket ingen bisettelse
Gi meg din aktelse ved å være et godt menneske sa han
Helmut ønsket ingen gravtale
La mitt liv være min egen tale sa han

Men hvor skal vi sørge sa jeg vi er mange som vil sørge
Ingen skal sørge over meg sa Helmut
Vis meg din glede og ditt livsmot
Men det vil hjelpe oss sa jeg hvis vi har et sted å gå
Det kan jeg kanskje akseptere sa Helmut

En gudsbegavet lærer er borte
Vi tar en sekk med gass og integerer den sa Helmut
Fysikkens verden åpnet seg ved trolldom
Se det flyr lo han og sveivet rundt på Van de Graaffen
mens papirflyet svevet mot himmelen
Slik gjorde han mange av oss til lærere

Et utvalgt menneske er borte
Vi lever bare et pust av et sekund i tiden sa Helmut
Derfor må vi verne godt om hvert øyeblikk
Noe er vondt trøstet han men det er mørkest før soloppgang
og jeg fikk et dikt med inn i dagen
Slik gjorde han børen lettere å bære

Helmut spiller godt klaver
Han skulle viet seg til sin musikk sa noen
Helmut skriver god lyrikk
Kanskje han heller skulle ha vært dikter sa andre
Helmut var et godt menneske
og det var hans mest kostbare gave sier jeg

Takk for alt du har lært meg og gitt meg
av kunnskap, håp og glede.
Jeg kommer til å fortsette å lage hager
selv når utgangspunktet bare er betong.

Aud Veen Noodt

∞

FFV Gratulerer

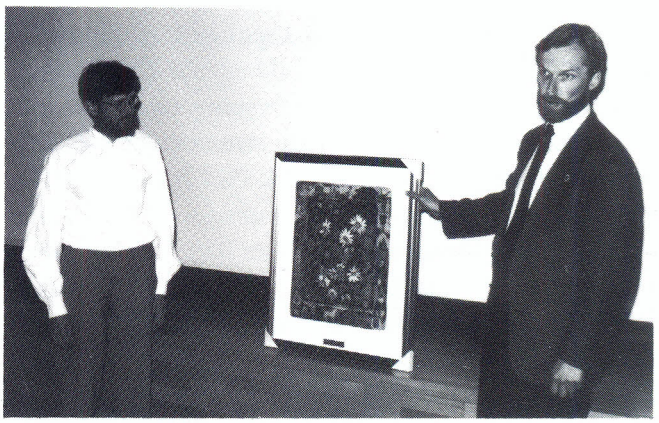
Priser delt ut på NFSs årsmøte

Harald Bratsberg og Tom Henning Johansen, Universitetet i Oslo, fikk årets IBM-pris for deres arbeider med løfteevne av høytemperatur superledere.

Fenomenet høytemperatur superledning (dvs. materialer som blir superledende omkring og over 100 K) har, siden oppdagelsen i 1986, vært gjenstand for en ganske enorm interesse. Ikke minst har de potensielle anvendelsene vekket stor interesse verden over.

Bratsberg og Johansen har studert superledende materiale for løfting (levitasjon), og har ved meget presise målinger påvist at det oppstår en sideveis stabiliserende kraft med vesentlig større stivhet enn den som tidligere har vært teoretisk forutsagt. Deres arbeid har vakt berettiget internasjonal oppsikt. Ikke minst er det imponerende at de har hevdet seg så sterkt i et så aktivt internasjonalt felt, i konkurranse med forskningsgrupper med vesentlig større ressurser tilgjengelig. FFV gratulerer!

Fysikk er morsomt!



Aasmund Sveinung Sudbø, Universitetet i Oslo og Televerkets forskningsinstitutt, fikk Simrad Optronics pris i elektrooptikk for sitt arbeid med halvledere, lysforplantning i optiske fibre, og design av integrerte optiske komponenter.

Sudbø har bygget opp et godt forskningsmiljø innen fiberoptikk ved Televerkets forskningsinstitutt. Hans egne arbeider er både rettet mot praktiske anvendelser og er av høy vitenskapelig kvalitet. Hans arbeider omfatter videre både eksperimentelle og teoretiske studier. FFV gratulerer med prisen!

Ingerid Hiis Helstrup ble den aller første velfortjente mottaker av NFSs undervisningspris, for sin store innsats gjennom ti år med Den internasjonale fysikkolympiade for elever i den videregående skole.

Hiis Helstrup, som til daglig er lektor ved Langhaugen skole i Bergen, har vært hovedansvarlig for den nasjonale uttaking, samt vært leder og ansvarlig for de norske deltakerne.

Selv om OL-konkurransene sikter inn mot de aller dyktigste elevene, har Hiis Helstrup gjort en stor innsats for å få med flest mulig deltakere i uttaksrunden. For denne fine innsatsen er hun en svært fortjent vinner av undervisningsprisen, og FFV gratulerer!

∞

Energi via kjernekraft – Del II
50 år siden den første atomreaktoren ble startet

Alexis C. Pappas *

I anledning atomreaktorens 50-års jubileum i 1992, holdt professor emeritus Alexis C. Pappas, som har hatt personlige kontakter med mange av aktørene, to felleskollokvier over denne spennende historien på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. FFV har vært så heldig å få trykke foredragene. Det første sto i FFV nr. 2 1993, og det andre presenteres her.

Fra Lise Meitner i 1938 til E. Fermi og den første atomreaktoren 2. desember 1942

Lise Meitner fortalte oss senere at da hun julen 1938 fikk Otto Hahns brev, reagerte hun momentant med å si til seg selv: "Jeg kjenner Hahns og Strassmanns ekstraordinære kjemiske kunnskaper og evner altfor godt til at jeg et eneste sekund tviler på riktigheten av deres uventede resultater."

Den teoretiske forklaring

I juleferien er Lise Meitner hos noen venner i Kungälv utenfor Gøteborg, der hennes nevø Otto Frisch, nettopp er kommet fra København. De nye resultater fra Berlin tas opp til diskusjon, og den noe skeptiske Frisch blir etterhvert overbevist om at Hahns og Strassmanns resultater må tas alvorlig.

De er en dag på tur i snøen i Kungälv – Meitner til fots og Frisch på ski – og snakker om urankjernens deling. Etter en stund setter de seg på en trestamme og begynner å regne på noen papirlapper de har med seg. De husker godt Bohrs forelesninger over kjernemodeller og tar utgangspunkt i den modell som han og F. Kalckar foreslo i 1937 – *Væskedråpemodellen*. Meitner og Frisch betrakter derfor urankjernen som en væskedråpe sammensatt av nøytroner og protoner. Da urankjernen har hele 92 protoner, vil disse pga. sin positive ladning frastøte hverandre og derved forsøke å sprenge dråpen, dvs. dråpens overflatespenning som holder den samlet vil være sterkt redusert.

Når urankjernen fanger inn et nøytron, vil den tilføres energi og kan derved komme til å oscillere om en likevektsform. Under dette kan dråpen få en pølsefasong; da er ikke tiden lang før en innsnevring dannes og dråpen deles i to omtrent like store deler.

Som alle dyktige kjerneforskere, kan Meitner og Frisch atomkjernenes bindingsenergi-kurve utenat og kan derfor estimere kjernemasser. De finner fort at det frigjøres ca. 200 MeV, dvs. ut fra energiens og massens ekvivalens, $E = mc^2$, ca. 0,1% av atomkjernens masse.

I januar 1939 sender Lise Meitner et brev til Otto Hahn før de definitivt hadde påvist delingen. "Vi har lest Deres arbeid meget nøye og overveiet: Ut fra energi betraktninger er det kanskje mulig at en så tung kjerne (uran) kan sprenges i stykker."

Frisch reiser tilbake til København og forteller Niels Bohr, idet han skal reise til USA, om "Meitner–Frisch tankene" hva denne prosess angår. Ennå før Frisch er ferdig, slår Bohr seg for pannen og utbryter: *"Sikke nogle idioter vi har været alle sammen! Men dette her er jo vidunderligt! Det er netop sådan, det må være! Har De og Lise Meitner skrevet en afhandling om det?"*

Bohr lover å holde dette for seg selv inntil Meitner og Frischs manuskript er ferdig, og tar av sted til båten. Manuskriptet blir formet over telefonen og sendes til Nature 6. januar 1939 – en uke før Hahn og Strassmann definitivt har påvist delingen av urankjernen. Fordi denne prosess har enkelte likhetspunkter med celledeling, ble den kalt fisjon[10].

I 1945 får Hahn Nobelprisen i Kjemi for oppdagelsen av fisjon. En hadde ventet at prisen skulle gis til teamet Hahn, Meitner og Strassmann. Det var Lise Meitner som foreslo å ta opp samarbeidet med Hahn igjen – for å se nærmere på Fermis resultater. Men vi skal være oppmerksomme på at før siste krig var ikke kvinner anerkjent som likeverdige med menn når det gjaldt forskning; dvs. til arbeid som krevde en logisk, kjølig og klar hjerne måtte de være helt ubrukelige.

*Professor emeritus, Universitetet i Oslo

Det var mange kvinner som ble utsatt for dette syn – foruten Lise Meitner, vår egen Ellen Gleditsch og flere andre; for ikke å glemme Marie Curie, som hadde to Nobelpriser (fysikk og kjemi) – hun ble aldri medlem av det Franske Videnskapsakademi. Alltid ble en mann foretrukket. På Marie Curies tid, i begynnelsen av vårt århundre, hersket det syn som forfatteren Octave Mirbeau (1850-1917) framhevet under den "sociale dimensjon" i slutten av attenhundre-tallet: "Kvinnen er ikke en hjerne. Hun er et kjønn og et meget vakkert sådant. Hun har bare en oppgave i universet: å elske, dvs. å opprettholde slekten. Kvinnen er uskikket til alt som ikke er kjærlighet eller moderskap. Noen kvinner – unntakene er meget sjeldne – har kunnet gi, det være seg i kunsten eller i litteraturen, illusjon av en skapende kraft. Men det er unormale vesener eller ganske enkelt reflekser av mannen. Jeg elsker dem mer som man kaller prostituerte, fordi de er i harmoni med universet."

Men tilbake til januar 1939. Samme dag som Meitner og Frisch sender sitt manuskript til Nature, ankommer Bohr til New York. Han har under oppholdet på båten forvisset seg om at han virkelig forstår mekanismen i fisjonsprosessen. Den 26. januar taler han på et møte i American Physical Society i Washington, og beretter om den nye prosessen; og før han er ferdig, forlater noen av tilhørerne salen. De skynder seg til sine laboratorier og kommer tilbake to dager senere. De er stolte over å kunne fortelle at de har sett fisjonsfragmentene, men blir 'avkjølt' da Bohr svarer at Frisch har funnet disse ad fysisk vei to uker tidligere.

Den enorme energimengde, ca. 200 MeV, som frigjøres i fisjonsakten, resulterer i at de to halvparter av urankjernen farer fra hverandre med meget store hastigheter, ca. 5% av lysets. Se figur 8. De ioniserer kraftig slik som påvist av Frisch, og 14 dager senere uavhengig av ham også av F. Joliot-Curie[11].

Fig.8. Fisjon av uran sett i tåkekammer. Det bestrålte uran er midt på bildet. En ser sporene fra de to fisjonsfragmentene som sendes ut i motsatt retning (horisontalt).

I løpet av våren 1939, er det et kappløp laboratoriene imellom om å skaffe til veie flest mulige opplysninger angående fisjonsprosessen, og konkurransen er knivskarp. Å forsinke en offentliggjørelse resulterer i en bekreftelse i stedet for en oppdagelse.

Våren 1939 kom Hahn til Oslo etter invitasjon fra Ellen Gleditsch. Otto Hahn begynte sin forelesning i Oslo med følgende: "Jeg er lei for å annonsere at de kunstige radioaktive elementene dannet ved bestråling av uran ikke er transuraner, slik vi tidligere trodde, men produkter av spaltningen av uran-atomet." (Såvidt vites, var det første gang han talte om denne oppdagelsen utenfor Tyskland.)

Hahn hadde av de tyske nazistene fått lov til å forelese i Norge på to betingelser: Han måtte snakke tysk, og han måtte besøke den tyske ambassadør i Oslo. Hahn, som var en motstander av nazismen, Hitlers filosofi og ideer, snakket for det meste engelsk; og han gikk for å besøke ambassadøren kl. 12, da han visste at han var ute til lunsj. Under krigen saboterte Hahn Hitlers atomprosjekt, og han ga aldri nazistene den ringeste konsesjon.

C. Möller i København, reiser spørsmålet om nøytroner frigjøres i fisjonsakten. Dette fanger manges interesse; og med en ukes mellomrom viser H. von Halban, F. Joliot og L. Kowarski (Paris), H.C. Anderson, E. Fermi og H. Ranstein (Columbia), og L. Szilard og W.H. Zinn (New York), at det frigjøres hele 2-3 nøytroner i hver fisjonsakt innen ca. $4 \cdot 10^{-14}$ s [12].

Er kjedereaksjon mulig?

Da det er flere enn det ene nøytron som må absorberes i uran for å fremkalle fisjon, antyder von Halban at det her foreligger mulighet for å få i stand en kjedereaksjon.

Kanskje kan de enorme energimengder som frigjøres i denne prosess utnyttes. Fermi sier 2. februar 1939, i radio: "Om den kunskap som er skaffet til veie vil få et praktisk utbytte, eller om den vil forbli begrenset til den rene vitenskaps område, kan ikke på det nuværende tidspunkt forutsies."

Mindre enn 1 måned etter oppdagelsen av fisjon er Fermi inne på at nøytroner kanskje kunne sendes ut fra fisjonsfragmenter etterat disse hadde gjennomgått noen få β-desintegrasjoner først – forsinkete nøytroner. Samtidig ble disse observert av R. B. Roberts, R. Meyer og P. Wang[13]. De 'forsinkete' nøytronene sendes

ut lenge etter selve fisjonsakten og utsendelsen av de 'prompte' nøytronene. Radioaktiv desintegrasjon med utsendelse av nøytroner, var sett på som en av flere muligheter av I. og F. Joliot-Curie like etter deres oppdagelse av kunstig radioaktivitet i 1934. De forsinkete nøytronutsenderne sendes ut fra mor-nukliden etter dens β-desintegrasjon og har levetider fra 1 min. og nedover.

I Paris utarbeider F. Perrin en tilnærmet teori der han gir betingelsene for at tapet av nøytroner i prosesser andre enn fisjon, skjer med en hastighet som er mindre enn hastigheten for å fremkalle fisjon. Han innfører begrepet 'kritisk størrelse' på den uranmengde som skal til for å få i stand en prosess.

Målinger som utføres i Paris, viser at en kjedereaksjon ikke kan komme i stand med hurtige nøytroner i naturlig uran hvor stor uranmengden enn er. Men det ser ut til at reaksjonen såvidt er mulig med langsomme nøytroner. Nå er de nøytroner som frigjøres i fisjon hurtige, og må bremses ned ved hjelp av en såkalt moderator, slik Fermi gjorde det i Roma i 1934.

I løpet av våren er det noen som diskuterer faren for å få i stand en eksplosjon, men man mener at dette er utelukket fordi nøytronene først må bremses ned, og dette tar tid. Selv om bruken av hurtige nøytroner skulle vise seg mulig, vil det føre til at alt uran blir spredt gjennom en begynnende eksplosjon med bare en meget ubetydelig del av energien frigjort. En minste mengde på 1–40 tonn uran estimeres som nødvendig dersom en eksplosjon allikevel skulle vise seg mulig.

I USA fant R.B. Roberts og medarbeidere i Washington, N. Bohr og J.A. Wheeler ved Princton, som hadde påbegynt arbeidet med sin teori om fisjon, at en terskelenergi på ca. 1 MeV er nødvendig for hurtig nøytronfisjon av uran, mens langsomme nøytroner fisjonerer uran ved meget lavere energier. Fra disse sammenlikninger konkluderte de at: "... det ser ut til at uranfisjon finner sted gjennom to forskjellige prosesser for hurtige og langsomme nøytroner," dvs. én for ^{238}U og én for ^{235}U.

Vi skal merke oss at allerede i 1934 viste Ellen Gleditsch og E. Føyn[14] ved Universitetet i Oslo, at det radioaktive elementet Actino-Uran er en isotop av uran, og utgjør ca. 1% av naturlig uran. De hadde ikke mulighet til å angi massetall. Det var først året etter at A.J. Dempster ved University of Chicago, viste massespektrografisk at uran har 2 isotoper: 238 og 235. Men først tre år senere var A.O.C. Nier ved Cambridge, i stand til å måle ^{235}U-mengden til ca. 0,7%. Arbeidene i Oslo hadde gått massespektroskopistene forbi.

I USA publiserer Bohr blant annet: *Resonance in Uranium and Thorium Disintegration and the Phenomenon of Nuclear Fission*; og sammen med J.A. Wheeler: *On the Mechanism of Nuclear Fission*[15].

Blant annet vises det i disse avhandlingene at "skurken" som hadde skapt alle vanskelighetene i så mange år var, som i en god detektivhistorie, den man minst tenker seg – nemlig den sjeldne uranisotopen ^{235}U, som forekommer i bare 0,71% i naturlig uran. Det er denne som fisjonerer med langsomme nøytroner, og ikke ^{238}U som man først skulle tro, og som trenger hurtige nøytroner. Dette skyldes at ^{235}U med 143 nøytroner, eksiteres med ca. 6,4 MeV når antall nøytroner i kjernen pares (143 → 144), og gir ^{236}U; mens ^{238}U, som har alle sine nøytroner paret (146), eksiteres bare til ca. 5,1 MeV når det siste nøytronet blir uparet i ^{239}U (146 → 147), dvs. at ^{235}U "vinner" over ^{238}U med ca. 1,3 MeV som er nok for fisjon av ^{236}U. Den kritiske energi for fisjon er nemlig 4,8 MeV for den sammensatte kjernen ^{236}U, og 5,4 MeV for ^{239}U.

I september 1939 starter tyskerne den 2. verdenskrig, og med ett snus det opp ned på alle tanker om forskning for framskrittets skyld. Et hemmelighetens slør senkes etterhvert over forskningen.

To dager før krigsutbruddet foreligger det siste "åpne" forskningsresultat – da fra Joliot, Halban, Kowarski og Perrin i Paris[16]; en kjedereaksjon er nettopp blitt vist mulig i uran, men prosessen kan holdes i gang bare så lenge nye nøytroner stadig tilføres utenfra. Denne gruppen utarbeider også idéen om kontroll av reaksjonen ved å innføre nøytronabsorberende materiale og derved begrense økningen av nøytroner. En kjernekraftreaktor skimtes i det fjerne. Dette åpner nye fantastiske, men også skremmende perspektiver.

Leo Szilard, ungarsk fysiker og jøde, hadde funnet det sikrest å forlate Mellom-Europa i 1934 og reiste til England. Han følte at krig var uunngåelig, og at de brutale lederne i Tyskland ville lete etter en mulighet til å "frigjøre atomenergi". – Dette var før fisjon ble oppdaget. Han hadde spekulert over dette tidligere og gjentok stadig for seg selv: "Menneskeheten er på randen av destruksjon." Szilard kom til USA i 1937, og det var delvis gjennom hans anstrengelser at et frivillig hemmelighetens slør ble senket over forskningen for å hindre opplysninger i å nå tyskerne.

I løpet av året 1940 begynner det å bli klart for de allierte at to veier synes mulige for en effektiv kjerneeksplosjon – enten å renframstille ^{235}U eller å syntetisere ^{239}Pu som var oppdaget av G.T. Seaborg, E. Mc-Millan og P. Abelson våren 1940. ^{239}Pu er "datter-datter" til Fermis, Hahns, Meitners og Strassmanns 23 min. aktivitet (^{239}U).

Den 2. august 1939, hadde Einstein sendt et brev til president Roosevelt der han bl.a. omtaler Joliots og

Szilards resultater og påpeker at USA bare har mineraler som er meget fattige på uran. Han avslutter med: "Jeg vet at Tyskland har stoppet salget av uran fra de Tsjekkoslovakiske gruber de har tatt over. At de har gått til dette skritt så tidlig, kan kanskje forståes når den tyske undersekretær von Weisszäcker er knyttet til Kaiser-Wilhelm Institut i Berlin, der noe av det amerikanske arbeidet med uran gjentas." Dette brevet var initiert av L. Szilard og de ungarske flyktningene E.P. Wigner og E. Teller. (Se FFV nr. 1, s. 4, 1993.)

Hos de allierte blir etterhvert også andre bekymret for framtiden da man vet at en tysk fysiker mener å ha påvist at hele 5 nøytroner sendes ut i fisjon (mot de 2-3 funnet i Frankrike og i USA). Man engstes for hva dette kan føre til – Hitler taler stadig om sitt hemmelige våpen som skal gjøre slutt på de allierte. Det tyske krigsdepartementet har da lenge vært inne på tanken om en "superbombe" uten at de allierte har visst noe. Hahn og Strassmann "saboterer" prosjektet. Men W.K. Heisenberg og C.F. von Weisszäcker støttet det, og en atomreaktor ble planlagt. Men i juni 1942 ble det klart at det ville ta for lang tid å lage en bombe. De måtte først isolere ^{235}U eller framstille ^{239}Pu i en reaktor.

Tungtvann og forsinkede nøytroner

Én ting er klart: Det hersker stor usikkerhet om nærmest alle de kjernekonstanter som påvirker en kjedereaksjon. Oppgavene framover blir å bringe disse under kontroll.

Som allerede nevnt, trenges en moderator for å kunne bremse ned de nøytroner som dannes. Fermi i New York, og Joliot i Paris, kommer til at vanlig vann ikke kan brukes, men grafitt kan. I Paris er man også inne på tungtvann og velger dette, mens Fermi velger grafitt. Tyskerne er også klar over at såvel grafitt som tungtvann vil være en passende moderator, men pga. feilslutninger skrinlegger de tanken om grafitt, og "kampen om tungtvannet" begynner.

Eneste leverandør er Norsk Hydro på Rjukan. Gruppen i Paris forslår derfor at den franske regjering sikrer seg det tunge vannet. Tyskerne sender en representant til Hydro med forespørsel om en 10-dobling av produksjonen og levering av 100 kg D_2O pr. mnd.

Dette fører til at direktør Stephansen ved Hydro den 12. januar 1940, sender et håndskrevet brev til overingeniør Brun på Rjukan, hvor det står: "Vi har fra flere kanter av de krigførende fått forespørsler om meget store kvanta tungt vann. Vi vet ikke hva det skal benyttes til... Men det er jo (også) en mulighet for hånden at det skal benyttes til noe fandenskap..." Samtidig gis det ordre om å sette produksjonen på topp.

Brun har ikke noe sikkert svar – kanskje bakteriekrig, da det er kjent at bakterier trives i tungt vann! Men 19. januar 1940, får Hydro under et møte i Paris vite hva tungtvannet skal brukes til – å moderere nøytroner. Og fem dager senere får tyskerne nei på sin forespørsel.

Franskmennene sender en hemmelig delegasjon til Oslo, og 11. mars er alt i orden. Frankrike får det Hydro for kort tid siden har nektet tyskerne. Da papirene skal undertegnes, sier den franske etterretningsoffiseren J. Allier for første gang hva tungtvannet egentlig skal brukes til: "Det er til fabrikasjon av en atombombe."

Generaldirektør A. Aubert i Norsk Hydro blir meget overrasket og er synlig opphisset. Men han erklærer at dette bare gjør ham sterkere i sin beslutning.

Under dramatiske omstendigheter kommer alt tungtvannet (185 l) til slutt til Paris, bare tre uker før Tyskland overfalt Norge.

Tyskernes angrep på Frankrike 10. mai, resulterer i at tungtvannet i juni bringes over til England av Halban og Kowarski. Joliot blir igjen i Paris. Hans kone, Irène Curie, er meget syk. Tungtvannet havner foreløpig i biblioteket i Windsor Castle.

Den 22. desember 1940, gir Halban og Kowarski i Rutherfords tidligere laboratorium i Cambridge, det første eksperimentelle bevis for at en divergerende kjedereaksjon basert på langsomme nøytroner er mulig i en homogen blanding av uranoksyd og tungtvann. Men prosessen er ennå ikke vist å gå i stor skala. For dette må vi til USA, og to år fram i tiden.

Det spørsmålet som Fermi, Szilard og deres medarbeidere tar for seg i 1940 er: Vil det være praktisk mulig å få i stand en kontrollert kjedereaksjon i uran og derved utnytte kjerneenergien til fredelige formål?

I oktober 1941, pekte Fermi på betydningen av forsinkede nøytroner for å kontrollere hastigheten på en kjedereaksjon. I motsetning til de 'prompte' som sendes ut i løpet av ca. 10^{-14} s, vil de 'forsinkede' komme meget senere, fra ca. 1 min. og kortere, noe som forsinker kjedeprosessen betraktelig i forhold til om bare de prompte nøytroner blir brukt. Ved å basere seg på de forsinkede nøytroner som alltid er til stede, kan en derfor holde kjedereaksjonen under kontroll.

Fermi var en av de meget få fysikere som behersket såvel teori som eksperiment. Han foretrakk konkrete problem, og han mistrodde teorier som var for abstrakte eller for generelle. Han var i stand til å analysere essensielle problem hvor kompliserte de enn var. Han fjernet matematiske komplikasjoner og unødvendig formalisme, men var fullt inne i den matematiske fysikk.

F.eks. har Fermis avhandling fra 1933 om β-teori, trosset tiden med en enestående suksess. Om denne avhandlingen ble det sagt: "Den er gjennomtrengt av en tilsynelatende naivitet som innbyr til kritikk og generaliseringer og til en masse lærd presentasjon..."

Denne tilsynelatende naivitet er karakteristisk for Fermi og representerer ikke hans kunnskaper da han skrev artikkelen. Allerede på den tid kunne han ha tatt med en god del abstrakt stoff som andre ville ha betraktet som høyst nødvendig. Fermi sendte avhandlingen til Nature og ville ha den publisert der, men redaktøren nektet å ta den inn "fordi...den inneholder spekulasjoner som er altfor langt unna fysisk realitet." I stedet ble avhandlingen trykt i Zeit. f. Physik under tittelen *Versuch einer Theorie der β-Strahlen I*[17]. Fermi offentliggjorde aldri noe mer om dette emnet.

Jeg var så heldig å møte Fermi første gang på et American Physical Society-møte i Chicago i 1949. Vi sto sammen med Maria Goeppert-Mayer og diskuterte kjerneskall. Da vi gikk inn i auditoriet, var foredraget begynt. Etter en stund bøyer Fermi seg mot meg og spør: "Vet du hvad dette dreier seg om?" "Nei," svarte jeg. "Ikke jeg heller," var svaret. Dere skulle sett ansiktet hans da foredragsholderen hadde skrevet tavle opp og tavle ned med matematikk og sa til slutt: "Og dette er Fermis β-teori i moderne form." Da lyste Fermis ansikt opp – han hadde nok skjønt mer enn han ga uttrykk for, men mente at dette var unødvendig komplisert og ga liten fysikkforståelse for tilhørerne.

Fermi og den første atomreaktor

Fermis direkte og tilsynelatende enkle måte å angripe fysiske problemer på, sammen med en enorm kunnskapsmengde, gjorde ham til den sentrale skikkelse i det prosjekt som til slutt skulle vise at kjerneenergi kan frigjøres langsomt og kontrollert. La oss følge Fermi og hans mange medarbeidere inn i "atomalderen".

Vi befinner oss sent om kvelden, den 1. desember 1942, samlet i et rom under tilskuertribunen på Chicago Universitetets stadion for å være til stede ved et eksperiment som vel ingen vet om vil lykkes eller ikke – kanskje unntatt Fermi som virker sikker.

I midten av rommet, som er ca. 10 × 10 m, ser vi en stabel av form som en flatklemt ball, ca. 6 m høy og ca. 7,7 m i diameter. Denne befinner seg halvveis nede i en kubisk ballong av gummiduk, se figur 9. Firmaet som hadde laget denne hadde stadig spurt seg: "Hva skal de ved Universitetet i Chicago med en kubisk ballong – ballonger er jo alltid sfæriske." Det hele virket tilsynelatende nokså rotete.

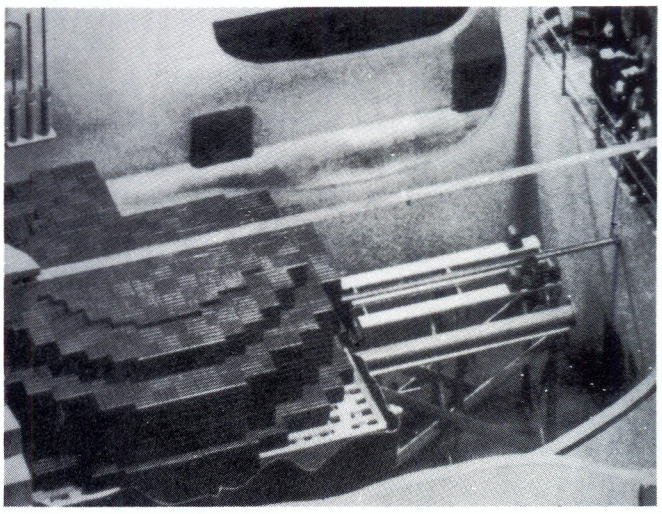


Fig.9. Den ferdige reaktor inne i den kubiske ballongen.

Siden begynnelsen av november har vitenskapsmennene stablet det ene lag med spesielt rene grafittblokker, som de selv former til "riktig størrelse", opp på det andre, mens de putter 'slugs' av metallisk uran og 'pellets' av uranoksyd inn imellom superren grafitt (i alt ca. 6 tonn U). Hvert lag omgis av en treramme.

Under formingen av grafittblokkene blir alt svart av kullstøv. Grafitt ligger utover gulvet, og svarte skikkelser glir bortover som dansende spøkelser. De snakker lavt, og av og til høres: "*If people could see what we're doing with a million and a half of their dollars, they'd think we are crazy. If they knew why we are doing it, they'd be sure we are.*" – Den første atommile er under bygging!

Ettersom stabelen av grafitt og uran vokser, blir det stadig foretatt målinger. Tidlig på ettermiddagen den 1. desember, begynner instrumentene å tikke hurtigere enn vanlig. Den nervøse spenningen som hele tiden har økt i takt med oppbyggingen av stabelen, er nå på bristepunktet. Reaktoren har nådd sin kritiske størrelse, og det siste – det 57. lag av grafitt og uran legges på plass.

Under oppbyggingen av stabelen er noen staver av kadmium (som absorberer nøytroner) lagt inn i denne. Fermi stopper arbeidet – målingene viser at hans beregninger stemmer så og si på blokken når reaktoren er ferdig. Med alle kontrollstavene av kadmium ute, er nå den effektive multiplikajonsfaktor 1,0006, dvs. 0,06 % overskudd av nøytroner til stede for å holde kjedereaksjonen ved like, oppnådd.

Utover kvelden foretar Zinn og Anderson flere målinger av aktiviteten inne i stabelen. De to føler seg overbevist om at når kadmium-stavene blir fjernet, vil reaktoren drive seg selv. Men det er enighet om å

vente med starten til Fermi og resten av gruppen er til stede neste morgen.

Onsdag den 2. desember, kl. 8.30, er de igjen samlet. Ca. 10 fot over gulvet i den ene enden av hallen går en balkong som utgjør et slags galleri, der "the big wheels", Fermi, Zinn, Anderson og Compton står samlet rundt en rekke instrumenter, mens resten av staben, "the little wheels", står lenger bak. Alle unntatt fire, er samlet på galleriet. Se figur 10.

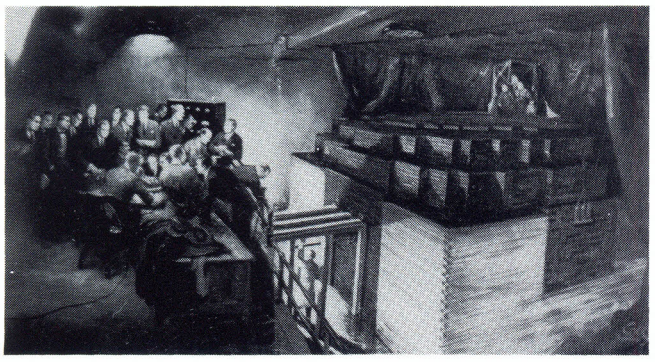


Fig.10. Scenen 2. desember 1942. Maleri av Gary Sheahan, Chicago Tribune, etter 4 måneders studier. (Eier: Chicago Historical Society.) Fermi ved instrumentbordet på balkongen med "the big wheels" rundt seg og "the little wheels" i bakgrunnen. Nødstaven "ZIP" festes av Zinn til gelenderet. Nede på gulvet George Weil som trekker ut den siste kontrollstaven. Væskekontrollgjengen med Cd-løsning i bøtter på plattformen over reaktoren.

Inne i stabelen er det to kontrollstaver, hvorav den ene reguleres automatisk fra instrumenttavlen på galleriet etter signaler fra måleinstrumentene inne i reaktoren. Den andre er en 'nødstav' kalt "ZIP". Den er festet til et tau som går gjennom reaktoren over en talje i taket og balansert med en motvekt i den andre enden. Nede på gulvet står George Weil ferdig til, etter ordre fra Fermi, å trekke ut den siste kontrollstaven. På denne er det malt en skala i fot og tommer.

Det eksperimentet som skal gjøres er helt nytt og dessuten forskjellig fra alle tidligere eksperimenter. Fermi er ikke så trygg på de mekanisk styrte kontrollstavene som på sine egne beregninger. Derfor har han plasser en gruppe på tre på en plattform over stabelen – væskekontrollgjengen – som er forberedt på "det verste" og skal helle litervis av kadmiumholdig løsning, som står ferdig i bøter, over reaktoren dersom noe går galt.

Hver gruppe gjennomgår nå meget nøye sine oppgaver, og kl. 9.45 ber Fermi om at den automatiske kontrollstaven bli trukket ut.

Instrumentene begynner å tikke. Kl. 10.02 sier Fermi: "ZIP ut!" Zinn trekker langsomt i tauet til sikkerhetsstaven – staven følger med, og han fester tauet til galleriets rekkverk. Alle føler at det store øyeblikket nærmer seg og ser på Fermi. Det er helt stille. Fermis grå øyne røper hans intense tenking, hendene beveger seg i takt med tankene hans, men uten at han et øyeblikk tar blikket vekk fra instrumentene.

Den neste staven som nå skal ut, er George Weil nede på gulvet ansvarlig for. Kl. 10.37 sier Fermi: "Trekk ut til 1,3 fot, George!" Tikkingen øker. " Det er ikke dette," sier Fermi, og peker beroligende på skriveren. "Pennen vil tegne en oppadstigende kurve hit og så vil kurven flates ut."

Etter noen få minutter er pennen der, og syv minutter senere ber Fermi om at staven blir trukket ut enda en fot. Pennen fortsetter å tegne, og kurven stiger på nytt. Etter en stund flates den ut igjen. Milen går ennå ikke av seg selv.

Kl. 11.00 blir staven trukket ut 6 tommer. Alle holder pusten – skriveren tegner en oppadstigende linje som igjen flates ut. Dette finner sted noen ganger, og kl. 11.25 blir den automatiske kontrollstaven kjørt inn. Fermi er meget omhyggelig med at stabelen av uran og grafitt hele tiden oppfører seg i overensstemmelse med hans beregninger. Han går meget langsomt fram og tar ingen sjanser. Han vet at tiden nærmer seg, og stopper derfor forsøket noen minutter for å kontrollere alt på nytt.

Tiden for lunsj nærmer seg, men ingen viser tegn til å være sultne! Kl. 11.35 blir den automatiske kontrollstaven trukket ut igjen, og Weils kontrollstav blir justert på nytt. Tikkingen går nå hurtigere og hurtigere. De som kan, ser med spenning på instrumentene, og helt trollbundet følger de pennen. "Nå kan det ikke være lenge igjen," tenker de fleste. Plutselig høres et øredøvende brak. Fortryllelsen er med ett borte. Alle stivner til av forskrekkelse, men puster lettet: Det er jo den automatiske sikkerhetsanordningen som har trått i funksjon. Den er nok satt på et for lavt nivå.

Fermi føler at alle trenger å slappe av. "Jeg er sulten; la oss gå til lunsj," sier han. Lunsjen inntas i stillhet, lite spises, mindre sies. Fermis ro og sikkerhet demper alles nervøsitet.

Etter lunsj fortsetter arbeidet kl. 14.00 om ettermiddagen. Instrumentenes tikking øker ettersom den siste kadmium-staven trinnvis trekkes ut av Weil til et på forhånd avtalt punkt på skalaen. Se figur 11. På galleriet strømmer alle som kan til instrumenttavlen for å følge pennen som nå er i ferd med å gå utenfor papiret – skalaen må endres flere ganger. "Trekk ut 6 tommer til," sier Fermi. Klokken er nå tyve minutter over tre og vi hører en tvungen behersket stemme: "1000, 1050, 1100, 1150." Men kurven flates ut igjen; skala skiftes, og 25 minutter over 3 sier Fermi: "Trekk ut

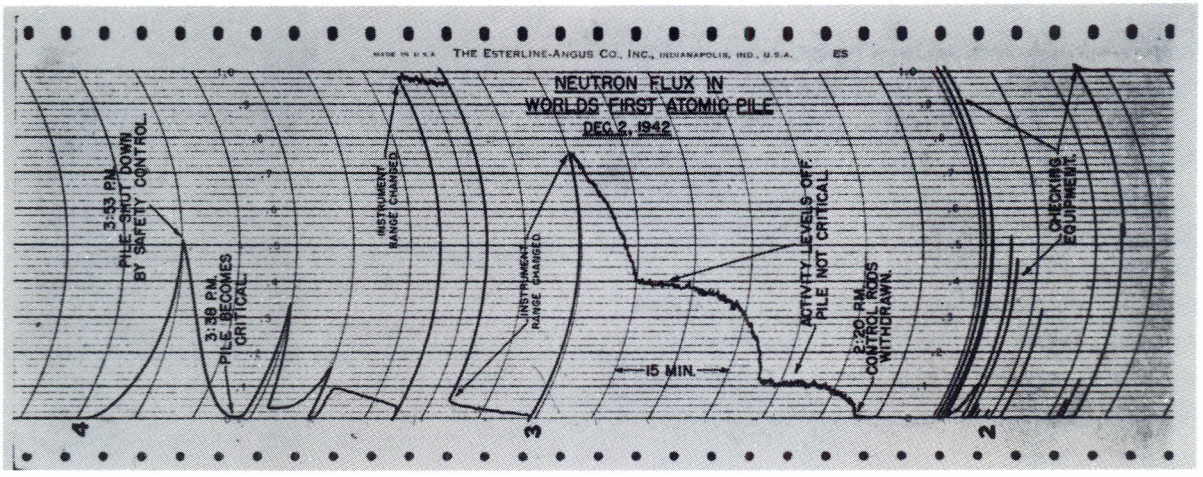


Fig.11. Reaktorens "fødselssertifikat" (leses fra høyre mot venstre). Tiden som abscisse og nøytronflux som ordinat. En ser hvorledes intensiteten jevnet seg ut, og kadmium-staven måtte trekkes lenger ut omkring kl. 14.20, 14.35 og 14.55. (I tiden 15.00–15.30 ble skalaen endret flere ganger for å holde pennen innen papiret.) Kl. 15.38 forandrer kurven helt karakter og blir eksponensiell, dvs. reaktoren blir "kritisk".

en fot til, det bør være nok;" og til A. Compton som står ved hans side: "Nå vil kjedereaksjonen gå av seg selv. Pennen vil tegne en stadig oppadstigende kurve. – Den vil ikke flates ut."

Zinn løfter en øks og står ferdig til å kutte tauet som holder "sikkerhetsstaven" ute. Oppe under taket er de tre "brannfolkene" klare med sine bøtter – ferdige til å helle kadmiumløsningen over reaktoren og "slukke" denne på det minste tegn fra Fermi. Fermi selv er rolig og foretar beregninger med sin regnestav – tre minutter senere nye beregninger – og noterer hver gang på baksiden av regnestaven. I bakgrunnen høres Overbeck noe engstelig rope ut over høyttaleren: "1210, 1220, 1250, 1300!" Den eneste kvinne tilstede, Leona Marshall, Anderson og Sturm prøver å skrive ned hva tellerne registrerer. Disse går nå så hurtig at det menneskelige øre ikke oppfatter annet en *brrrr...* Fermis øyne beveger seg fra det ene måleinstrumentet til det andre, mens han innimellom med lynets hastighet regner på regnestaven. Han er så konsentrert at ansiktet virker strengt. Men plutselig brer et lykkelig smil seg over ansiktet hans. Han legger regnestaven fra seg og sier: "Milen går av seg selv. Kurven er eksponensiell." – En kjedereaksjon har startet 2. desember 1942, kl. 15.38.

Ettersom tikkingen stiger, tenker hver enkelt: "Når er det på tide å bli redd?" Gruppen oppe under taket står parat med bøttene og Zinn med øksa. Fermi sier intet. I 28 minutter betrakter 41 menn og 1 kvinne, anspent til det ytterste, instrumentene som ikke viser tegn til at kurven vil flates ut. Så virker den automatiske sikkerhetsstaven. 7 min. på 16.00 sier Fermi: "Ok, dette er nok for i dag. ZIP inn!" Og milen stoppes like jevnt og fint som den hadde startet.

Wigner, som har stått med hendene på ryggen, trekker nå fram en flaske Chianti som han overrekker Fermi. Fermi åpner flasken, sender bud etter pappkrus, og skjenker i til alle. Stille og høytidelig uten å skåle føres krusene til munnen av amerikanerne Compton, Anderson, Hilberry og mange andre, kanadieren Zinn, ungarerne Szilard og Wigner, og italieneren Fermi. De fleste skriver sitt navnetrekk på bastkurven som omgir flasken og forlater rommet.

Samtidig blir meldingen om atomalderens begynnelse telefonert fra Chicago til Boston. Den historiske samtalen blir ført i improvisert kode og er ganske kort. Compton i Chicago: "Den italienske sjøfarer har landet i den nye verden." "Hvordan var de innfødte?" spør Conant i Boston. "Meget vennlige," er svaret.

Samme kveld gir fru Fermi et selskap for Fermis medarbeidere. Ettersom disse kommer inn, gratulerer de Fermi. "For hva?" spør fru Fermi, som intet vet. Ingen svarer henne. Til slutt spør hun Leona Marshall, som sier: "Han har senket en japansk admiral." Fru Fermi mener hun holdes for narr, og dagen etter spør hun sin mann: "Enrico, har du virkelig senket en japansk admiral?" "Gjorde jeg?" svarer Fermi med et vennlig uttrykk. "Så du har *ikke* senket en japansk admiral?" "Gjorde jeg ikke det?" svarer han uten å endre sitt uttrykk. Først 2 1/2 år senere får fru Fermi vite hva som virkelig fant sted 2. desember 1942.

Den tekniske utnyttelse av atomenergien var bevist mulig – den 2. desember 1942, var milens nivå 0,5 Watt, den 12. desember samme år, var den kommet opp til 200 Watt.

En ung fysiker, Wattenberg, tok samme ettermiddag som reaktoren var startet, vare på Chianti-flasken med navnetrekkene. Det var en fin souvenir, og flasken

fulgte Wattenberg på alle hans reiser. I 1952 skulle 10-års jubileet feires, og Wattenberg hadde lovet at han og flasken skulle være til stede. Nå hendte det seg at Wattenberg fikk en sønn akkurat på den tiden, og han kunne ikke være tilstede – men han sendte Chianti-flasken. For å være ekstra sikker på at den ikke skulle bli ødelagt, forsikret han den for 1000 $. En journalist fikk tak i historien om 1000 $ forsikring av en tomflaske. To måneder senere, mottok Fermi og en del andre av de som hadde vært tilstede 2. desember 1942, en kasse Chianti – agenten for Chianti ville på denne måten takke for gratis reklame.

Den nye energikilde utvikles, og stadig større reaktorer ser dagens lys, mange med uran anriket til 3% med ^{235}U. Som moderator brukes grafitt, tungtvann og vanlig vann.

Intet nytt under solen

Alle tror at den første frigjøring av kjerneenergi her på kloden er menneskenes verk. Men i 1972 oppdaget vi at naturen har vært ute lenge før oss: For ca. $2 \cdot 10^9$ år siden hadde vår jord iallfall på ett sted (Gabon i Afrika) sin naturlig kjernekraftreaktor, og det av samme type som de kraftproduserende reaktorer menneskene benytter idag – dvs. med uran anriket til ca. 3% i ^{235}U som brensel og vann som moderator. – Det er altså intet nytt under solen!

Referanser

10. L. Meitner og O.R. Frisch: Nature **143** 239, 471 (1939)
11. O. Frisch: Nature **143** 276 (1939)
    F. Joliot: Compt. Rend. **208** 341, 647 (1939)
12. H. Halban, F. Joliot og L. Kowarski: Nature **143** 470, 680 (1939)
    H.C. Anderson, E. Fermi og H.B. Hanstein: Phys. Rev. **55** 797 (1939)
    L. Szilard og W.H. Zinn: Phys. Rev. **55** 799 (1939)
13. R.B. Roberts, R. Meyer og P. Wang: Phys. Rev. **55** 510 (1939)
14. E. Gleditsch og E. Føyn: Compt. Rend. **198** 210 (1934)
15. N. Bohr og J.A. Wheeler: Phys. Rev. **56** 426 (1939)
16. H. Halban, F. Joliot, L. Kowarski og F. Perrin: J. Phys. Radium **10** 428 (1939)
17. E. Fermi: Zeit. f. Phys. **88** 161 (1934)

Biografier og historikk

1. Laura Fermi: *Atoms in the Family.* Univ. of Chicago Press (1954)
2. W. Gentner: *Otto Hahn – ein Forscherleben.* Foredrag ved innvielsen av "Otto Hahn-Gymnasiums", Tuttlingen (1978)
3. Charlotte Kerner: *Lise, Atomphysikerin.* Belty U. Gelberg (1985)
4. F. Krafft: *Im Schatten der Sensation; Fritz Strassmann.* Verlag Chemie (1987)
5. O. Hahn: *Von Radiothor zur Uranspaltung.* Friedr. u. Sohn (1962)
6. L'Université de Paris *XXXe Anniversaire de la Découverte de la Radioactivité Artificielle,* Paris (1964)
7. E. Lunde: 6 artikler i Aftenposten, april (1969)
8. J. Brun: *Brennpunkt Vemork 1940–1945.* Universitetsforlaget (1985)
9. *20th Anniversary of the World First Nuclear Reactor.* IAEA bulletin 2. des. (1962)
10. R. Rodes: *The Making of the Atomic Bomb.* Simon and Schuster (1988)
11. D. Irving: *The Virus House.* W. Kimber and Co. (1967)
12. A. Kramish: *The Griffin.* Houghton Mifflin (1986) (Sterkt kritisert.)
13. Artikler i Die Zeit **18, 24** (1992);
    se også: Sci. American, p.92, feb. (1993)
14. H.D. Smyth: *Atomic Energy for Military Purposes.* U.S. Government Printing Office, august (1945)
15. Motstridende utalelser foreligger om det tyske prosjektet.

∞

Kaos og Størmers problem

Kai T. Hansen *

Kaosteori blir ofte oppfattet som et helt nytt forskningsområde[1]. En kan derfor ha behov for å trekke linjer tilbake i tiden og identifisere hva som er nytt og hva som er en gjentakelse av gamle ideer.

Størmers problem[2] er et system som fortjener en renessanse i denne sammenhengen; det tilhører en viktig disiplin i norsk fysikkhistorie, nordlysforskningen, og har alt vi forlanger av et moderne kaotisk system. Det har riktignok ikke spilt en framtredende rolle ved framveksten av kaos-teori, men har vært ett av de problemene som har ligget i bakgrunnen og ventet på bedre tider. Av interesse for norsk fysikkhistorie er det også at Størmers arbeid antakelig var de første beregninger av kaotiske baner[3].

Det første man fascineres av i kaos-teorien, er de spektakulære datamaskinbildene av fraktaler. Når nyhetens interesse avtar, er det det generelle i den geometriske strukturen i ulike problemer som fanger interessen. I Hamiltonske systemer har vi KAM-kurver som brytes ned når en parameter endres, og et spredningssystem vil alltid ha en struktur som inkluderer en Cantor-mengde. I dissipative systemer er forgreiningsdiagrammet med Feigenbaums skalering gyldig for en stor klasse systemer. Vi tar her for oss Størmers problem og viser at de generelle resultatene for Hamiltonsk kaos kan anvendes på dette interessante problemet.

Det mest interessante i norsk fysikkforskning omkring århundreskiftet var kanskje nordlysforskningen med Kristian Birkelands (1867-1917) eksperimenter og Carl Størmers (1874-1957) beregninger av en enkelt ladd partikkels bevegelse i et magnetisk dipolfelt. I 1903 hadde Størmer en samtale med Birkeland om hans eksperimenter med katodestråler (elektroner) i magnetfelt. Dette førte til et livslangt prosjekt for Størmer der han ville berekne matematisk katodestrålenes bevegelse i jordas magnetfelt. Den modellen han satte opp, var en enkelt ladd partikkel som beveger seg i et felt fra en magnetisk dipol. Poincaré hadde da alt løst problemet med en partikkel i et magnetisk monopol-felt og vist at dette har analytiske løsninger og kunne forklare aspekter av Birkelands eksperimenter[4]. I denne sammenhengen er dette interessant ettersom Poincaré er den som moderne kaos-teori skylder mest. Poincaré viste at 3-legeme problemet, som helt fra Newtons tid hadde vært uløst, ikke hadde en generell analytisk løsning. Han definerte diskret dynamikk utledet fra en kontinuerlig strøm med det vi nå kaller en Poincaré-avbildning, han diskuterte det vi i moderne språkbruk kaller stabile og ustabile mangfoldigheter, og han forstod også den sentrale plass periodiske baner har i beskrivelsen av et kaotisk system.

Størmer klarte å redusere det tredimensjonale problemet i rommet til et problem med to frihetsgrader gitt ved Hamiltonfunksjonen

$$H = \frac{1}{2}(p_\rho^2 + p_z^2) + \frac{1}{2}(\frac{1}{\rho} - \frac{\rho}{r^3})^2 \qquad (1)$$

hvor ρ og z er sylindriske koordinater omkring magneten, og r er avstanden til origo. Størmers tegning av dette potensialet $V(\rho, z) = 1/2(1/\rho - \rho/r^3)^2 = 1/2(1/\rho - \rho/(\rho^2 + z^2)^{3/2})^2$ er vist i figur 1. En tre-

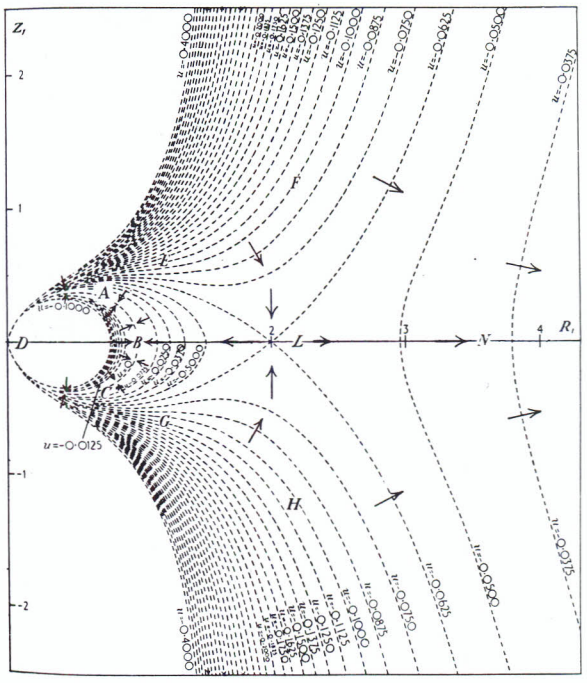


Fig.1. Størmers tegning av potensialet (ligning (1)) for en ladd partikkel omkring en magnetisk dipol[2]. I notasjonen som er brukt i teksten er den horisontale aksen ρ og den vertikale aksen z.

*Niels Bohr Institutet, København, og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

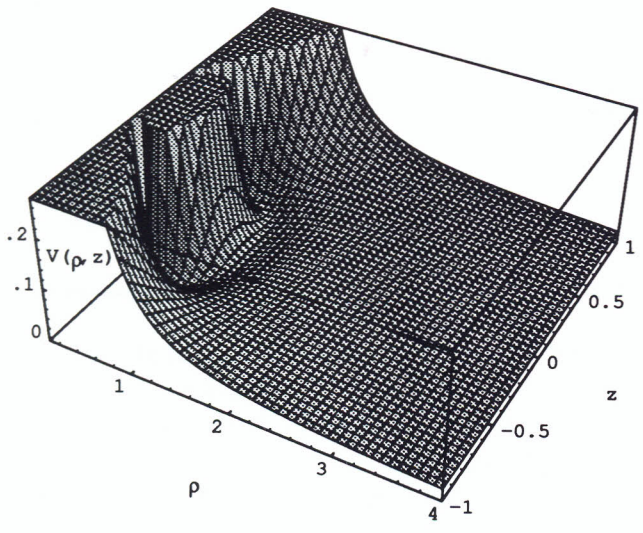


Fig.2. Potensialet i ligning (1) tegnet som en flate over planet (ρ, z).

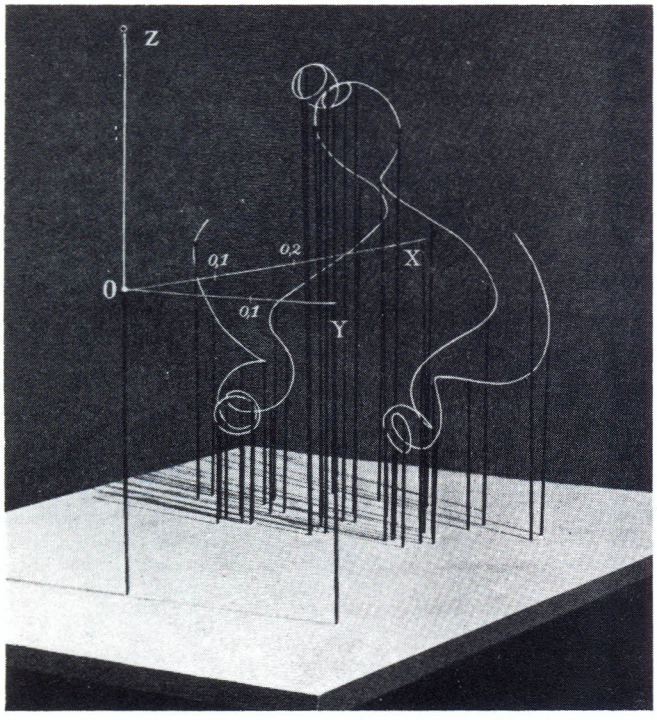


Fig.3. Størmers tredimensjonale framstilling fra 1907, av en ladd partikkels bane omkring en magnetisk dipol[2]. Magneten ligger i origo med nord langs positiv x-akse. Beregningen av denne banen tok mer enn 100 timer.

dimensional tegning av det samme potensialet er vist i figur 2. Størmer fant at dette problemet måtte løses numerisk, og før datamaskinenes tid krevde dette mye arbeid og mange assistenter. Vi våger her påstanden om at dette var *den første numeriske beregning av kaotiske baner.*

Den grafiske framstillingen av en tredimensonal bane ble gjort med ståltråd som vist i figur 3. Dette var resultatet av et stort beregningsarbeid, men kan i dag gjøres i løpet av sekunder på en datamaskin. Hva vi også har i dag, er en teori med nye begreper som gir oss en dypere forståelse av de problemene Størmer møtte, og som viser oss at Størmers problem hører til i den store klassen av problemer som nå kalles kaotiske systemer.

Bundne baner

To sentrale begreper i kaosteorien gir oss verktøy til å forstå noen egenskaper ved Størmers problem. Det første er KAM-teorien[5], og det andre er Cantormengder eller fraktaler[6,7]. KAM-teorien ble utviklet av Kolmogorov, Arnold og Moser i 1960-åra. Den sier at et integrabelt system (dvs. et system som har en analytisk løsning) med en perturbasjon som kan gi kaos, fortsatt har en stor grad av regulær struktur så lenge perturbasjonen er tilstrekkelig liten. For Størmers problem er det integrable systemet likning (1) med energien $H = E = 0$. Den eneste løsning av interesse for $E = 0$, er banen

$$r^3 = \rho^2 \tag{2}$$

der elektronet beveger seg ut fra den ene magnetiske polen, krysser ekvatorplanet, og forsvinner så inn i den andre polen. En liten perturbasjon er i Størmers problem et valg av en energi litt større enn null. Uten KAM-teori ville systemet ha besøkt alle punkter i faserommet (ρ, z, p_ρ, p_z) som er energetisk tilgjengelige. Størmer viste at ut fra energibetraktninger ville elektronet være fanget i et område i nærheten av magneten. Så lenge energien er tilstrekkelig liten, vil det imidlertid eksistere KAM-kurver (sirkler) som hindrer den ladde partikkelen i å besøke alle punkter i faserommet som den gitte energien tillater. Det ble vist av M. Braun i 1970[8], at KAM-teorien gjelder for perturbasjoner av banen (ligning (2)).

Vi kan lage en Poincaré-avbildning av Størmers problem ved å velge å tegne punktet $(\rho, \dot{\rho})$ (hvor $\dot{\rho} = d\rho/dt$) hver gang banen passerer $z = 0$ med $\dot{z} > 0$, dvs. når partikkelen krysser ekvatorplanet og beveger seg mot nord. Figur 4 viser Poincaré-avbildningen for fire forskjellige startpunkter med samme energi, $E = 0,001$. Vi ser at en bane alltid krysser planet $(\rho, \dot{\rho})$ på en topologisk sirkel. Fire ulike baner gir dermed fire ulike KAM-sirkler, og en partikkel kan ikke hoppe fra en sirkel til en annen selv om det energetisk sett ikke er noe til hinder for dette. Banen til disse fire startpunktene er tegnet i rommet (ρ, z) i figurene 5 a), b), c) og d), og vi ser at en KAM-sirkel betyr en bane som alltid vender i samme avstand fra

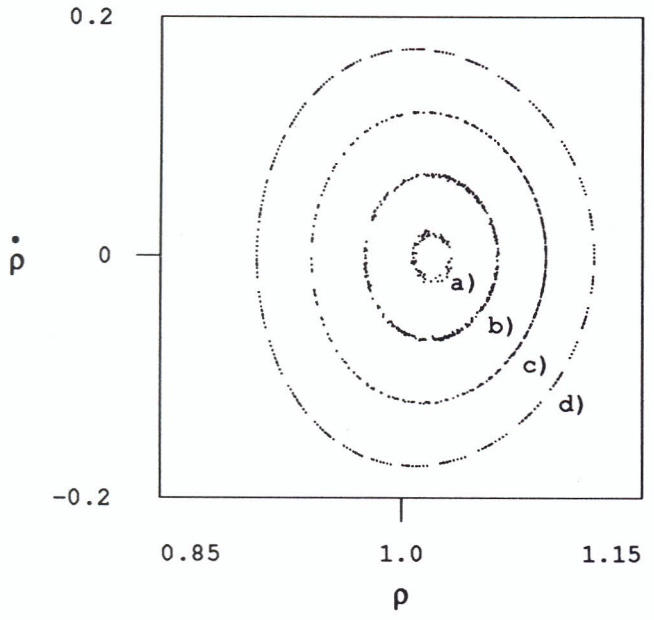


Fig.4. Poincaré-avbildning av fire ulike baner for energien $E = 0,001$.

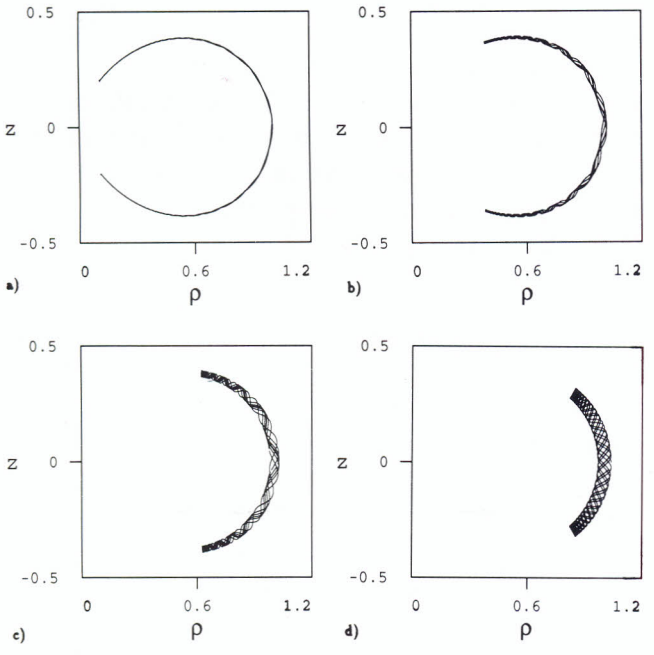


Fig.5. De fire regulære banene for en ladd partikkel med energi $E = 0,001$ i figur 4. Startpunktet er $\dot{\rho} = 0$, $z = 0$ og a) $\rho = 1,01$ b) $\rho = 1,02$ c) $\rho = 1,03$ d) $\rho = 1,04$.

nord- og sydpolen. Her har vi en enkel fysisk tolkning av KAM-teorien for dette systemet: For tilstrekkelig liten energi vil en partikkel gå fram og tilbake mellom nord- og sydpolen og alltid vende i samme avstand fra polen selv om systemet ikke er integrabelt. Vi ser av figurene at en liten sirkel i Poincaré-avbildningen er en bane som kommer nær den magnetiske polen før den vender. Sentret i sirklene er den banen som fører helt inn til dipolen.

Så er neste spørsmål hva som skjer når energien ikke lenger er tilstrekkelig liten. Den generelle teorien for kaotiske systemer forteller oss at mellom KAM-sirklene finnes det kaotiske områder som øker i størrelse og ødelegger KAM-sirklene når perturbasjonen øker. I Størmer-problemet betyr det at for tilstrekkelig store energier vil partikkelen ikke lenger vende i samme avstand fra polene hver gang.

Det vil generelt ikke være slik at alle KAM-sirkler ødelegges samtidig. Avhengig av "hvor irasjonalt"[5] vindingstallet er for den enkelte KAM-sirkel, vil de ødelegges for ulike størrelser av perturbasjon. Vi kan derfor ha både kaotiske baner og regulære baner med samme energi. De forskjellige banene vil alltid være isolert i ulike deler av faserommet og dermed i ulike områder i Poincaré-avbildningen. Figur 6 viser

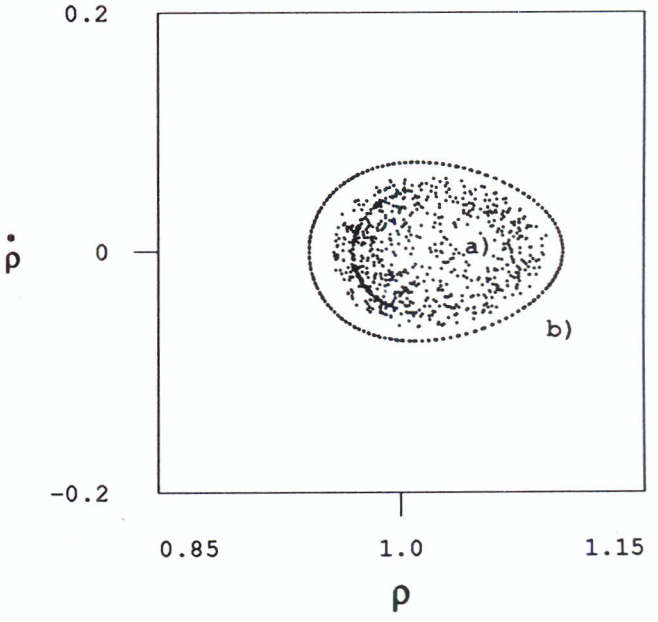


Fig.6. Poincaré-avbildning av to ulike baner for energien $E = 0,0041$.

Poincaré-avbildningen av to baner for energien $E = 0,0041$ med startpunkter $\rho_0 = 1,08$ og $\rho_0 = 1,11$. Den første banen gir en mengde punkter spredd utover en begrenset del av planet, mens den andre banen gir punkter på en kurve (sirkel) som omgir punktene fra den andre banen. I figur 7 a) og b), er banene tegnet i (ρ, z)-planet, og vi ser at det er naturlig å kalle den første banen kaotisk og den andre regulær. I figur 7 a) vender banen i forskjellige avstander fra polene hver gang, mens i figur 7 b) vender banen alltid i samme avstand. Den kaotiske banen vil komme vilkårlig tett på magneten, og den eneste måten å finne ut når den vender, er å beregne banen numerisk. Dette er det typiske kaotiske systemet: De fleste startpunkter gir en kaotisk bane mens noen startpunkter gir en regulær

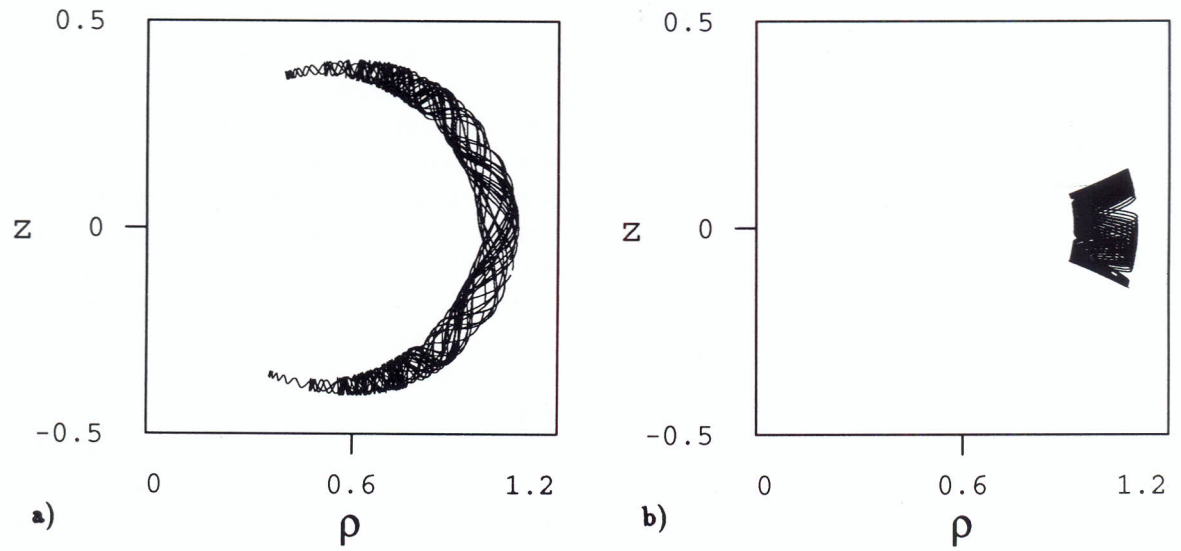


Fig.7. De to banene for en ladd partikkel med energi $E = 0,0041$ i figur 6. Startpunktet er $\dot{\rho} = 0$, $z = 0$ og a) $\rho = 1,08$ b) $\rho = 1,11$.

bane. Når vi lar energien bli større, vil mer og mer av faserommet bli okkupert av kaotiske baner. Det finnes imidlertid ingen teori som sikrer at vi bare har kaotiske baner. Generelt er et kaotisk system alltid en blanding av kaotiske og regulære baner.

Spredningssystem

Fraktaler kan man diskutere i forbindelse med KAM-teori, men en mer direkte illustrasjon av en fraktal får vi ved å studere Størmers problem for noe større energier. Vi vil nå se på partikler med så stor energi ($E > 1/32$) at de ikke er bundet til å være i nærheten av dipolen til evig tid, men kan slippe vekk omkring sadelpunktet ($\rho = 2, z = 0$) i figur 1 og figur 2.

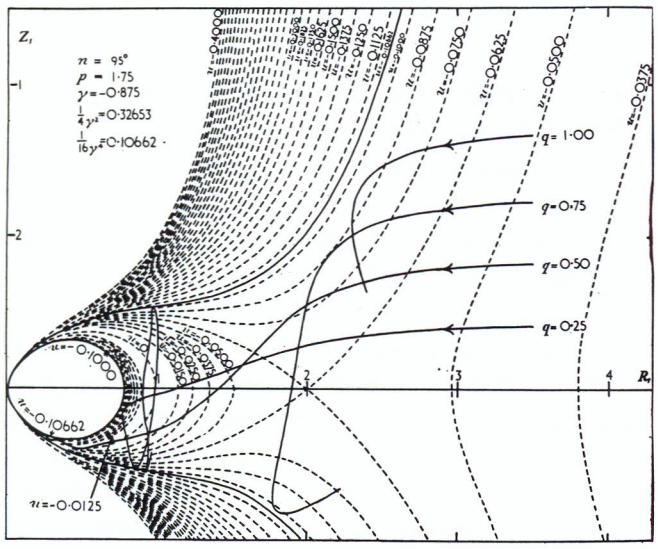


Fig.8. Størmers beregning av noen baner for partikler som kommer inn mot magneten med energi $E = 0,10662^2$.

Figur 8 viser banen for enkelte partikler som starter utenfor sadelpunktet bereknet av Størmer for energien $E = 0,10662$. Her er fire baner som starter med $\rho = 3,5$ horisontalt mot dipolen, dvs. $\dot{z} = 0$, og med fire ulike verdier av avstanden til ekvatorplanet, z. Verdien av $\dot{\rho}$ følger fra de fire oppgitte verdiene. Den banen partikkelen følger før den til slutt forsvinner ut igjen varierer mye med startpunktet. Denne variasjonen av banen med startpunktet er det vi er interessert i å studere.

Om vi velger en energi mindre enn ca $0,08$, men større enn $E = 1/32 = 0,03125$, vil banens avhengighet av startpunktet gi en fraktal[11]. Vi kan illustrere dette ved å starte baner ved $\rho_0 = 3,5$, $\dot{z} = 0$ og en verdi z_0, og så finne verdien z_1 når partikkelen returnerer til $\rho_0 = 3,5$. Figur 9 viser z_1 som funksjon av z_0 for energien $E = 0,05$. Figurene 9 b), c) og d), er forsørrelser av z_0-aksen i figur 9 a), og i figur 9 d) varierer z_0 i et intervall på 10^{-7}. Vi ser at i alle figurene har vi samme type struktur: intervaller der z_1 er en glatt funksjon av z_0 avbrutt av en mengde singulære punkter. Denne strukturen er uavhengig av hvilken skala vi ser på. Hvis vi glemmer å skrive z_0 verdiene på den horisontale aksen, er det umulig å gjette om z_0 varierer i et intervall på 1 eller 10^{-10}.

Det er de singulære punktene som utgjør en Cantormengde i dette systemet. De singulære punktene er de banene som blir fanget i systemet og aldri slipper ut. Hvis vi ser på tiden det tar før partikkelen kommer ut igjen som funksjon av z_0, har denne tiden en liknende fraktal struktur som z_1 der tiden går mot ∞ for alle singulære punkter.

Vi kan kvalitativt forstå dette systemet om vi tenker

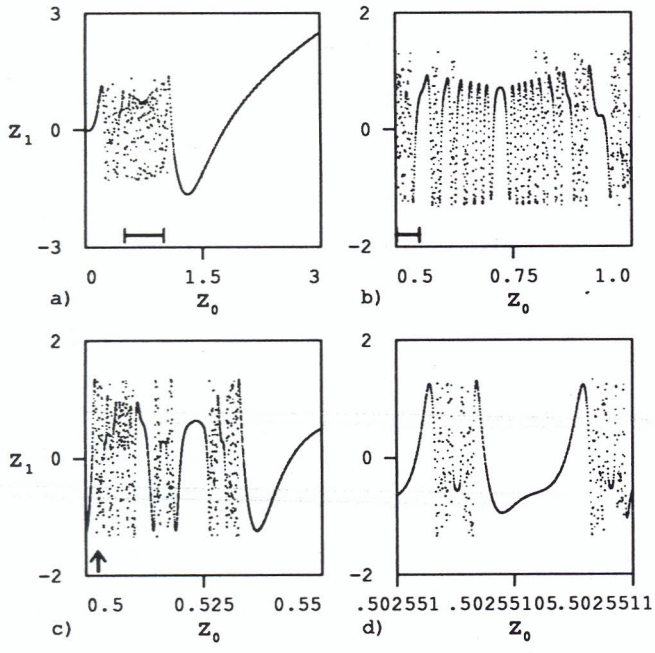


Fig.9. Koordinaten z_1 som banen har når den krysser linja $\rho = 3,5$ på vei vekk fra magneten, som funksjon av startpunktet z_0. Alle banene starter med $\rho_0 = 3,5$, $\dot{z}_0 = 0$ og $E = 0,05$ i retning mot magneten.

oss at den ladde partikkelen er en kule som triller i et landskap gitt av potensialet V i figur 2. For en passende energi, vil kulen se tre "fjell": ett i retning av dipolen, og ett på hver side av sadelpunktet. Vi kan så forenkle dette til et system med en liten biljardkule som triller på et biljardbord og støter mot tre store sylindere som står fast på biljardbordet i hvert sitt hjørne av en likesidet trekant. Vi tar så vekk kantene på bordet slik at kulen faller ned på gulvet om den triller ut til kanten. Dette systemet kalles 3-disk systemet, og er mye studert i kaos-forskningen.

I figur 10 a) ser vi 3-disk systemet og baner ut fra et punkt på en disk (en sylinder eller sirkelskive). Når vi varierer vinkelen på den utgående banen, vil vi for endel vinkler treffe en av de andre to diskene. Vi ser at det er to intervaller av vinkler som fører til at kulen kolliderer med en ny disk, og disse intervallene er illustrert med to linjer øverst i figur 10 b). Av de vinklene som fører til én kollisjon, er det noen som fører til at kulen kolliderer en gang til med en disk. Dette er to mindre intervaller inne i hver av de to opprinnelige intervallene. Disse fire intervallene er illustrert i den andre linja i figur 10 b). Om vi finner de vinklene som fører til at kulen kolliderer minst tre ganger med en disk, får vi 8 intervaller som i den tredje linja i figur 10 b). Når vi gjentar dette uendelig mange ganger, får vi de vinklene som fører til at kulen vil kollidere med disker for all framtid, og dette er de singulære punktene vi er interessert i. I dette eksemplet

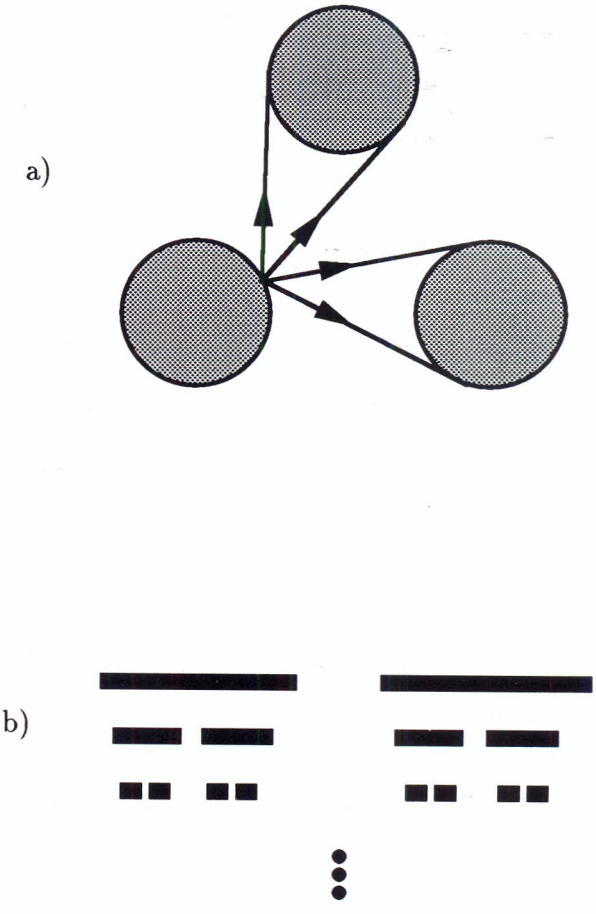


Fig.10. Biljard-systemet med 3 disker. I b) er det skissert opp konstruksjonen av en Cantor-mengde som er de vinklene i a) slik at en partikkel aldri slipper vekk fra systemet.

får vi en eksakt binær Cantor-mengde som er det enkleste eksemplet på en fraktal. Denne Cantor-mengden er sjølsimilær; og uansett hvor mye vi forstørrer den, vil vi se den samme strukturen.

Dette 3-disk systemet kan studeres på datamaskin; klassiske eksperimenter kan gjøres med en laser og speil eller med et flipperspill, og kvantemekaniske eksperimenter utføres med halvledere og mikrobølger.

Hvis energien for Størmers problem er større enn ca $0,08$, er systemet så åpent at partikkelen ikke lenger ser tre fjell som den kan bevege seg fram og tilbake mellom, og vi har ikke noen fraktal struktur i spredningen. Det er fortsatt en ganske komplisert struktur, men vi vil ikke lenger kalle det et kaotisk system.

Dette eksemplet viser litt av hvordan moderne kaosteori kan gi ny forståelse av et gammelt problem. Kaosteori blir oftest presentert ved å beskrive en modell som er valgt mer på grunn av matematisk enkelhet enn på grunn av fysisk intuisjon. Her ser vi at når man først behersker teknikkene for de enkle kaotiske systemene, er det relativt enkelt å beskrive et mer komplekst system.

For å studere det opprinnelige nordlysproblemet, er Størmers formulering litt for enkel. På grunn av solvinden er magnetfeltet ikke symmetrisk om jorden, og de ladde partiklene beveger seg i et plasma. Noe mer realistiske modeller[12] gir kvalitativt de samme resultater som vi har sett for Størmers problem; de bundne banene er en blanding av kaostiske og regulære baner. Metodene fra kaos-forskningen har gitt bedre forståelse av partikkelbevegelsene omkring jorden, men det gjenstår å beregne målbare resultater fra realistiske kaostiske modeller og sammenlikne disse med observasjoner[12].

Referanser

1. James Gleick: *Chaos: making a new science.* Viking, New York (1987)

   I dansk oversettelse: *Kaos, en ny videnskabs tilbliven.* Munksgaard (1989)

   Tomas Bohr: *Bevægelsens Uberegnelige Skønhed. Om kaos.* Gyldendal (Intro), Danmark (1992)

2. Carl Størmer: Comptes Rendus, **142,** 1580 (1906); **143,** 140, 408, and 460 (1906)

   Archiv for Mathematik og Naturvidenskab, **B 28, nr. 2,** 3 (1906)

   Arch. Sci. Phys. Nat., 4 period, **24,** 5, 113, 221, and 317 (1907)

   The Polar Aurora, Oxford Univerity Press (1955)

3. E. Atlee Jackson: *Privat samtale* (1991)

4. H. Poincaré: *Remarques sur une expérience de M. Birkeland.* Comptes Rendus, **123,** 530 (1896)

5. A.J. Lichtenber and M.A. Lieberman: *Regular and stocastic Motion,* Springer-Verlag, Heidelberg (1983)

6. J. Feder: *Fractals.* Plenum, New York (1988)

7. J. Frøyland: *Introduction to Chaos and Coherence.* Institute of Physics Publishing, Bristol (1992)

8. M. Braun: J. Differential Equations, **8,** 294 (1970)

9. G. Contopoulos and L. Vlahos: J. Math. Phys., **16,** 1469 (1975)

10. A.J. Dragt and J.M. Finn: J. Geophys. Res., **81,** 2327 (1976)

11. C. Jung and H.-J. Scholz: J. Phys. A, **21,** 2301 (1988)

12. P.B. Dusenbery, R.F. Martin, and G.R. Burkhardt: Chaos, **2,** 427 (1992)

∞

Nye miljøvennlige batterityper

*O. Steinsvoll * og A. Mæland * **

Substitusjonsprinsippet slår etterhvert igjennom innen miljøforhold. Det går ut på at dersom det fins like gode produkter som er mindre skadelige og forurensende enn de som er i bruk, skal de gamle snarest erstattes av de nye produktene. Metallhydrider er viktige bestanddeler i de nye, "grønne" batteritypene og de er også et mulig lagringsmedium dersom vi vil bruke hydrogengass som energibærer i Norge. Vi ser på den historiske utviklinga av primær- og sekundærbatterier fram til metallhydrid–nikkel sekundærbatterier og går gjennom kjemien som ligger bak virkemåten av dem.

*Institutt for energiteknikk, Kjeller.

I denne artiklen vil vi holde oss til de fysikalsk-kjemiske konvensjoner som gjelder redoks-prosesser. Det er greit å rydde opp i noen fallgruber som er lette å falle i dersom en leser utenlandsk faglitteratur om emnet og ikke er orientert. I en oksidasjonsprosess mister en atomgruppe en eller flere elektroner, mens ved en reduksjonprosess tilføres en atomgruppe elektroner. Det vi kaller et elektrisk element kalles for en celle. Cellen er sammensatt av to halvceller. De består hver for seg av et metall eller et kjemisk stoff som elektrode senket ned i en elektrolytt. Ved en spontan prosess i en separat halvcelle vil f.eks. positive metall-ioner sendes ut i løsningen til en viss grad.

Når to halvceller med hver sine løsningsreaksjoner settes sammen, f.eks. med felles elektrolytt, og blir en del av en ytre lukket krets, går det en strøm av elektroner fra den ene elektroden til den andre. Den elektroden der det foregår en oksidasjonsprosess kalles anoden. Den blir altså den negative polen i cellen. Ved den andre elektroden må det foregå en reduksjonsprosess; den kalles katoden og blir den positive polen. Flere seriekoplete celler utgjør et batteri. Strømmen kan utføre arbeid eller utvikle varme. Energien til dette kommer fra den kjemiske energien som ligger i cellens bestanddeler. Elektriske celler er ganske effektive innretninger til å omgjøre kjemisk energi til elektrisitet (eller arbeid). I de beste tilfellene fås ca. 60% virkningsgrad, altså langt bedre enn f.eks. forbrenningsmotoren der virkningsgraden ligger på maksimalt 40%. Vi vil skrive reaksjonslikningene slik at en spontan reaksjon, altså utladning, skjer mot høyre.

I våre dager er vi godt vant med kompakte, transportable energikilder som kan brukes i samband med radioer, kassettspillere, datamaskiner, leketøy osv. Disse batteriene er med tida blitt mindre og mindre, med større energiinnhold og lengre levetid. De er av to typer: oppladbare batterier, (akkumulatorer, eller i fagspråket sekundærbatterier) og de som bare virker en gang, primærbatterier. I det første tilfellet kan den aktive innmaten i batteriet bli regenerert ved oppladning slik at det kan brukes gjentatte ganger; i det andre tilfellet fortærer den kjemiske reaksjonen etterhvert innmaten.

Fra voltasøyle til tørrelementer

La oss se litt på den historiske utviklinga. På slutten av 1700-tallet laget A. Volta et batteri som besto av en seriekopling av celler av 2 metaller (sink og sølv) atskilt av et porøst papir gjennomtrukket av en elektrolytt (en saltoppløsning). Cellene var stablet oppå hverandre til en søyle. Mellom topplata og bunnplata ble det en spenning som økte med antall platepar i søyla, se figur 1.

La oss se på reaksjonen i hver halvcelle:

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^-$$
$$e^- + Ag^+ \rightarrow Ag$$

Den totale kjemiske reaksjonen som produserer strøm i voltasøylen er derfor:

$$Zn + 2Ag^+ \rightarrow Zn^{+2} + 2Ag$$

Her oksiderer metallet sink og metallet sølv reduseres. Sink-elektroden blir negativ, og etter vår konvensjon

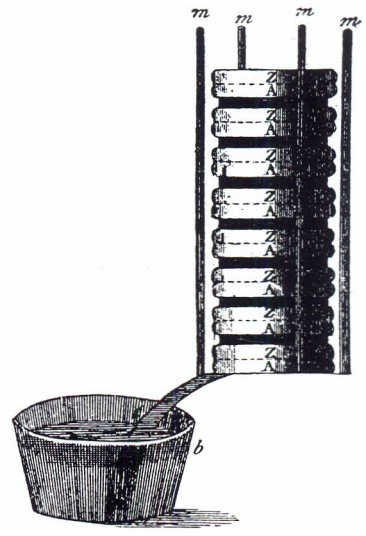


Fig.1. En voltasøyle. A betyr sølv (Ag) og Z betyr sink (Zn). En veke fører ned i et kar med elektrolytt ved b.

blir den anoden. Sølv-elektroden blir katoden. I tilfellet ovenfor avgir sinkelektroden elektroner som ledes gjennom en utvendig ledning til sølv-elektroden. Spenninga mellom elektrodene finner vi fra spenningsrekka:

$$\epsilon_0^{Zn} + \epsilon_0^{Ag} = 0.7618 + 0.7996 = 1.5614 \text{ Volt}$$

Dette primær-batteriet revolusjonerte fysikken fordi en med dette fikk tilgang til en stabil og forholdsvis sterk elektrisk strøm som kunne brukes til eksperimenter. Før dette hadde en stort sett vært henvist til forsøk med statisk elektrisitet. I begynnelsen av 1800-tallet kom derfor nye oppdagelser innafor elektrisitet og magnetisme på rad og rekke.

Rundt 1860 ble **blyakkumulatoren** oppfunnet av G. Planté. Denne cellen kunne lades og utlades mange ganger, men trengte primærbatterier av voltatypen for oppladning. Dette er grunnen til betegnelsen sekundærbatteri. Den ene elektroden er metallisk bly, mens den andre er laget av blyoksid. Elektrolytten er svovelsyre. Blyakkumulatorer er enda i bruk i biler og andre fartøyer i luft og i vann, se figur 2. Den totale reaksjonslikninga kan skrives:

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O$$

Blyelektroden oksideres og blir den negative anoden ved utladning. Ved oppladning gjelder pila mot venstre. Da må den samme elektroden reduseres til bly igjen. Under denne prosessen kalles den derfor for katoden.

Litt seinere kom **tørrelementet**, oppfunnet av G. Leclanché med sinkmetall (Zn) som anode, brunstein (MnO_2) som katode og ammoniumklorid (NH_4Cl) som elektrolytt. Den elektriske kontakten med brunsteinen formidles av en elektrisk ledende kullstav, se

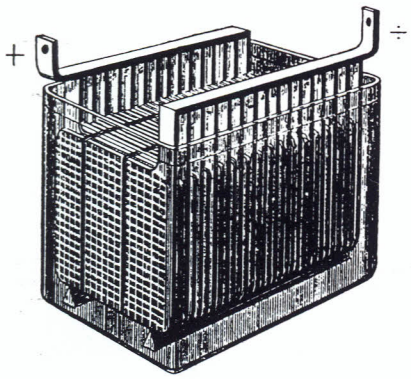


Fig.2. Gaston Plantés sekundærcelle. Plater av bly (Pb) og blyoksid (PbO_2) står etter hverandre i et kar med svovelsyre (H_2SO_4). Ved full ladning er spenninga mellom cellepolene 2.5 Volt, men synker ved utladning mot 2 Volt.

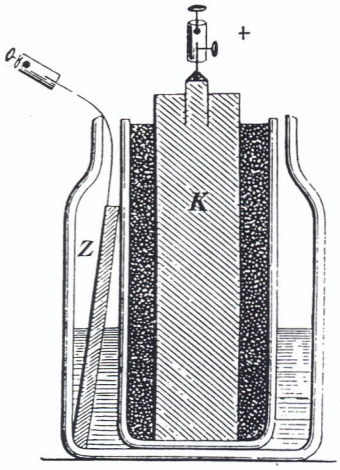


Fig.3. Leclanchés primærcelle. Z er ei sinkstang (Zn) som står i en oppløsning av ammoniumklorid (NH_4Cl). K er en stav av karbon (C) som er omgitt av pulverisert brunstein (MnO_2) i en porøs leirsylinder nedsenket i oppløsningen.

figur 3. En moderne form av tørrelementet er de vanlige stavformete lommelyktelementene. Den elektriske energien kommer fra metallet sink som oksideres og brunsteinen som reduseres. Den totale reaksjonslikninga kan skrives:

$$Zn + 2NH_4^+ + 2MnO_2 \rightarrow$$
$$Zn(NH_3)_2^{+2} + Mn_2O_3 + H_2O$$

Sink-elektroden oksideres ved utladning, blir negativ pol og kalles anoden.

Andre akkumulatortyper

Rundt 1900 utviklet Jungner en ny type akkumulatorer der metallene nikkel (Ni) og kadmium (Cd) inngikk i elektrode-materialene, og kaliumhydroksid (KOH) var elektrolytt. T.A. Edison utviklet samtidig en tilsvarende akkumulator der nikkel var erstattet av jern (Fe). Ni/Cd-akkumulatorer i moderne utførelse har svært gode egenskaper ved lave temperaturer, og de kan forsegles hermetisk i motsetning til blyakkumulatorene. De er derfor midt i blinken for små elektrisk drevne bruksgjenstander som skrutrekkere, bor, barbermaskiner, portable datamaskiner osv. Den totale reaksjonslikninga for denne typen sekundærbatteri er:

$$2NiOOH + Cd + 2H_2O \rightleftharpoons 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$$

Kadmiumelektroden blir oksidert ved utladning, blir den negative pol, og kalles anoden. Ved oppladning bytter igjen elektroden(e) navn.

Overraskende magnetforsking

Kadmium er et giftig tungmetall, og undersøkelser har vist at opp til 10% av befolkningen i de industrialiserte land har en kadmiumkonsentrasjon i kroppen som er like oppunder det kritiske nivået. Derfor har en de siste åra prøvd å samle inn slike sekundærbatterier etter bruk for å unngå forurensing av naturen. Aller helst har en ønsket å kunne erstatte kadmium som elektrodemateriale, og industrien har satset mye forsking på dette formålet. En mulig utvei er å bruke en såkalt hydrogenelektrode av en eller annen sort. En klassisk hydrogenelektrode fås ved å la hydrogengass strømme forbi en platina-elektrode i en elektrolytt, men det er en lite praktisk metode i et transportabelt batteri.

Det skulle vise seg at en fikk hjelp fra et helt uventet felt innen fysikken, nemlig fra forskinga på **permanente magneter** (PM). Hendelsen er et typisk eksempel på det en kaller "spin off" fra ett forskingsområde til et annet. En hadde funnet at bestemte metalliske forbindelser mellom noen sjeldne jordarts elementer (RE) og elementet kobolt (Co) kunne gi uvanlig sterke permanente magneter (RE PM). Disse kom på markedet i midten av '70-åra, og de er etterhvert blitt forbedret ytterligere både med hensyn til energiproduktet og koersitiviteten. I moderne utførelser er disse parametrene nesten ti ganger verdiene som gjelder for de beste ferritter og Alnico-magneter. Disse magnetene har derfor slått ut de gamle magnettypene for bruk i høyttalere, høreapparater, mikromotorer osv. En prøvde også om en kunne forbedre de magnetiske egenskapene ved å tilføre metallegeringene hydrogen, og fant da at de hadde en enestående evne til å ta opp og etterpå avgi hydrogengass.

Det var den intermetalliske forbindelsen samarium - kobolt 5 ($SmCo_5$) som kom først. Samarium tilhører rekka av innskuddselementer av typen 4f ('de sjeldne jordarter', RE) i det periodiske system. Den

går fra lantan (^{57}La) til lutetium (^{71}Lu). De kjemiske egenskapene til elementet yttrium (^{39}Y) gjør at dette stoffet også regnes med. Kobolt er et innskudds-element (TM) av typen 3d. En har nå en hel rekke av permanent-magneter i ulike prisklasser med sammensetninga AB_5 på markedet. Her er A et $4f$-element og B et $3d$-element. De kalles Haucke-faser etter oppdageren hos Philips. Det er særlig modifiserte utgaver av forbindelsen lantan–nikkel 5 ($LaNi_5$) som har gode egenskaper for bruk i sekundærbatterier.

Metallhydrid–nikkel batterier

En stor del av forskinga innafor metallisk lagring av hydrogen for tida foregår derfor på akkumulator-området. På "*International Symposium on Metal-Hydrogen Systems*" i Uppsala, sommeren '92, dreiet over halvparten av foredrag og andre innlegg seg om hydrogen batterier. De kjemiske reaksjonene ved de to halvcellene, katoden $(+)$ og anoden $(-)$ kan skrives:

$$(+)\quad NiOOH + H_2O + e^- \rightleftharpoons Ni(OH)_2 + OH^-$$
$$(-)\quad AB_5H_x + OH^- \rightleftharpoons AB_5 + H_2O + e^-$$

Vi ser at nikkel blir redusert under utladning og blir den positive pol som mottar elektroner fra den negative metall-hydrid elektroden gjennom en ytre ledning. Totallikninga for den reversible redoks-prosessen blir derfor:

$$NiOOH + AB_5H_x \rightleftharpoons Ni(OH)_2 + AB_5$$

I figur 4, har vi laget en skjematisk tegning av en metallhydrid–nikkel celle. Figur 5 viser et snitt av en virkelig sekundær-celle av størrelse AA.

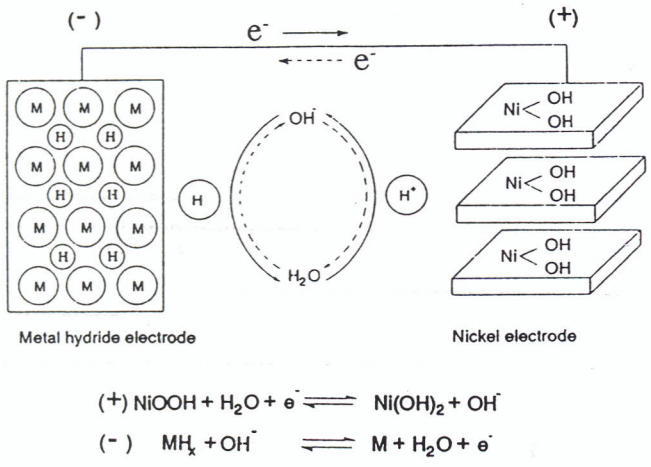


Fig.4. Skjematisk framstilling av en metallhydrid–nikkel celle. Den består fysisk av plater av vekselvis metallhydrid (MH) og nikkelhydroksid med kaliumhydroksid (KOH) som elektrolytt mellom dem.

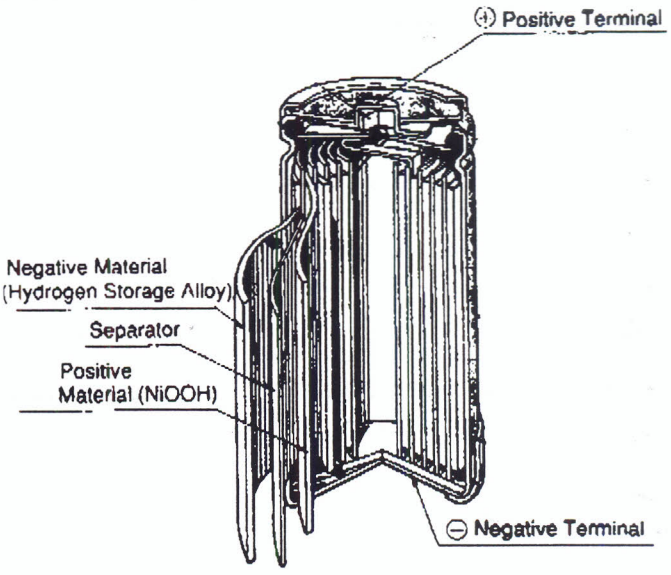


Fig.5. En "åpnet" sekundærcelle av typen metallhydrid–nikkel. Metallhylsa utapå står i forbindelse med metallhydrid-platene inne i cella $(-)$. Sentralelektroden er forbundet med nikkelhydroksid-platene $(+)$.

Oppladbare batterier av denne typen er nå også til salgs i Norge. Store japanske og amerikanske konsern har kastet seg over fabrikasjonen av disse batteriene. Det ble fortalt at ett japansk konsern nå har en produksjon på 2 millioner batterier i AA-størrelsen i måneden, og de så for seg en produksjons- og salgskurve som gikk rett til værs! Allerede nå er egenskapene til disse "grønne" batteriene bedre enn dem de erstatter, både når det gjelder energitetthet, kapasitet og levetid. En kan lade og utlade et slikt sekundærbatteri opp til ca. 600 ganger uten at ladningsevnen avtar, og det har heller ikke de ubehagelige memory-effektene som et Ni/Cd-batteri har. På den annen side, har de nye batteriene framleis "barnesykdommer", slik som høy indre motstand, begrenset oppladningshastighet og en lei tendens til selvutladning under oppbevaring. En bør derfor bruke "ferske", nyladde batterier.

En har funnet andre intermetalliske forbindelser som har noenlunde samme evne til å ta opp hydrogen, bl.a. modifiserte utgaver av typen AB_2. De er i hovedsak såkalte "Laves faser", men har multifase-karakter. Metallene som inngår er vanadium (V), titan (Ti), zirkonium (Zr) og nikkel (Ni). I batterier fra det amerikanske firmaet Ovonics er det brukt denne legeringen. Det er både de fysiske egenskapene og de økonomiske forhold som avgjør valget av forbindelser, og de sjeldne jordarts-metallene er dyre i innkjøp. En har derfor også undersøkt egenskapene til såkalt "Mischmetal" som elektrodemateriale. Det er en billig råvare der en ikke har innlatt seg på den dyre atskil-

lelsen av de ulike jordarts-komponentene. Det er dette metallet som brukes som gnistdanner i "lightere".

Nå er målet å komme fram til store batterier med kapasitet til framdrift av småbiler i storbyer. En unngår da både bly- og kadmium-forurensing og dessuten sølet med svovelsyre som elektrolytt i blyakkumulatorene. Når det gjelder bilbatterier for framdrift, er det mange krav som må oppfylles: høy energitetthet både i forhold til vekt og volum, høy effekt ved utladning, og lang levetid med flest mulig ladnings/utladningssykler. Dessuten må materialene ha "grønn" karakter.

I Sverige har en nå innført det såkalte substitusjonsprinsippet for den kjemiske industrien. Det betyr at dersom det fins like gode produkter som er mindre skadelige og forurensende enn de som er i bruk, skal de gamle med en gang erstattes av de nye produktene. I byene Stockholm, Gøteborg og Malmø har de lokale myndighetene allerede fra sommeren 1991 innført forbud mot å selge og bruke Ni/Cd-batterier, og et slikt forbud vil nok komme i Norge også.

Oljealderen tar snart slutt

Det er et annet langsiktig perspektiv som også spiller inn når det gjelder utviklinga av nye, mer effektive og miljøvennlige sekundærbatterier: Vi må se i øynene at den tida nærmer seg da de flytende fossile energiressursene tar slutt. I form av bensin og dieselolje er de lette å transportere og har stor energitetthet. En liter bensin kan gi 11 kWh energi i form av varme. 30-40% av denne energien kan tas ut som mekanisk arbeid til framdrift av en bil. Et vanlig bilbatteri inneholder fullt oppladd bare 0.1 kWh elektrisk energi per liter. Et framtidig globalt industrisamfunn må pga. vansker med drivhuseffekten, sannsynligvis basere seg på kjernekraft (fisjon eller fusjon?) som grunnkraft, og kanskje solenergi som utfylling ved toppbelastning om sommeren. Men solenergi, enten fra solceller eller vindmøller, er avhengig av vekslende vær- og dag/natt forhold. En har derfor bruk for innretninger som kan lagre elektrisk energi for utjamningsformål. I framtida vil en sikkert kunne lagre mye energi i magnetfeltet til store superledende solenoider, i store roterende svinghjul osv. Det vil likevel være de kjemiske lagringsmetodene i sekundærbatterier som sannsynligvis må ta støyten i første omgang, både når det gjelder framdrift av småbiler og i elektriske nett. En annen måte å lagre energi på, ville være å bruke overskuddskrafta i nettet til å spalte vann og ta vare på hydrogengassen for framdriftsformål.

Metallhydrid forsking

Over hele verden foregår det en utstrakt forsking på bruk av hydrogengass som miljøvennlig energibærer. Forskinga skjøt særlig fart etter energikrisa i begynnelsen av '70-åra, men er også en følge av de store lokale miljøproblemene som trafikken skaper i storbyene. I Norge er det et prosjekt i gang for å utrede bruk av hydrogen som drivstoff i busser. Norsk Hydro brenner av store mengder hydrogengass i Grenlandsområdet som kanskje kunne nyttes til noe bedre. Problemet er oppbevaring og transport av store mengder hydrogen. En kan oppbevare flytende hydrogen i nedkjølt form (kokepunkt 21 K), men problemene med flytende gass er store. Som vi har sett ovenfor, har noen metaller en enestående evne til å ta opp og avgi hydrogen; hydrogenatomene i metallhydrider ligger faktisk tettere sammen enn i flytende hydrogen, ja i mange tilfeller tettere enn i fast hydrogen. I titanhydrid (TiH_2) f.eks. ligger hydrogenatomene nesten dobbelt så tett!

Hydrogenforskinga i Norge har lange tradisjoner. Allerede i 1955 begynte vår kollega, nå avdøde Arne F. Andresen, å benytte nøytronspredning til å bestemme strukturen av kopper-hydrid i samarbeid med professor J.A. Goedkoop. Seinere er det foretatt strukturbestemmelser av et stort antall metalliske hydrider ved Kjellerreaktoren. A.F. Andresen organiserte også det første internasjonale symposium om metallhydrider på Geilo i 1977, og var i mange år med i det internasjonale samarbeidet innen fagfeltet. Metallhydrid-møtet i Uppsala 1992, ble derfor tilegnet minnet om han.

IFEs avdeling for grunnforsking i fysikk håper å kunne opprettholde de gode tradisjonene, og har startet et prosjekt for å bestemme struktur og lagringsevne til diverse metallhydrider – til dels metaller som produseres i Norge. En doktorgrads stipendiat er allerede i gang. Hvilke 'smutthull' inne i metallegeringer er det som kan ta opp og binde hydrogenatomer? Hvordan skal en behandle metalloverflater for å gjøre dem lett gjennomtrengelige for hydrogen? De nye grønne batteriene er typiske eksempler på hva som kan komme ut av slik forsking.

Litteratur

1. Manassen, J.: *A new role of rechargeable batteries.* Endeavour **16,** 164 (1992)

2. Ovshinsky, S.R., M.A. Fetchenko, and J. Ross: *A nickel metal hydride battery for electric vehicles.* Science **260,** 176 (1993)

3. Rundquist S. and D. Noreus: "Proc. International Symposium on Metal-Hydrogen Systems. Fundamentals and Applications. Uppsala, Sweden, 8–12. June 1992." Uppsala University, Dept. Inorg. Chemistry (1992)

4. Strnat, K.J. and R.M.W. Strnat: *Rare earth–cobolt permanent magnets.* J. Mag. Mat. **100,** 38 (1991)

5. Wolsky S.P and I. Marincic: "Proc. Fourth International Rechargeable Battery Seminar, 2–4. March 1992. Deerfield Beach, Florida." Shawmco, Tulsa (1992)

∞

Konferanse

Fraktale vekstprosessar

I tida 22.–26. februar 1993, blei det arrangert ein arbeidskonferanse ('workshop') i Oslo, der temaet var fysiske prosessar som genererer komplekse strukturar i tid og rom. Torstein Jøssang og Jens Feder frå Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, sto som initiativtakarar, og konferansen blei arrangert i tilknytning til det nye 'Senter for Høgare Studier'. Det deltok om lag ti inviterte foredragshaldarar frå utlandet, ti deltakarar frå norsk industri og forskingsinstitutt, forutan studentar og tilsette ved Universitetet i Oslo. Talet og samansetjinga av deltakarar viste seg å vera heldig; det var lett for alle å skaffa seg oversikt, og foredraga blei stadig avbrotne av diskusjonar med høg 'temperatur'. Mange sette pris på at ein kunne gå litt djupare med forskjellige spørsmål i plenum. Her kunne ein frå salen be om å få lagt på eigne transparentar for å utvikla ein synsmåte – midt i ein annan sitt foredrag. Til ei viss grad lukkast det og å få til ei veksling mellom grunnleggjande og teknologiske problemstillingar.

Nedanfor er nokre spørsmål som blei tatt opp i enkelte av foredraga refererte. Det er naturleg å dela foredraga i fire hovudområde, sjølv om parallellane mellom prosessane er mange.

Granulære medium

Hans Herrmann, som leier tungreknesenteret i Jülich, heldt eit engasjerande oversiktsforedrag om granulære medium, dvs. aggregat av partiklar som bare vekselverkar ved kontakt (sand i røyr, korn i silo etc.). Pakningar i ro viser overraskande eigenskapar t.d. i romleg fordeling av kontaktkrefter og lydforplanting. Men den fornya interessa for desse systema er ikkje minst knytt til deira 'væskeliknande' oppførsel under tyngdedriven strøyming eller vibrasjon. Det blir observert fenomen som tettleiks-bølgjer og konveksjon. Teoretisk arbeid baserer seg i stor grad på molekylærdynamikk-simuleringar.

Eit slåande fenomen i aggregat med fleire partikkelstorleikar, er segregering ('müsli-effekten') t.d. ved risting – store partiklar vil bli transporterte til toppen av pakninga (müsli-pakken). Daniel Bideau (Rennes, Frankrike) viste video-opptak av fleire eksperiment der dette blir studert. Blant anna har dei konstruert eit 'blåsebord' der små skiver flyt på luftputer i eit horisontalt plan. Gjennom ein serie kollisjonar, segregerer ein 'gass' av to skivestørrelsar ut i område (domene) av den eine storleiken.

Paul Meakin (i år i Oslo) tok for seg simuleringar der jamstore skiver blir tilfeldig deponert. Det viser seg at pakningsfeil forflyttar seg og annihilerer parvis i denne modellen ettersom stadig nye lag blir avsette, og ei perfekt pakning blir etter kvart bygd opp.

Porøse medium

Jens Feder, Geri Wagner, Aleksandar Birovljev og Vidar Frette (Oslo) fortalde om eksperiment og simuleringar av fleir-fase strøyming i porøse medium. Spesielt blei tilfelle der ei væske sakte blir pumpa inn i eit medium metta med ei væske av annan tettleik drøfta. Konkurransen mellom den 'frosne' uordenen i mediet og det globale tyngdefeltet gir opphav til strukturar med komplisert geometri.

Daniel Rothman (MIT) gav ei innføring i gittergass-simuleringar. Dette er ein klasse cellulære automatar som etterliknar væskestrøyming, og gir korrekt hydrodynamikk i vilkårleg kompliserte geometriar. Ein lar partiklar bevega seg med konstant fart på eit gitter, og bli spreidde etter bestemte reglar ved kollisjonar.

Eirik Grude Flekkøy (Oslo) fortalde om ei vidareutvikling som gjer det mogeleg å modellera dispersjon, spreiing av t.d. farge-molekyl under strøyming. Dette blir brukt til å studera dispersjon nær eit stagnasjonspunkt ved detaljert samanlikning med eksperimentelle resultat.

Amnon Aharony (Tel Aviv og Oslo) fortalde om bruk av renormalisering i evaluering av geometrien til oljefelt.

Landskap og elvar

Røffe overflater finst overalt i naturen, og dei er gjerne danna ved nedbrytingsprosessar som korrosjon og oppsprekking. Karakterisering av overflater, geologiske formasjonar og elvesystem, og metodar for å danna

'natur-like' strukturar på reknemaskin ved hjelp av enkle reglar, blei drøfta. I løpet av dei siste åra er det blitt vist at fraktal geometri er eit godt verktøy i ei slik karakterisering.

Torstein Jøssang (Oslo) fortalde om eksperiment med punkt-korrosjon. Det viser seg at korrosjonsangrepa si fordeling og utvikling i tid skalerer.

Joachim Krug (Jülich) tok opp utviklinga av røffe overflater danna ved lokale vekstmodellar. Men i staden for å sjå på overflategeometri direkte, tok han utganspunkt i 'trea' som deponeringshistoriene dannar. Prosessen kan forståast som ei optimalisering i 'skogen av tre'. Eit viktig spørsmål er korleis ein slik lokal algoritme kan føra til optimalisering.

Don Turcotte (Cornell) drøfta omfattande målingar av elveflommar i store amerikanske elvesystem. Her kan ein spørja etter talet (per år) av flommar som er større enn ein gitt verdi, og funksjonsavhengigheten når denne verdien blir endra. Tao Sun (Oslo) viste korleis ein numerisk kan generera realistiske elvenett bare frå minimalisering av energitapet ved vatn-strøyminga. Eit døme på eit slikt elvenett er vist i figuren.

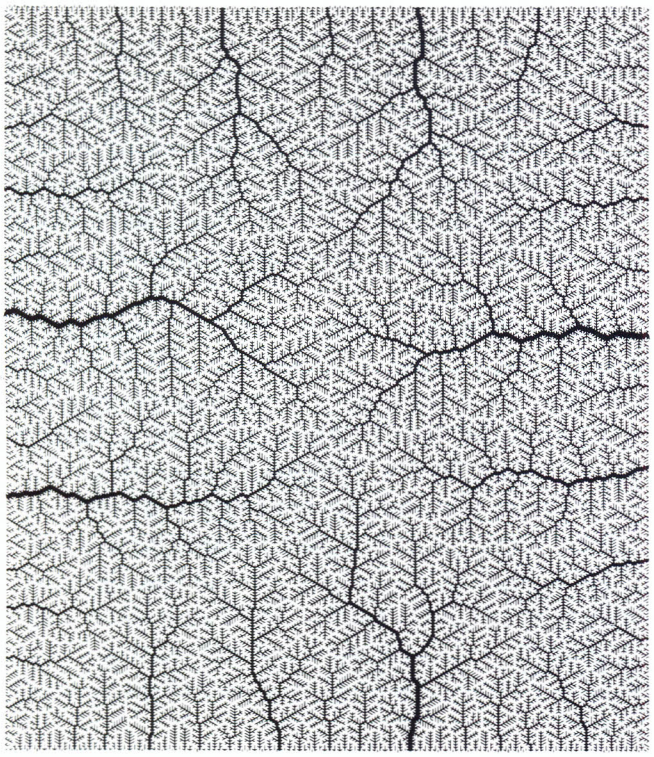


Fig.1. Elvenettet i denne figuren er danna ved hjelp av ei enkel reknemaskins-algoritme. Ei flate utan struktur får jamt fordelt nedbør. Flata har opphaveleg eit heil tilfeldig valt elvenett som leier vatnet ut. I dette nettet blir så tilfeldig valde greiner kopla om på ein slik måte at det totale energi-tapet blir minimalisert. Markerte vidder gir eit mål for strøymings-raten.

Finn Boger (Oslo) fortalde om algoritmar for numerisk konstruksjon av landskap. Vidare demonstrerte han at desse kunstige landskapa må utsetjast for nedbrytingsprosessar som erosjon før dei blir naturtru. Slike modifikasjonar fører til at symmetrien som landskapa hadde ved vertikal inversjon blir broten.

Sjølv-organisering

Per Bak (Brookhaven, USA) gav ei innføring i 'sjølv-organisert kritikalitet' – eit omgrep han sjølv har formulert. Målet er å forstå drivne system, dvs. system som det går ein energi-fluks gjennom. Tanken er at dissipasjons-dynamikken i seg sjølv fører systemet inn i ein 'kritisk' tilstand. Under workshop'en blei særleg tidsutviklinga til sjølv-organiserte system livleg diskutert.

Desse omgrepa har vore brukte på mange ulike fysiske system. Didier Sornette (Nice) diskuterte i denne samanhangen jordskorpedynamikk og jordskjelv. Han understreka at skjelv, sprekkvekst og skorpedeformasjonar skjer på svært forskjellige tidsskalaer og ved ulike mekanismar.

Joachim Krug (Jülich) drøfta nokre av dei såkalla sandhaug-modellane. Her ser ein på ein sandhaug der nye sandkorn sakte blir dryssa på. Sandhaugen når ei bestemt helling (kritisk tilstand) der tapet i potensiell energi skjer ved små og store ras med ei bestemt fordeling (kritisk respons). Krüg har arbeidd med ein klasse numeriske modellar der responsen er styrt av lokale reglar, men er kjenslevar for tilsynelatande små endringar av reglane. I eit forsøk på å forstå slike fenomen, har han studert modellar med ikkje-lokale perturbasjonar.

Vidar Frette

∞

Meningsytring

Norges forskningsråd – bestemt ovenfra?

I lederartikkelen i Fra Fysikkens Verden 1/93 heter det i en interessant omtale av NFR at "Høringsrunder og debatt til tross, forskningsmiljøene har i realiteten fått et 'fait accompli' ovenfra." Altså – NFR er et påtrykk fra Regjering og Storting. Dette er av flere grunner en høyst tendensiøs fremstilling.

Forskerne var med

For det første, ble forslaget om et forskningsråd lansert av et offentlig utvalg – Grøholt-utvalget – med hele

8 av 10 medlemmer engasjert innenfor forskning og utviklingsvirksomhet. For det annet gav høringsrunden betydelig oppslutning om idéen om et forskningsråd – en fusjon av de eksisterende fem. Regjeringen kunne bl.a. vise til oppslutning ved de fire universitetene og de to største forskningsrådene – NTNF og universitetsforskningsrådet NAVF.

Tvil i Storting og Regjering

Også den videre behandling av saken i Regjering og Storting kunne lett ha gitt et annet utfall hvis forskerne – eventuelt et artikulert mindretall blant dem – hadde gått mot reformforslaget. For det første er det på det rene at Regjeringen og statsråd Hernes i særdeleshet først bestemte seg mot slutten av november 1991 – altså flere måneder etter at forslaget var blitt lansert. Inntil da nektet han konsekvent å tilkjennegi sitt syn i saken – mye tyder på at han var i genuin tvil – jf. hans nyanserte og nøytrale innledning på Utredningsinstituttets konferanse på Soria Moria 23.09.1991 (jf. Rapport 14/91, NAVF-U).

For det annet, var forslaget ytterst sårbart da det kom til Stortinget våren 1992. Stortingskomitéen fattet først et vedtak om å utsette saken – den burde drøftes grundig, og studieturer til andre land foretas. Mye tyder på at komitéen var i alvorlig tvil om regjeringens forslag. Men en tilhengergruppe fra forskersiden med KrF-trioen Einar Steensnæs (formann i NAVF), Ole Danbolt Mjøs (rektor, Universitetet i Tromsø) og stortingskomitéens saksordfører Jon Lilletun, fikk loset forslaget gjennom på et avgjørende punkt – stortingsbehandlingen skulle skje samme vår. Det innebar i realiteten langt på vei at Stortinget enten måtte forkaste eller akseptere Regjeringens forslag i sin helhet. Det siste skjedde som kjent.

Quo vadis akademia?

Jeg tillater meg å spørre: Hva har skjedd med norsk akademia? Et helt sentralt forskningspolitisk spørsmål som angår alle forskere, ignoreres langt på vei av en lese- og skrivekyndig elite. De få som engasjerer seg, tar ikke i bruk det naturlige politiske instrument – dagspressen – og når det hele er over, toer man sine hender og sier at "forskningsmiljøene har i realiteten fått et 'fait accompli' ovenfra" i NFR-saken! Lederen for landets største forskningsinstitusjon, rektor Inge Lønning ved Universitetet i Oslo, karakteriserte sogar motargumentene i Grøholt-saken som "bunn reaksjonære"! (Rapport 14/91, NAVF-U, s.33.) Når ikke akademia kan føre en diskusjon – hva kan man da forvente seg av langt mer ressursfattige grupper?

Hans Skoie

∞

Bokomtaler

Paul Davies: The Mind of God. The Scientific Basis for a Rational World. Simon and Schuster, New York, 1992, $ 22.

Urmakeren og universet

Den invalide, men tapre og geniale Stephen Hawking er uten tvil vår tids mest legendariske fysiker. Da han overtok Newtons gamle lærestol ved Universitetet i Cambridge, holdt han et åpningsforedrag. Det hadde den overmodige tittelen: "Ser vi nå slutten på den teoretiske fysikken?"

Naturlovene

Vitenskapsfolkene er stort sett enige om at de regelmessighetene vi finner i naturen, og som vi kaller fysikkens lover, i beste fall bare er tilnærmelser til det mest fundamentale prinsipp som rår i kosmos. Men håpet er likevel at vitenskapen stadig vil finne bedre tilnærmelser, og til slutt vil selveste verdenslikningen bli avslørt. Hawking mente altså at det var mulig at dette faktisk kunne skje om ikke altfor lenge.

Enn videre har denne ivrige og strevsomme fysikeren også vist at selv om universet ikke er uendelig gammelt, behøver det likevel ikke ha noen grense i tiden. På merkelig vis kan tid- og romdimensjoner smelte sammen nær den fantastiske opprinnelsen. Universet er da uten grenser, men fullstendig inneholdt i seg selv. Det bare *er*. Da blir selv selve skaperen overflødig.

Ny bok

Disse vanskelige ideene blir nå inngående utdypet og drøftet i en ganske så fascinerende bok: "The Mind of God." Den er skrevet av Paul Davies, og han er selv en meget aktiv forsker innenfor områdene relativitetsteori og partikkelfysikk. Disse forskningsfeltene har nærmest gjennomløpt en eksplosjonsartet utvikling de siste tre tiår, og Paul Davies har gjort en imponerende innsats for å formidle til allmennheten. Jeg vil våge den påstand at Paul Davies har skrevet det meste av det beste i populærvitenskapen om denne vitenskapsrevolusjonen. En kan bare undres over bevisstløs norsk forlagsvirksomhet. Så vidt jeg vet foreligger ingen av bøkene til Davies i norsk oversettelse. Som seg vel hør og bør, ligger vi også her minst ett tiår etter folket på den andre siden av Kjølen.

Vitenskapsmetoden

Davies mener da at den prøvende vitenskapen virkelig kan hjelpe oss til å forstå det komplekse univers vi lever i. Vår enestående tekniske utvikling bør være bevis godt nok på at metoden er effektiv. Så blir da også en-

hver ny idé og teori underkastet en totalt ubarmhjertig undersøkelse og kritikk av det vitenskapelige samfunn. Men det er egentlig ganske uforståelig og merkverdig at vi virkelig finner orden og regelmessigheter i den natur som omgir oss. Logisk sett kunne verden like gjerne ha vært totalt kaotisk. Vitenskapen greier også å finne fram til visse mønstre i regelmessighetene, og det gjør den bare med et *begrenset* antall eksperimenter og observasjoner. Men vi kan bare skaffe oss kunnskap om verden ved dialog med naturen, og da må eksperimentene være både kvantitative og presise. Det er da vesentlig at vi kan skille mellom oss selv og resten av verden. Videre kan vi faktisk lære helheten å kjenne ved bare å studere et begrenset antall av dens enkelte deler.

På grunnlag av erfaringsmaterialet stiller så vitenskapen opp visse hypoteser om hvilke prinsipper som rår i naturen. Vitenskapen *generaliserer* altså, men derfor er også teorien nødvendigvis usikker.

Det neste skrittet er da å utarbeide konsekvensene av teorien slik at den kan testes eksperimentelt. Det mest vesentlige ved teorien er nemlig at den *forutsier* resultatene av eksperimentene. Hvis forutsigelsene da viser seg å være falske, må altså teorien forkastes, eller i beste fall modifiseres. Det er da verdt å merke seg at en teori bare kan falsifiseres, den kan aldri verifiseres. Disse naturlovene må også være *absolutte* i den forstand at de gjelder over alt og alltid. Selv om da flere forskjellige teorier kan forklare de samme fenomener, velger en alltid den *enkleste* teori; altså den som inneholder det minste antall hypoteser. Men det er ganske ufattelig at jeget som egentlig representerer en *stillstand*, kan benytte tenkningen som representerer en *prosess*, til å nå fram til kunnskap om verden utenfor som vi til og med kan uttrykke i matematikkens presise språkdrakt.

Fornuften og universet

Det eneste vi har direkte og sikker kunnskap om er våre sanseinntrykk. Men i dag har vi også kunnskap om en verden som vi slett ikke sanser direkte. Det gjelder for eksempel atomverdenen og det makroskopiske kosmos. Er det da slik at de mentale prosessene har utviklet seg sådan at de reflekterer noe av harmonien i universet? Må biologiske organismer som selv utvikler seg fra den kosmiske orden uunngåelig gjenspeile noe av denne orden i sine oppfatninger? All vitenskap baserer seg jo på at verden kan gripes og stemmer med fornuften. Men det vi observerer, er den konkrete materien og ikke de abstrakte fysikklovene. Hvordan kan vi da skille og gi lovene en uavhengig eksistens? Det er faktisk mulig at naturlovene bare er lykkelige og heldige innfall og påfunn av vitenskapen. Men den vanlige oppfatning er jo at naturlovene virkelig representerer aspekter av den reelle verden, og disse lovene prøver vitenskapen å oppdage. Dette åpne spørsmålet gjelder også den logiske matematikken. Det rår i dag ingen enighet blant matematikerne om matematikken er en oppfinnelse, eller om den har sin egen eksistens slik at vi oppdager matematikken. Noen går også så langt at de nekter å gi eksistensberettigelse til matematiske størrelser der en ikke kan oppgi en prosedyre for beregning.

Forklaring og eksistens

Vanlig vitenskap hevder å forklare verden ved å fortelle *hvordan* verden er; den forteller ikke *hvorfor* verden er. Når den prøver på det, blir årsak-virkningskjeden uendelig. Det er slett ingen forklaring å si at universet er som det er fordi det var som det var. Riktignok kan ikke universet være uendelig gammelt dersom varmelærens 2. hovedsetning er riktig. Den sier at ethvert isolert system vil bli mer og mer uordnet, mens dagligdags erfaring tilsier at det koster arbeid å holde orden. Og universet er pr. definisjon isolert. Altså ville det nå være fullstendig kaotisk hvis det var uendelig gammelt. Moderne astronomi og kosmologi har da også avslørt et univers i full utvikling. Men hvor stammer da den kosmiske orden i universet fra? Hvem er denne universelle urmakeren som trakk opp klokkene i universet? Kirkefader Augustin mente at Gud er utenfor tiden og skapte et univers med tid. Universet kan i alle fall ikke forklare sin egen *eksistens*. Det gjelder også selv om vi med moderne vitenskap definerer universet til virkelig å være altomfattende. Det skal da inneholde både materien, tiden, rommet, naturlovene og utgangstilstanden.

Dette minner om det kanskje viktigste matematiske resultatet i vårt århundre: Kurt Gødel viste at ethvert aksiomatisk system som er såpass rikt at det inneholder de tallene vi teller med alltid vil inneholde meningsfylte utsagn som det ikke er mulig å avgjøre om er sanne eller falske. Videre har en også vist at det ikke kan finnes noen allmenngyldig prosedyre til å fastslå om et utsagn er uavgjørbart. Det er altså umulig å avgjøre om et aksiomatisk system er konsistent. Når dette gjelder for de logiske systemer vi kan etablere med vår fatteevne, så må det vel også være uoppnåelig for det altomfattende universet?

Religion og fornuft

Det er kanskje slik at jo mer universet virker forståelig, desto mer virker det også formålsløst. Men er det egentlig fornuftig å lete etter et formål og en mening med selve universet?

En forståelse for universets eksistens ligger kan

hende bortenfor menneskenes rasjonelle fatteevne. Visse fysikere nevner også den mulighet at det kan eksistere flere universer uten kontakt, men med forskjellige egenskaper. En må da spørre om noe kan sies å eksistere for oss når det er umulig å observere. Vi kan ikke omforme vår uvitenhet til kunnskap, ikke en gang til kunnskap om sannsynligheten for eksistensen av det univers vi befinner oss i.

Universet bare *er*, og tar vel ingen hensyn til våre forestillinger og vår fatteevne. Eksistensielle spørsmål er så vanskelige at ingen må hevde at de *vet* svaret. Derfor utmerker de intolerante og egosentriske religioner seg egentlig ved en påfallende mangel på ærbødighet og beskjedenhet.

Denne boka til Paul Davies representerer altså en usedvanlig rik kilde til ettertanke. Jeg selv er av den oppfatning at livet bare har den betydning og mening vi selv legger i det; for jeg nyter å undre meg i dette forunderlige og vidunderlige univers.

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

Marit Pedersen

Siv.ing. Marit Pedersen fra Ski forsvarte den 28. mai avhandlingen *Biophysical studies of oscillating biological systems* for dr.scient-graden ved Universitetet i Trondheim. Oppgaven er utført ved Fysisk institutt, AVH, med professor Anders Johnsson som faglig veileder.

De fleste biologiske systemer har rytmer med perioder på ca. 24 timer – de er døgnrytmiske. Til daglig styres disse rytmene inn mot en 24-timers periode av ytre faktorer, særlig lys - mørke variasjonene. Men selv under helt konstante ytre forhold forsetter disse rytmene, og da med en periode som avviker litt fra 24 timer, ofte mellom 22 og 27 timer. I mennesket har vi slike rytmer i søvn - våkenhet, i kroppstemperaturen og i utskillelsen av forskjellige stoffer i blodet. Vi merker særlig disse rytmene i det fenomenet som kalles 'jetlag', problemet med å innordne oss til rytmene etter en lengre flyreise i østlig eller vestlig retning.

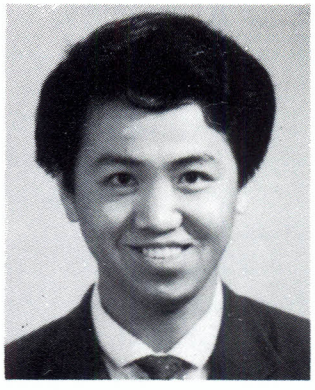
Pedersen har i sin oppgave studert døgnrytmiske bladbevegelser i en plante som er en tropisk variant av gaukesyra. En annen plante som også er blitt studert har små blader som beveger seg opp og ned med en periode på 3-4 minutter. Forskjellige typer forsøk er blitt gjort på disse to plantene for å få en bedre forståelse av hva som er mekanismene og tidgiveren ("klokka") bak denne type rytmer.

Oppgaven omfatter også et teoretisk studium og simuleringer på datamaskin av en matematisk modell for døgnrytmer. Modellen har vist seg å kunne simulere mange egenskaper ved døgnrytmer, men Pedersen viser i sin oppgave at den ikke har stabile singulariteter, noe det eksperimentelt er vist at flere døgnrytmer har.

Marit Pedersen ble utdannet sivilingeniør fra Avdeling for Fysikk og Matematikk, NTH, i 1987.

∞

Litian Wang



M.Sc. Litian Wang forsvarte den 11. februar 1993 avhandlingen *Contributions to the Theory of Surface Waves and Interfacial Waves in Elastic Anisotropic Media; Supersonic Surface Waves and Subsonic Slip Waves* for dr.scient.-graden.

Arbeidet omhandler eksistensteori for overflatebølger og grenseflatebølger i krystaller. Wang har gitt bidrag til den generelle teorien for supersoniske overflatebølger som kan utbres med høyere hastigheter enn lydhastigheten i anisotropiske media. Den sub-

soniske 'slip'-bølge som forplanter seg i grensesjiktet mellom to media med glidende kontakt er også vurdert, og Wang har forsøkt å påvise eksistensen av nye subsoniske 'slip'-bølger i enkle systemer der to like anisotropiske elastiske media med samme orientering er i glidende kontakt.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, der Wang for tiden er stipendiat.

∞

Shao Xiong Zhou

M.Sc. Shao Xiong Zhou, Fysisk institutt/AVH, Universitetet i Trondheim, forsvarte den 24. mai avhandlingen *Rare Earth-Iron-Boron Based Permanent Magnetic Materials* for dr.scient.-graden.

Zhou har i avhandlingen studert og videreutviklet en ny type magnetiske materialer. De er bygd opp av elementene jern, bor og den sjeldne jordarten neodym, og har en energi i magnetfeltet som er ca. 10 ganger så stor som i vanlige magneter (ferritter). Magnetene ble først oppdaget i 1989, og har på grunn av sitt kraftige felt fått stor oppmerksomhet internasjonalt både vitenskapelig og når de gjelder praktiske anvendelser som f.eks. i likestrømsmotorer.

Neodym-ferro-bor magnetenes termiske stabilitet ved høyere temperaturer er imidlertid ikke tilfredsstillende for flere viktige formål. Det har derfor vært et sentralt punkt i avhandlingen å studere og å forbedre egenskapene ved å modifisere utgangsmaterialets sammensetning og oppbygging på mikrometernivå. Dette er gjennomført ved at Zhou har bygd opp laboratorieutstyr for å lage nye typer magneter. Størkningshastighetene som har vært brukt ved utstøping av materialet, har variert fra konvensjonelle hastigheter til hurtigstørkning, dvs. ca. 1 million grader pr. sekund. De magnetiske egenskapene og den termiske stabiliteten er målt, og sammenhengen mellom disse egenskapene og materialenes mikrostruktur er bestemt ved studier i elektronmikroskop. I dr.gradsarbeidet har Zhou vist at magnetenes egenskaper kan forbedres ved å erstatte jern med kontrollerte tilsetninger av andre elementer som silisium, gallium eller kobolt. Han har også funnet at elementet neodym kan erstattes av kombinasjoner av sjeldne jordarter med bare mindre reduksjon av egenskaper. Bruk av slike blandinger gir billigere magneter, og dette resultatet er derfor viktig med tanke på mulige framtidige anvendelser.

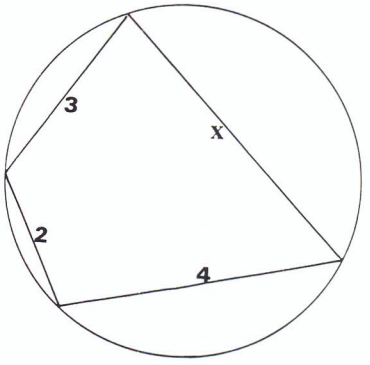
Shao Xiong Zhou er NTNF-stipendiat ved Institutt for fysikk/NTH, Universitetet i Trondheim. Hans faglærer har vært professor Ragnvald Høier.

∞

Trim i FFV

FFVT 3/93

a) Som figuren viser, er en firkant med to motstående sider av lengde 3 og 4, og de andre to sidene av lengde 2 og x, innskrevet i en sirkel med diameter lik 5. Hva er x?



b) I en av Robert A. Heinleins bøker henger (for romfartsformål) en jevntykk og uhyre sterk kabel stasjonært, fra like over et fast punkt på ekvator og oppover, uten å være festet noe sted. Hvor lang er kabelen?

Løsning FFVT 2/93

Oppgaven gikk ut på å finne sannsynligheten p for å bli sittende i ro når du er blant N fysikere som setter seg på tilfeldige plasser i et teater med $N + M$ nummererte plasser, før M matematikere kommer og gjør krav på sine plasser. En fysiker som må flytte seg går og gjør krav på sin riktige plass (og fortrenger kanskje derved en annen fysiker).

Anta at du er den siste fysikeren som setter seg

før matematikerene kommer og lager uro (Det er en uskyldig forutsetning da alle N fysikere er i en likeverdig situasjon). Du har da $M+1$ plasser å velge mellom. Jeg påstår at én av disse $M+1$ plassene vil være gunstig i den forstand at du blir sittende i ro dersom du velger den, og de andre M plassene ugunstige, slik at

$$p = \frac{1}{M+1},$$

helt uavhengig av antall fysikere!

En innser at påstanden er riktig ved å notere at hver ankomst av en matematiker må resultere i at en av de før nevnte $M+1$ plassene fylles med en person, matematiker eller fysiker (eventuelt etter en flertrinnsprosess). Ankomsten av de M matematikerne fyller altså M av de $M+1$ plassene, og det gjelder om å ha satt seg på det gjenværende sete!

∞

Tsjernobyl igjen

Kommentar til Tormod Ristes svar i FFV 2/93

Om mandatet: Det rare er at IAEA bare svarer på det som sentrale sovjetiske organer spør dem om, og ikke – som internasjonal kontrollerende og inspiserende instans – selv stiller en del spørsmål. For eksempel hvordan det har gått med de 650 000 hjelpearbeiderne.

Om dødsfall, ifølge *Tsjernosenko* (møte i Bergen februar -93): I andre halvdel av mai -86 fikk hæren i oppdrag å rense vekk det radioaktive materialer som var spredd i området. Til det bruktes 18–20 -årige soldater. Mer enn 5000 av disse er nå døde. Mellom juli -86 og januar -87 drev hæren arbeidet på taket av blokk 3 for å rense det for radioaktivt materiale, så reaktor 3 kunne settes i drift igjen. Man antar at 5–10 000 døde av dette arbeidet.

Disse tallene fra Tsjernosenko kan vanskelig forklares med fem-års mortaliteten for menn i 30-års alderen. Hva som er riktige tall, vet ikke jeg. Men det er nettopp poenget: Jeg etterlyser igjen en "assessment of" disse "radiological consequences," jfr. Tsjernobylprosjektets undertittel. Jeg håper de er igang. Tallet 28 virker foreløpig ikke tillitvekkende.

Ingerid Hiis Helstrup.

∞

Nytt fra NFS

ÅRSMELDING

Årsmeldingen omfatter perioden mellom årsmøtene 24. juni 1992 og 9. juni 1993.

Organisasjonsforhold

Styret har bestått av:

- Thormod Henriksen (Oslo), president.
- Egil Leer (Oslo), visepresident.
- Marianne Foss (Tromsø).
- Haakon Olsen (Trondheim) frem til 1/1 1993.
- Erlend Østgaard (Trondheim) fra 1/1 1993.
- Anne Grete Frodesen (Bergen).

med varamedlemmer

- Jacob Stamnes (Bergen).
- Hallstein Høgåsen (Oslo).
- Unni Pia Løvhaug (Tromsø).

Selskapets sekretær er Gerd Jarrett.

Styret har hatt fire møter i perioden: ett i Oslo, ett i Trondheim, ett i Stavanger og ett i Bergen.

Selskapet har 842 individuelle medlemmer (juni 1993), derav 28 studenter. Selskapet har tre æresmedlemmer.

NFS har følgende 7 kollektive medlemmer:
Chr. Michelsens Institutt, Laborel A.S., Norsk Hydro A.S., SINTEF, STATOIL, Simrad Optronics A/S og Aanderaa Instruments.

Årskontingenten for 1993 er kr 180 for individuelle medlemmer og kr 90 for studenter. Bidraget fra de kollektive medlemmer var i 1992 kr 18.500,-. Selskapets økonomi er god og regnskapet for 1992 er gjort opp med overskudd på kr 59.481,-.

Fra Fysikkens Verden

Selskapets tidskrift **Fra Fysikkens Verden** gis ut fire ganger i året med et opplag på 1600. For Selskapets medlemmer er abonnementet inkludert i årskontingenten.

- **Redaktører:**
  1. Øivin Holter
  2. Finn Ingebretsen
- Redaksjonssekretær: Karl Måseide
- **Redaksjonskomité:**
  1. Noralv Bjørnå
  2. Anne Grete Frodesen
  3. Ingerid Hiis Helstrup
  4. Per Chr. Hemmer
  5. Egil Leer

Tidsskriftet drives med stor grad av egeninnsats fra redaktørenes side. Det har fått en god form og stofftilgangen er tilfredsstillende. Budsjettet er på ca. kr 160 000, herav kommer ca. halvparten fra abonnentene og det er et betydelig bidrag fra NAVF.

Fysikermøtet

Fysikermøtet 1992 ble holdt i Stavanger i tiden 23. –26. juni med 105 deltagere. Per Amundsen var formann i arrangementskomitéen.

Rolf Widerøe ble viet spesiell oppmerksomhet i forbindelse med at han nylig fylte 90 år. Jan Waagen ga en kort omtale av hans innsats.

Det var faggruppen for kondenserte fasers fysikk som presenterte seg.

På den sosiale siden var det St. Hans tur til Karmøy. Vi besøkte Hydro Aluminium og hadde ellers en fin kveld i Skudeneshavn. Det var festmiddag på Monkeholmen Sommerhotell.

Selskapets årsmøte ble holdt 24. juni. Under årsmøtet ble **IBMs fysikkpris** for 1992 tildelt **Jens Feder** og **Torstein Jøssang**.

Fysikermøtet ble dyktig ledet og gikk med et overskudd på kr 22.487. Selskapets styre bevilget kr 13.850,- til student- og lektorstipend til møtet.

Faggruppene

Selskapet har følgende faggrupper (m/ledere): Akustikk (H. Hobæk), Astrofysikk (E. Østgaard), Biofysikk (A.I. Vistnes), Datafysikk og måleteknikk (T.H. Løvås), Kondenserte fasers fysikk (K.A. Chao), Generell teoretisk fysikk (P. Osland), Geofysikk og ionosfærefysikk (A. Egeland), Kjernefysikk (J. Vaagen), Optikk (J. Stamnes), Partikkelfysikk (K. Mork), Petroleumsfysikk (J. Samseth), Plasma og gassutladningsfysikk (R. Armstrong), Undervisning (L.O. Tveita) og Kontaktnett for kvinnelige fysikere (B. Lilja Bye).

Flere av gruppene har arrangert egne møter. Styret har gitt studentstipend til følgende konferanser og seminarer:

- Seminar i petroleumsfysikk, Bergen (august 1992).
- Rondablikkseminaret i Kondenserte fasers fysikk og kjemi (september 1992).
- Generell teoretisk fysikk, Utstein (oktober 1992).
- Plasmamøtet på Wadahl (februar 1993).
- Elektrooptikkmøtet på Fefor (mars 1993).
- NATO workshop (Physical signatures of magnetospheric boundary layer processes) på Sundvollen (mai 1993).
- Seminar for Kvinner i fysikk ("Klart det går"), Oslo (juni 1993).

Fysikkolympiaden

Fysikkolympiaden for skoleelever ble i 1992 arrangert i Helsinki i Finland. Norske ledere var Ingerid Hiis Helstrup og Kårmund Myklebost. Siden vi skal arrangere Fysikkolympiaden i 1996, var det med observatører i Finland.

De norske deltagere gjennomgikk et "treningskurs" på Universitetet i Oslo.

Vår deltagelse ble økonomisk støttet fra Kirkeutdannings- og forskningsdepartementet og av NAVF.

Norsk Fysikkråd

Norsk Fysisk Selskap har valgt følgende representanter til Norsk Fysikkråd: Bjørn Berre, Marianne Foss, Jan Johannessen og Thormod Henriksen.

På årsmøtet ble Jan Vaagen gjenvalgt til formann og Bjørn Berre til nestformann.

Forøvrig henvises til Norsk Fysikkråds årsmelding.

European Physical Society

Norsk Fysisk Selskap er assosiert til EPS. Dette er en ordning som sannsynligvis vil endre seg fra 1/1 1994. Det er fremmet et forslag om at de nasjonale fysiske selskaper skal slutte seg til EPS som fullverdige medlemmer. Medlemskontingenten vi nå betaler som assosierte medlemmer ("unit fee") er på 13,5 Swfr. Fra 1994 er den satt til 14,5 Swfr. For studenter vil

medlemskontingenten antagelig bli halvparten av dette (en er internasjonalt student frem til doktorgrad).

Medlemmer kan få "Europhysics News" sendt direkte til den adresse en oppgir. Ekstra omkostninger for dette er beregnet til ca. 7 Swfr.

Den foreslåtte nyordning ble prinsippielt godtatt av de aller fleste nasjonale selskaper på rådsmøtet i Nice i mars 1993. Den endelige godkjenning, samt tidspunket for når den skal begynne å virke, håper en kan bli tatt på EPS-konferansen i Firenze i september 1993.

På rådsmøtet i Aten i mars 1992 ble Eivind Osnes valgt inn i styret i EPS. Han ble gjenvalgt på rådsmøtet i Nice. Presidenten M. Jacob gikk av, og som ny president ble valgt ungareren Norbert Kroo.

IUPAP

NFS er "Nasjonalkomité" for IUPAP. Kedlemskontingenten til IUPAP, som i 1992 var på 4200 dollar, betales av Det Norske Videnskaps-Akademi. Vi har ellers ingen midler til kontakt og virksomhet i forbindelse med IUPAP. Den norske IUPAP-aktiviteten er følgelig liten. Vi har enkelte representanter (for tiden 5) som sitter i de mange faglige "Commissions" som IUPAP består av. Det er Knut Birkeland som er vice-chairman i SUNAMCO (Komité for enheter og størrelser), Rolf Stabell som er sekretær i "Commission on Astrophysics", Jens Feder som er med i "Commission on Statistical Physics", E. Lillethun som er med i "Commission on Physics for Development" og A. Krogstad som er med i "Commission on Acoustics". IUPAP skal ha generalforsamling i Japan i september 1993, og vi vil være representert ved Rolf Stabell.

Fysikkpriser

Norsk Fysisk Selskap har for tiden 3 priser i fysikk:

1. **Simrad Optronics' pris i elektro-optikk.** Prisen gis for et norsk arbeid på fagområdet elektro-optikk eller et arbeid der elektro-optiske metoder er anvendt. Prisen er på kr 15 000 og deles ut annethvert år. Den blir delt ut i 1993 for sjette gang.

2. **IBMs fysikkpris (kondenserte fasers fysikk).** IBM Norge vil hvert år i 5 år gi en pris i kondenserte fasers fysikk. Prisen er på kr 20 000 og deles ut i 1993 for tredje gang.

3. **NFS Undervisningspris.** Endelig har vi klart å få til en undervisningspris. Det er bygget opp et fond, og det er meningen at vi skal bruke avkastningen hvert annet år til en pris for fremragende arbeid i videregående skole. Fondet er for tiden på ca. kr 116 000. Den aller første pris på kr 15 000 vil bli utdelt på Fysikermøtet i 1993.

Styret takker

Styret i NFS vil rette en takk til alle tillitsvalgte i Selskapet for en fin frivillig innsats for norsk fysikk.

Styret vil rette en spesiell takk til Selskapets sekretær **Gerd Jarrett** som gjør en kjempejobb og som binder Selskapet sammen på en utmerket måte.

Blindern i juni 1993

Thormod Henriksen
(President)

∞

Erratum

Spesiell relativitetsteori og tvillingparadokset

I FFV nr. 2, 1993, har Arne Marius Raaen en kommentar til en tidligere artikkel av Øyvind Grøn om *Relativistisk tid*. I Raaens artikkel er Figur 4 dessverre blitt trykket både som Fig. 3 og Fig. 4. Vi gjengir her den riktige Figur 3 med tilhørende tekst. FFV beklager.

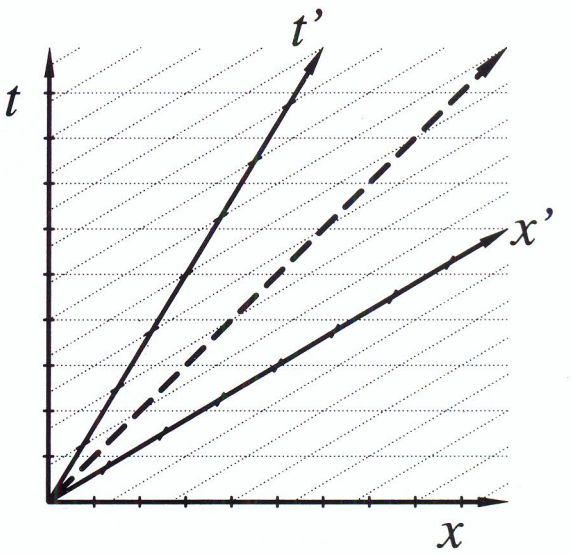
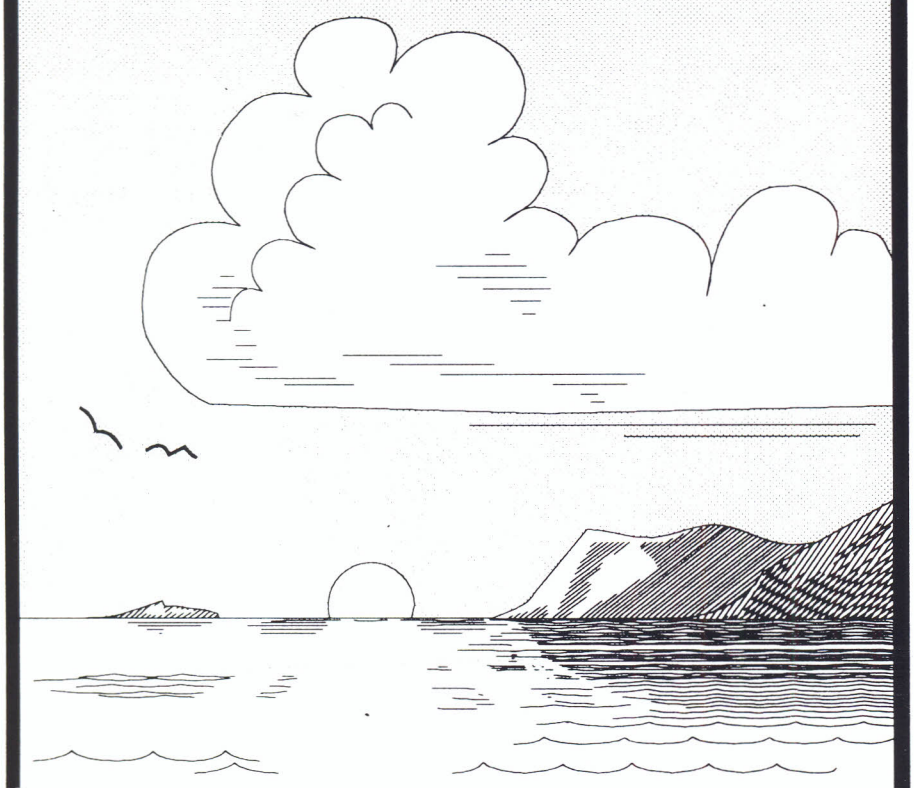


Fig.3. Som Figur 2, men med samtidighetslinjer for hver akseenhet tegnet inn. Tidsdilatasjonen, og spesielt dens symmetri mellom de to koordinatsystemene kommer klart fram.

∞

VÆR – KLIMA – MILJØ



Vi utvikler instrumenter for oseanografi og meteorologi fra scratch til avanserte produkter for et internasjonalt marked. Vi krever allsidige ingeniører.

AANDERAA INSTRUMENTS

FANAVEIEN 13B,
5051 BERGEN, NORWAY.
TEL. 05 132500, TLX 40049
TELEFAX + 05 137950

GRAFISK PRODUKSJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Thormod Henriksen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Visepresident:
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i Oslo.

Styremedlemmer:
Amanuensis Marianne Foss,
Institutt for matematiske realfag,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Professor Erlend Østgaard,
Fysisk institutt, AVH,
Universitetet i Trondheim.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.: 63 80 60 75 Fax.: 63 81 09 20
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonssekretær:
Avd.ing. Karl Måseide,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå,
Institutt for matematiske realfag,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Fysisk institutt, NTH,
Universitetet i Trondheim.
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
Email:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 100,–. Studenter og skoleelever kr. 50,–. Løssalg kr. 30.– pr. nummer.

Postgirokonto: 0807 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227