# Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD


| | |
|---|---|
| Fra redaktørene | 49 |
| Norsk Fysisk Selskaps årsmøte | 49 |
| Årsmelding for NFS 1980-81 | 51 |
| Nato Advanced Study | 53 |
| Rapporter fra de faglige grupper | 54 |
| Simrads pris i elektro-optikk | 55 |
| Norsk Datas fysikkpris | 55 |
| Norsk Fysikkråds årsmelding | 56 |
| Nobelprisen 1980 | 57 |
| Mikroelektronikk gjennom 20 år ved SI | 62 |
| Plasmafysikk i ionosfæren Del 2 | 67 |
| Havbølger og fysikk Del 3 | |
| Notiser | 50, 72 |
| Bøker | 56, 66, 72 |

*Fra venstre: Jakob Stamnes, Kjell Johnsen og Halvor Heier, se side 55.*

Nr. 3 - 1981
43. årgang
ISSN-0015-9247

# KURSSENTERET Institutt for energiteknikk

**KURS I DATABEHANDLING**

26/10 - 13/11 FORTRAN
30/11 - 2/12 Bruk av NORD-100
7/12 - 11/12 Videregående FORTRAN

**Nærmere opplysninger og søknadsskjema fås ved henvendelse til**
**Kurssekretær Gerd Jarrett**
**Kurssenteret**
**Institutt for energiteknikk**
**Boks 40, 2007 Kjeller** **Tlf. (02) 712560**

# Fra Fysikkens Verden

## Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 3 - 1981

Redaktører: KNUT JOSTEIN KNUTSEN og HANS KOLBENSTVEDT
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

42. årgang
ISSN-0015-9247

### Fra redaktørene

Fra og med dette nummer av FFV er det blitt redaktørskifte. Når vi har påtatt oss jobben, er det fordi vi regner med et godt samarbeide med redaksjonskomitéen og skrivelystne fysikere slik at vi skal bli istand til å lage et leseverdig tidsskrift. Da Olav Steinsvoll tiltrådte som redaktør i 1977, skrev han: «Fra Fysikkens Verden bør befinne seg et sted mellom dagsavis og fagtidsskrift». Dette er ord som også vi vil forsøke å leve opp til. Vi håper å kunne bringe korte, aktuelle artikler med et minimum av vanskelige faguttrykk og matematikk. Vi akter å lage en spalte med korte resyméer av interessante artikler i andre tidsskrifter, og en spalte med nyheter slik at medlemmer av NFS blir litt orientert om hvilke forskningsprosjekter som er på gang, hvilke planer man har, hvem som har fått ny stilling, hvem som har gått av med pensjon etc., etc. For å få istand dette, er vi avhengige av informasjoner. Så fysikere i nord og syd: Vennligst informer oss!

Vi kommer ikke til å veie våre ord på gullvekt. (Vi kommer f.eks. til å interessere oss meget for hva som foregår i Den videregående skolen.) Vi håper på denne måten å få istand en livlig debatt i våre spalter. Og dere som vet noe som kan ha betydning for fysikere: Gi oss beskjed, slik at ting kan bli gjennomdebattert før det er for sent å få forandret eventuelle uheldige forandringer og beslutninger.

### Norsk Fysisk Selskaps årsmøte

Norsk Fysisk Selskap hadde årsmøte i Trondheim 23. juni 1981, kl. 13.15. Formannen E. Osnes ønsket velkommen til møtet. Det var ingen bemerkning til innkallelsen eller til saklisten. Referent G. Jarrett.

**Sakliste:**

1. Referat fra årsmøtet 1980 (se FFV nr. 4/1980)
2. Årsmelding
3. Rapporter fra de faglige grupper
4. Rapport fra Norsk Fysikkråd
5. European Physical Society
6. International Union of Pure and Applied Physics
7. Fra Fysikkens Verden
8. Regnskap for 1980 for NSF og FFV
9. Budsjett for 1981 og 1982 for NFS og FFV
10. Valg:
    a) mann og 2 styremedlemmer, 3 varamenn
    b) Revisorer og valgkomité
    c) Norsk Fysikkråd
11. Fysikermøtet 1982
12. Eventuelt

Etter forslag fra formannen ble det bestemt at punktene 3 til og med 7 skulle tas med under punkt 2. Det var ikke kommet inn noen saker til punkt 12, eventuelt.

*pkt. 1* Referatet fra årsmøtet i 1980 ble godkjent uten bemerkninger.

*pkt. 2* Årsmeldingen, som var lagt ut som møtepapir, vil bli gjengitt i sin helhet i FFV. Årsmeldingen ble gjennomgått avsnitt for avsnitt. Under avsnittet organisasjonsforhold understreket formannen at selv om selskapets økonomi er ganske bra, ville selskapet gjerne gi mer støtte til faggruppene. En måte å bedre økonomien på er å øke medlemstallet, med-

Inger Hagerup sammen med avtroppende redaktør for FFV, Olav Steinsvoll under festmiddagen, Fysikermøtet 1981.

lemmene ble oppfordret til å verve nye medlemmer. Medlemstallet har holdt seg nokså stabilt de siste årene. Selv om tilgangen på nye medlemmer er ganske god, er det endel som melder seg ut, og en del som blir strøket p.g.a. at de ikke betaler kontingent. Selskapet har ikke råd til å sitte med medlemmer som ikke betaler, da det skal betales kontingent videre til EPS og FFV for dem.

Under avsnittet om Fra Fysikkens Verden oppfordret Steinsvoll medlemmene til å være flinke til å sende inn bidrag til bladet, notiser, referat fra seminarer, møter o.l., og naturligvis populære artikler om diverse emner innen fysikken. Formannen takket Steinsvoll for det arbeidet han hadde gjort for FFV gjennom årene, i løpet av de siste 10 årene hadde han funnet 60 notiser, referater og artikler i bladet signert Steinsvoll. Han var glad for at Steinsvoll hadde funnet seg en retrettstilling som medlem av redaksjonskomitéen slik at tidsskriftet fremdeles kunne ha glede av ham. På vegne av selskapet overrakte han Steinsvoll en bokgave. Torgersen ønsket også å takke Steinsvoll for samarbeidet gjennom årene, og fortalte at de hadde brukt telefonen flittig samt at de hadde radiokontakt hver søndag morgen!

Når det gjaldt faggruppene uttalte formannen at han anså arbeidet innen disse som meget viktig, de representerte selskapets indre liv. Selskapet har nå 10 grupper hvorav 7 hadde sendt inn skriftlig rapport (disse vil bli gjengitt i FFV). Ved hjelp av nyregistreringen til faggruppene håper en at en nå har fått med de som er virkelig interesserte i gruppenes arbeid. Samtidig har det vist seg at det er mange som er interessert i å få opprettet en gruppe for datafysikk og måleteknikk, og en gruppe for astrofysikk. Styret foreslår at en på hvert fysikermøte avsetter en sesjon hvor 2 grupper kan presentere seg, hvem som skal få prøve seg først, vil bli avgjort tidlig på høsten. Nytt av året er at det under fysikermøtet er satt av tid til møter i faggruppene.

Flere av gruppene hadde avholdt møter. Gruppen for faststoff-fysikk hadde valgt nytt styre: A. Skjeltorp, formann, T. Jøssang og J. S. Johannessen. Gruppen for kjernefysikk hadde valgt inn Jan Vaagen som nytt medlem etter Gunnar Løvhøiden. Gruppen for undervisning hadde valgt nytt styre: Ingerid Hiis Helstrup, Erlend Østgaard og Svenn L. Andersen. Denne gruppen er tidligere blitt bedt av styret om å se på mulighetene for å arrangere Fysikkdager for skoleelever. Et forslag foreligger, og gruppen vil nå bli bedt om å konkretisere planene med tanke på et prøvearrangement f.eks. i Trondheim. Gruppen for generell teoretisk fysikk har nedsatt en komité med P. Chr. Hemmer, K. Mork og H. Olsen for å se på muligheten for å arrangere en sommerskole e.l. om felles interesser.

Når det gjaldt de gruppene som ikke hadde sendt inn rapport fortalte Melø (Biofysikk) at det var stor aktivitet innen biofysikk i Norge, bl.a. ved Radiumhospitalet, Universitetet i Oslo og i Trondheim, og at de vil forsøke å gjenta Biofysikkmøtet. Bløtekjær (Optikk, atom- og molekylærfysikk m/spektroskopi) fortalte at det holdes et møte i elektrooptikk annet hvert år, og at det i år var holdt på Dalseter med 50-60deltagere. Lillethun (Partikkelfysikk) fortalte at det hadde vært liten aktivitet. Hvert annet år holdes et nordisk møte. Gruppen bør finne reelle oppgaver.

Fysikkrådet skulle ha årsmøte dagen etter, årsmeldingen vil bli gjengitt i FFV. Rådets virksomhet ville dessuten bli berørt i T. Henriksens foredrag om utviklingstendenser i norsk fysikk.

Det var ingen tilleggsbemerkninger til avsnittet om nordisk samarbeid. Når det gjaldt EPS ble det føyet til en setning om at styret hadde sendt ut en oppfordring til medlemmene om å bli «individual members». Osnes refererte IUPAPs formålsparagraf, ellers var det ikke noe å tilføye.

Når det gjaldt henvendelsen fra APS om samarbeid om menneskerettighetsspørsmål og akademisk frihet refererte Osnes styrets beslutning om å opprette kontakt med APS sin komité for slike spørsmål.

Årsmeldingen ble godkjent.

*pkt. 8* Regnskapene for NFS og FFV ble godkjent.

*pkt. 9* Revidert budsjett for 1981 og budsjett for 1982 for NFS og FFV ble godkjent. *Det ble vedtatt å forhøye kontingenten til kr. 100,- pr. år fra 1.1.82.*

*pkt. 10* Etter innstilling fra valgkomitéen ble E. Osnes gjenvalgt som formann, N. Bjørnå og K. Myklebost ble gjenvalgt som styremedlemmer. Som varamenn ble valgt H. Høgåsen (gjenvalg) og A. G. Frodesen (ny). Revisorene ble gjenvalgt. Det ble også gjenvalg på valgkomitéen med T. Henriksen som formann. Som representanter til Fysikkrådet ble følgende enstemmig valgt for perioden 1982/83:

| *Som medlemmer* | *Som varamenn* |
|---|---|
| H. J. Braathen | P. B. Vold |
| K. Fossheim | T. Sigmond |
| E. L. Eriksen | S. Ullaland |

*Pkt. 11* Formannen fortalte at Distriktshøyskolen i Stavanger ønsket velkommen til Fysikermøtet 1982. Møtet vil bli holdt i uken som begynner 14. juni.

---

**Notis til Fra Fysikkens Verden.**

De som ønsker en kopi av rapporten «Forskningsaktiviteter i Faste Stoffers Fysikk i Norge 1980», utarbeidet av Jan S. Johannessen og Ola Hunderi, styret i gruppen for Faste Stoffers Fysikk, kan henvende seg til sekretæren, Gerd Jarrett.

# ÅRSMELDING FOR NORSK FYSISK SELSKAP 1980-81

Årsmeldingen omfatter tiden mellom årsmøtene 24. juni 1980 og 23. juni 1981.

*Organisasjonsforhold*

Styret har bestått av:
Dosent Eivind Osnes, formann
Dosent Reidar Svein Sigmond, viseformann
Førsteamanuensis Noralv Bjørnå
Førsteamanuensis Torgeir Engeland
Førsteamanuensis Kårmund Myklebost
med varamenn:
Professor Alv Egeland
Førsteamanuensis Kjell Henriksen
Dosent Hallstein Høgåsen
Førsteamanuensis Jørgen Løvseth
Dosent Leif Owren

Selskapets sekretær er Gerd Jarrett. Medlemstallet pr. 1.6.1981 er 614 personlige medlemmer, pluss 22 studentmedlemmer. T. Riste og S. Westin er æresmedlemmer. Selskapet har 8 kollektive medlemmer. Disse er:

Det Norske Veritas
A/S Elektrisk Bureau
Elkem-Spigerverket A/S
A/S Hafslund
A/S Norsk Elektrisk & Brown Boveri
A/S Norcem
Norsk Hydro A/S
Aanderaa Instruments

Årskontingenten er for 1981 kr. 75,00 for personlige medlemmer, studenter betaler kr. 35,00. Tilskuddet for de kollektive medlemmer var i alt på kr. 7 500,00 i 1980. Regnskapet for 1980 er gjort opp med et overskudd på kr. 2 234,68, og selskapets økonomi må sies å være god. Likevel er det behov for å øke inntektene, bl.a. for å kunne gi økt støtte til faggruppenes virksomhet. Dette kan bl.a. skje ved å øke medlemstallet, og styret appellerer til medlemmene om å hjelpe til med dette. En vil også oppfordre medlemmene til å innbetale kontingenten i tide. Sekretariatet må hvert år styrke en rekke medlemmer som har unnlatt å betalte kontingenten de siste to-tre år.

Styret har hatt fem møter i perioden. Disse har vært lagt til fysikkmiljøet i Oslo, Trondheim og Stavanger. Styret tar sikte på å besøke andre fysikkmiljøer etterhvert.

*Fra Fysikkens Verden*

Norsk Fysisk Selskap står som utgiver av tidsskriftet Fra Fysikkens Verden, som kommer ut fire ganger i året med et opplag på 1600. Redaksjonen har bestått av:

Forsker Olav Steinsvoll, redaktør
Laboratorieingeniør Halvard Torgersen, redaksjonssekretær
Førsteamanuensis Tryggve Grotdal
Forsker Jan Myrheim
Førsteamanuensis Øivin Holter
Høgskolelektor K. Jostein Knutsen
Førsteamanuensis Ove Bratteng
Professor Roald Tangen

Redaktøren har vært innkalt til styremøtene, hvor en på dagsorden har hatt en fast post «Redaktøren har ordet». Etter 4-5 års målbevisst arbeid med tidsskriftets økonomi, har en nå fått denne under kontroll, men er er fremdeles avhengig av et større tilskudd fra NAVF. Regnskapet for 1980 viser et overskudd på kr. 1 535,19. Trykningsutgiftene hra økt uforholdsmessig sterkt i 1981, og det har vært nødvendig for selskapet å yte et ekstra bidrag til tidsskriftet på kr. 4 500,00. Olav Steinsvoll slutter som redaktør 1.7.1981, etter 4 1/2 års tjeneste. Selskapet vil takke ham for den store innsats han har gjort for tidsskriftet, både som redaktør og tidligere som medlem av redaksjonskomiteen i 7 år. Steinsvoll har skapt et allsidig og interessant tidsskrift, som selskapet kan være bekjent av. Som nye redaktører har styret oppnevnt Knut Jostein Knutsen og Hans Kolbenstvedt.

*Fysikermøtet*

Fysikermøtet 1980 ble holdt ved Universitetet i Tromsø i tiden 23.-26. juni og samlet 123 deltagere. Professor Olav Holt var formann i arrangementskomiteen. I møtet inngikk feiringen av Nordlysobservatoriets 50-års jubileum, og møtet var derfor utvidet med en dag. Møteprogrammet besto av hele 17 inviterte foredrag i plenumssesjoner og 41 påmeldte faglige foredrag i parallellsesjoner. Dessuten ble det holdt en paneldebatt om utdannelse av teknologisk kvalifisert arbeidskraft. Videre ble det arrangert ekskursjon til feltstasjoner på Ramfjordmoen med installasjonene EISCAT, PRE og HEATING. Det ble også arrangert åpent hus på Nordlysobservatoriet og fisketur. Festmiddagen ble holdt i Robukta, med foregående besøk på Tromsø Museum. Professor Gotfred Kvifte holdt festtalen.

Følgende plenumsforedrag ble holdt:

*T. Riste (Kjeller):* Liquid Crystals.
*C. Pethick (København):* Neutrions, Hot Dense Matter and Stellar Collapse.
*M.K. Gaillard (Geneve):* The First Three Minutes.
*C. Jarlskog (Bergen):* Recent Developments in Particle Physics.
*O. Holt (Tromsø):* Experimental Installations at Ramfjordmoen.
*F. Søraas (Bergen):* Norsk kosmisk geofysikk i dag.
*J. Roederer (Fairbanks):* Planetary Magnetospheres.
*L.J. Lanzerotti (Murray Hill):* Geomagnetic Influence on Manmade Systems.
*J. Trulsen (Tromsø):* Plasma Physics in the Ionosphere - The Ionosphere in the Plasma Laboratory.

*F. Lillethun (Bergen):* Planer for fusjonsforskning i Norge.
*G. Gustafson (Kiruna):* VIKING - en satelitt for nordlysstudier.
*K. Lassen (København):* Langtidsvariasjoner i forekomst av nordlys på polsiden av nordlysovalen (fra observasjoner på Grønland).
*E. Kataja (Sodankylä):* Solflekkperioder og geomagnetisk aktivitet.
*L. Bjørn (Uppsala):* Kunstig nordlys.
*L. Monrad-Krohn (Oslo):* Mikroprosessorer
*K.B. Dysthe (Tromsø):* Havbølger og fysikk.
*D. Gjessing (Kjeller).* Fjernmålingsteknikk - metoder og problemer.

Paneldebatten om utdannelse av teknologisk kvalifisert arbeidskraft ble ledet av O. Holt. Deltagere var T. Hernes, I. Johansen, P. Nyborg og T. Olsen. Titlene på seksjonsforedragene er publisert i Physica Scripta Information, No. 9A 1980.

Årsmøtet ble holdt 24. juni og er referert i Fra Fysikkens Verden *42* (1980) 74. Under årsmøtet ble professor Tormod Riste utnevnt til æresmedlem av selskapet. Norsk Datas fagpris i partikkelfysikk for 1980 ble tildelt dosent Hallstein Høgåsen for hans arbeid med å utforme teoretiske modeller for multikvarktilstander.

*Faggruppene*

Styret har foretatt en nyregistrering av medlemsskapet i faggruppene. Det er anledning til å være med i to grupper (mot fire tidligere), hvor én skal være *hovedgruppe*. En håper at nyregistreringen kan gi grunnlag for fornyet aktivitet i gruppene. Det er tatt initativ til dannelse av nye faggrupper i astrofysikk og i datafysikk og måleteknikk. Styret ønsker å ta opp til gjennomtenking faggruppenes rolle og arbeidsoppgaver. Det er innkalt til et møte mellom styret og formennene i faggruppene i forbindelse med Fysikermøtet 1981, og det er også avsatt tid til møter i faggruppene under Fysikermøtet. Etter anmodning fra styret er gruppen for undervisning i gang med å utrede muligheteen for å arrangere studiedager for skoleelever ved vår universiteter og høyskoler. Som ledd i det nordiske samarbeid har gruppen for kjernefysikk sendt inn søknad om nordisk forskerkurs i kjernefysikk. Forøvrig vises til årsrapportene fra de enkelte faggrupper.

Styret har gitt økonomisk støtte til følgende faglige møter: «Bergen Workshop in Nuclear Physics», 25.-26. nov. 1980, Nordisk symposium i plasma- og gassutladningsfysikk, Gausdal, 11.-13. februar 1981.

*NORSK FYSIKKRÅD*

Formannen i Norsk Fysikkråd, professor Thormod Henriksen, har vært innkalt til et styremøte i selskapet for å orientere om Fysikkrådets virksomhet. På bakgrunn av de opplysninger som kom fram på møtet vedtok styret å sende en henstilling til Hovedkomiteen for norsk forskning om å be Fysikkrådet uttale seg om LEP, nasjonalt laboratorium for fusjonsrettet forskning og nordisk tungione akselerator. Noen reaksjon på henstillingen er ikke kommet.

*NORDISK SAMARBEID*

Samarbeidsavtalen om Physica Scripta utløper ved utgangen av 1981, og utkast til ny avtale for perioden 1982-87 er utarbeidt av styret for tidsskriftet. Avtaleutkastet skal behandles av samarbeidspartnerne innen 1. november 1981. Fra norsk side deltar NFS og Det Norske Videnskaps-Akademi.

*EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY*

Kårmund Myklebost og formannen har vært selskapets representanter i rådet for EPS. Begge deltok ved rådsmøtet i Grenoble 26.-27. november 1981. Tormod Riste er medlem av programkomiteen for EPS General Meeting i Istanbul 7.-12. september 1981. Knut Jostein Knutsen er medlem i den rådgivende komite for undervisning og deltok i komiteens møte i Grenoble 23.-24. mars 1981. Egil Lillestøl er medlem i styret for EPS' gruppe for partikkelfysikk. Det er for tiden høy aktivitet i EPS. Konferansetilbudet er godt, og EPS har i 1980 startet utgivelsen av European Journal of Physics for undervisningsspørsmål. Dessuten utgir EPS meldingsbladet Europhysics News som kommer med 10 nummer i året. Styret har også sendt ut en oppfordring til medlemmene om å tegne seg som individuelle medlemmer i EPS.

Selskapets kontakt med EPS hindres fremdeles av økonomiske årsaker, og styret vil intensivere arbeidet med å sikre reisestøtte til våre representanter.

*INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED PHYSICS*

Styret utgjør sammen med professor S. Westin fra Det Norske Videnskaps-Akademi den norske nasjonalkomite for IUPAP. Professor P. Ch. Hemmer er sekretær for IUPAP's kommisjon for termodynamikk og statistik mekanikk. Norge er klart underrepresentert i IUPAP's organer, i det våre tre medlemsandeler burde gi adgang til minst to representanter. Til IUPAP's generalforsamling i Paris høsten 1981 har derfor nasjonalkomiteen sendt inn flere nominasjonsforslag til eksekutivkomite og kommisjoner. S. Westin er norsk delegat til generalforsamlingen.

*MENNESKERETTIGHETER OG AKADEMISK FRIHET*

Styret har i telegram til vitenskapelige og politiske myndigheter i Kiev appelerte om løslatelse av fysikeren Vladimir Kislik, som ble arrestert 19. mars 1981. Formannen er medlem av den internasjonale komite for løslatelse av den sovjetiske ky-

bernetikeren Victor Brailovsky, som ble arrestert 13. nov. 1980. Fra American Society er det kommet henvendelse om samarbeid i spørsmål om menneskerettigheter og akademisk frihet.

*DIVERSE*

Styret og sekretariatet har ved flere anledninger formidlet kontakt og opplysninger til selskaper, institusjoner og enkeltpersoner i inn- og utland.

Blindern, juni 1981.

*Eivind Osnes (sign.)*

## NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE
### Geilo våren 1981

*Omtale ved O. Steinsvoll*

Kurset var det sjette i rekka av kurs med emner fra faseoverganger og ustabiliteter som er blitt arrangert på Geilo. Opplegget for det siste kurset var å ta opp problemer som har vist seg å være felles innenfor faststoffysikk, hydrodynamikk og materialvitenskap. Dette gjelder særlig betydningen av ikke-lineære effekter ved faseoverganger og ustabiliteter. Allerede ved det første Geilo-kurset ble det presentert måleresultater («the central peak») som ikke kunne beskrives med vanlige lineære teorier. Siden den tid har det skjedd en rivende utvikling innen dette området, både eksperimentelt og teoretisk, og i løpet av kurset fikk vi en gjennomgang av ti års framgang på dette feltet.

Den første del av kurset var viet til behandling av ikke-lineære effekter ved faseoverganger i likevektssystemer slik som strukturelle faseoverganger. Det spesielle ordningsmønstret («ordensparameteren») som materialiseres er alltid bestemt av de ikke-lineære egenskaper ved systemet. Vi fikk også en gjennomgang av de ikke-lineære fluktuasjoners natur, slik som «cluster walls» i $(1+\varepsilon)$-dimensjon, «kinks» i én dimensjon, «periodons» og «breathers».

En gikk så over til ustabiliteter i ikke-likevektssystemer, altså drevne systemer slik som lasere og hydrodynamiske systemer. Fluktuasjoner i nærheten av ustabiliteter i disse opptrer sannsynligvis i et ekstremt smalt kritisk område ($\sim 10^{-6}\varepsilon$) som kanskje ikke er observerbart. For et multistabilt, ikke-likevektssystem som laseren har det likevel vist seg mulig å måle slike fluktasjoner ved såkalt fotontelling.

Ved ustabiliteter i drevne hydrodynamiske systemer blir strømningsmønstre og «orden» valt ut og stabilisert av de ikke-lineære egenskapene. Forskjellige mønstre kan videre kople seg til hverandre gjennom ikke-linearitetet, og derved får en en meget komplisert romlig og tidsavhengig strømningsoppførsel. Nøkkelordene for dette interessante området er de såkalte «limit cycles» og «strange attractors». Det nye er altså at en får dynamiske strukturer der systemene pendler mellom ulike mønstre og etter et gjennomløp av de foreliggende muligheter starter fra begynnelsen igjen. På denne måten er tiden blitt en ny dimensjon som må legges til romkoordinatene. En har etterhvert fått øynene opp for disse fenomene ved eksperimenter og teori for overgang til turbulenstilstander. Det ble vist resultater som klart demonstrerer hvordan såkalte periodedoblende forgreininger («bifurcations») kan føre systemer over i turbulens. I nærheten av slike forgreininger kan en tillegge systemene kritiske eksponenter. Dette gjelder der systemet ikke har gått over til fullt kaos. Det ble vist resultat av eksperimenter av Rayleigh-Bénard typen der en lager seg en konveksjonscelle i et væskevolum (flytende He) som blir varmet opp fra undersiden. Ved å variere temperaturgradienten kan en vise en såkalt «orbit splitting sequence» som følgesvenn til periodedobling. Ved spesielle metoder kunne en her få fram både «limit cycle» og «strange attractor» som reelle effekter.

Det kom også fram tanker vedrørende kaostilstanden. Den såkalte «strange attractor» består av en uendelighet av flater i tilstandsrommet som tilstandspunktet vandrer på, og en får utløst en selvprodusert støy inne i systemet. De frekvenser og mønstre som forekommer er i hovedsak bestemt av hvordan en har «tilberedt» prøven. Det fins flere teorier som forsøker å beskrive systemenes vei mot kaos, slik som Lorenz modellen, Ruelle-Takens modell og det siste nye: Feigenbaum modellen. Her forklares overgangen som påfølgende forgreininger, såkalt periodedobling. Disse periodedoblingene ligger på en geometrisk rekke som kan beskrives ved hjelp av en universell Feigenbaum konstant. Navn som «Busse balloon» og Lyapunov eksponenter fikk vi også stifte bekjentskap med.

Den siste delen av kurset var viet en utvidet form for materiallære. Metallurger og andre har lenge arbeidd med problemer som faseseparasjon, størkning og krystallvekst, men mest fra den eksperimentelle siden. Det viser seg likevel at dette er emner som kan angripes teoretisk ved å anlegge det synspunkt at en egentlig har å gjøre med ustabiliteter. I en omfattende fin forelesning fikk vi demonstrert hvordan det regulære, treliknende (med greiner som sitter på greiner osv.) mønster til snøkrystaller f.eks. har stor likhet med Rayleigh-Bénard cellene nevnt ovenfor. I overgangsflaten mellom den faste og flytende fasen i et stoff som størkner kan en få periodiske fluktuasjoner. Dette gir opphav til «trevekst» (dendritter). I legeringer og eutektika kan en få utskilt regulære lameller eller staver med varierende sammensetning. Ved optiske metoder har en klart å observere slike oscillasjoner i separasjonsområdene. Det spennende er nå om dette kan vises å være et nytt slags kritisk fenomen; vil

f.eks. oscillasjonene vise kritisk «slowing down» ved passende endringer av temperaturgradienten over blandingen?

De siste dagene var viet problemene ved todimensjonal smelting. Kosterlitz-Thouless teorien ble gjennomgått og Kosterlitz selv fortalte om den siste utviklingen på dette området. En har klart å utføre målinger på tynne utspente hinner av flytende krystaller (~ såpehinner). Forbindelsen mellom dette smeltefenomenet og hydrodynamiske ustabiliteter er også tilstede, særlig hvis en innfører virkningen av dislokasjoner i det hydrodynamiske tilfellet. En virkningsfull demonstrasjon av denne forbindelsen fikk vi gjennom en film av eksperimenter utført på et utstrakt todimensjonalt mønster av Rayleigh-Bénard konveksjonsceller. Ved å variere temperaturgradienten kunne en bringe mønstret til «smeltepunktet» og fullstendig kaos. Like før smeltingen opptrådte feil og forskyvninger i mønstret som så dannet utgangspunkt for sammenbruddet.

Kurset ble fulgt av interesserte deltakere i et antall av 75. De kom fra 12 ulike land. Vi kan ikke underslå at en del av tida ble brukt til skiløping og slalåmkjøring i de fristende omgivelsene. Noen av utlendingene ga alt de hadde både av intellektuelle og fysiske krefter i løpet av kurset. Heldigvis kunne vi samle hele flokken uskadd til avreise med toget til Oslo.

Forelesningene vil bli tilgjengelig som bok på forlaget Plenum Publ. Co. ved årsskiftet. Redaktøren er T. Riste. Boka vil få tittelen «Nonlinear Phenomena at Phase Transitions and Instabilities».

## Rapporter fra de faglige gruppers utvalg (styrer) til NFS årsmøte 1981.

*Akustikk*

Utvalgets medlemmer:
Førstelektor Wilhelm Løchstøer, Fysisk Institutt, Blindern. Audiofysiker Gordon Flottorp, Rikshospitalet, Oslo. Sivilingeniør Magne Kringlebotn, NTH, Trondheim.

Virksomheten er blitt temmelig standardisert og omfatter ett årlig møte sammen med Norsk Akustisk Selskap. I 1980 ble møtet holdt den 31.10. og 1.11. på Christian Michelsens Institutt i Bergen. Det var 44 deltagere og 20 foredrag. Det var spesielt lagt vekt på bygningsakustikk, som var tema for relativt mange av foredragene.

*Wilh. Løchstøer (sign.)*

*Faste stoffers fysikk*

Utvalget har bestått av Ola Hunderi og Jan S. Johannessen. Der har ikke vært holdt nasjonale møter i denne perioden, men utvalget er med å støtte opp under arrangementet av en nordisk faststoff-konferanse i København i august 1981.

Den oversikt over faststoffaktiviteten i Norge som vi utarbeidet for forrige Fysikermøte, er enda ikke trykket. Årsaken er at vi ikke har funnet finansiering for trykningsutgiftene. Vi håper at dette lar seg ordne i nær framtid.

Forøvrig mener det sittende styre at nye krefter bør slippe til i styret for faststoff-fysikk gruppen.

*Jan S. Johannessen (sign.)*

*Kjernefysikk*

Det faglige utvalg består fremdeles av Gunnar Løvhøiden, John Rekstad og Torgeir Engeland (formann).

I det forløpne år har det igjen vært arrangert «Bergen Workshop in Nuclear Physics, 1980», av våre kolleger i Bergen. Seminaret samlet stor oppslutning fra inn- og utland, denne gangen med særlig vekt på faglig samarbeid over Nordsjøen. Som et ledd i det nasjonale samarbeid innen kjernefysikk er disse årvisse Bergensmøtene meget viktige, og vi er arrangørene stor takk skyldig for godt utført arbeid.

Det faglige utvalget har gjentatt søknaden til «Nordiska Forskarkurser» med tanke på å arrangere en vinterskole i kjernefysikk i 1982. Vår forrige søknad for 1981 ble avslått i siste omgang, og vi har håpet i behold om bedre skjebne denne gangen.

«Nordic Symposium in Nuclear Physics» tenkt arrangert av våre danske venner i august 1981 er utsatt ett år.

*Torgeir England (sign.)*

*Plasma- og gassutladningsfysikk*

Det faglige utvalg har bestått av:

Magne Espeland, Bergen, Asbjørn Kildal, Oslo, Helge Skullerud, Trondheim, Jan Trulsen, Tromsø.

Som vanlig har medlemmet fra arrangørinstitusjonen for periodens symposium, denne gang Trulsen, fungert som formann.

Den organiserte virksomhet innen gruppen omfatter arrangementet av det 16. Nordiske Plasma/Gassutladningsfysikksymposiet, på Gausdal 11.-13. februar 1981. Symposiet ble støttet av NFS, NAVF, svenske forskingsråd og NORDITA og samlet 51 deltakere, derav 21 utenfor Norge.

Spesielt inviterte forelesere ved årets symposium var:

prof. I.W. Axford, MPI, Tyskland, Prof. F.F. Chen, UCLA, USA.

Gruppens årsmøte ble avholdt under symposiet. Det gamle faglige utvalg ble gjenvalgt for 1981/82.

Oslo står for arrangementet av symposiet i 1982, og Kildal er dermed utvalgets formann.

*Jan Trulsen (sign.)*

*Undervisning*

Styret har i 1980/81 bestått av Tor Alstadheim, Alf Halsteinslid og Georg Andre.

Undervisningsutvalget har i løpet av året fortsatt de internasjonale kontakter når det gjelder fysikk i skolen.

På oppfordring fra NFS's styre redegjør undervisningsutvalget for tanken om fysikkdager for elever ved den videregående skole i Norge.

*Georg Andre (sign.)*

*Kosmisk fysikk*

Utvalgets medlemmer:

Forskningssjef Bernt Mæhlum, formann, FFI, Kjeller, førsteamanuensis Finn Søraas, FI, Universitetet i Bergen, Førsteamanuensis Jan A. Holtet, FI, Universitetet i Oslo fra. 1.1.81, Førsteamanuensis Asgeir Brekke, Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø, Direktør Odd Dahl, CMI, Bergen.

Utvalget har hatt 6 møter siden august 1980. I tillegg arrangerte utvalget et fysikermøte i Hurdal 29.-30. september 1980, hvor romforskningsprogrammet og planer for nye prosjekter ble diskutert.

Forskere med tilknytning til utvalget har deltatt i to større rakettkampanjer fra Andøya høsten 1980, Svalbard-ekspedisjonene er blitt noe utvidet i året som gikk, og disse vil fortsette i de følgende år.

På Ramfjordmoen har en utført flere eksperimenter med HEATING-anlegget, mens EISCAT er inne i den siste testfasen.

Bergensgruppen er engasjert i den svenske VIKING satelitten og gruppen ved FFI og Universitetet i Oslo planlegger deltakelse i en større rakettkampanje fra Andøya sesongen 1981/84.

*Asgeir Brekke*

*Generell teoretisk fysikk*

Styret har bestått av H. Olsen, formann, M. Kolsrud og S. Skavlem.

Gruppens fagområder overlapper for en stor del de øvrige gruppers områder, f.eks. partikkelfysikk, kjernefysikk og faste stoffers fysikk, og det har lenge vært uklart om det er interesse for å beholde gruppen for generell teoretisk fysikk. Spørsmålet er ennå ikke avklart, og det har hittil vært heller liten entusiasme blant gruppens medlemmer for å få i gang gruppeaktiviteter.

Nå viser grupperegistreringen i vår at ganske mange (ca. 50) har meldt seg på som medlemmer (og subsidiære medlemmer) av gruppen. Dette må tolkes slik at det likevel er betydelig interesse til stede for å opprettholde en gruppe for generell teoretisk fysikk. Møtet i gruppen mandag 22. juni vil forhåpentligvis avklare spørsmålet. Der vil også spørsmål om gruppens aktiviteter bli drøftet.

*Haakon Olsen*

## SIMRAD'S PRIS I ELEKTRO-OPTIKK FOR 1981

Simrads pris i Elektro-optikk for 1981 er tildelt forskerne Halvor Heier og Jakob Stamnes ved Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) for deres arbeid med konstruksjon av linser.

Dette arbeidet startet i slutten av 1960-årene ved Forsvarets forskningsinstitutt og er i de senere år ført videre ved SI. Et særtrekk ved arbeidet er at det foruten vanlige linser for fotoapparater og kikkerter etc. også omfatter linsesystemer for infrarød stråling, akustiske bølger og havbølger. Infrarøde linsesystemer brykes i varmestråle-kameraer som benyttes så vel for tekniske som vitenskapelige formål. Akustiske linsesystemer er under utvikling for undervannsavbilding ved hjelp av lydbølger, og linser som kan fokusere havbølger har betydning i forbindelse med bølgekraftverk.

Forskerne Heier og Stamnes har høstet internasjonal anerkjennelse for sine forskningsresultater, og deres arbeid har hatt avgjørende betydning for utviklingen av en rekke produkter i norsk elektro-optisk industri og ventes også å spille en rolle i fremtidig industriell virksomhet.

Prisen som de to forskerne deler er på kr. 10 000,00. Prisen omfatter også et grafisk arbeid.

## NORSK DATA'S FYSIKKPRIS 1981

NORSK DATA's Fysikkpris for 1981 er tildelt professor dr. techn. Kjell Johnsen. CERN, Genève, og University i Bergen, for hans bidrag til elementærpartikkelfysikken på det teknologiske område.

Elementærpartikkelfysikkens fremgang har vært knyttet til utviklingen av partikkelakseleratorer av stor kompleksitet, store dimensjoner og med utnyttelse av den fremste teknologi på mange områder.

Professor Johnsen har vært med i utviklingen av akseleratorer fra tidlig på 1950-tallet og er blant verdens fremste akseleratoreksperter.

Kjell Johsen tok sin ingeniøreksamen ved Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, i 1948, og ble dr.ing. samme sted i 1954. Fra 1952 (bortsett fra perioden 1957-59 da han var professor ved NTH, Trondheim) har han vært ansatt ved det internasjonale forskningssentrum for kjerne- og elementærpartikkelfysikk CERN, Genève, Sveits. CERN drives av 12 europeiske nasjoner, bl.a. Norge. Ved siden av sin stilling ved CERN er Johnsen ansatt som professor II ved Universitetet i Bergen fra 1972 og som Visiting Professor i fysikk ved MIT fra 1980. I årene 1977 til 1979 var han permittert fra CERN for å være direktør for IRAM, det Franske-Tyske Institutt for Radio Astronomi i Millimeterområdet, beliggende i Grenoble, Frankrike.

Da CERN's første proton synkroton, PS, ble planlagt, var Johnsen med fra begynnelsen av. En del av dette arbeidet ble utført ved Christian Michelsens institutt i Bergen, under ledelse av Odd Dahl og sammen med en liten internasjonal gruppe. Kjell Johnsen var blant de ledende under konstruksjon av PS på CERN.

Når NORSK DATA's Fysikkpris i år gis til professor Johnsen, er dette spesielt på grunn av hans innsats i forbindelse med protonlagringsringene (SIR) på CERN. Johnsen fremmet ideen om å bygge lagringsringer for høgenergetiske protoner på CERN, hvor den tilgjengelige energi (massesenterenergien) i kollisjoner mellom protonene ville bli vesentlig høyere enn ved noen annen akselerator, og den har fremdeles verdens høyeste energi.

ISR bød på et stort antall teknologiske problemer som måtte løses. Prinsippet om sterk fokusering av proton-strålene, som hadde gjort PS til en suksess, måtte finpusses for å kunne styre protonene med en nøyaktighet slik at de kunne tilbakelegge en strekning som 150-200 ganger fram og tilbake til solen uten å avvike mer enn en millimeter eller så fra den ønskede bane.

Det måtte utvikles vakuumpumper som kunne holde et gasstrykk lavere enn det som finnes på månens overflate over en strekning på over en kilometer i et rør av variable dimensjoner. I strålekryssningspunktene måtte gasstrykket bringes ned til ca. $10^{-11}$ Tor eller ca. $10^{-14}$ atm. Dette er vesentlig lavere trykk en hva man måtte ha i PS, hvor protonene bare holdes et par sekunder, mens de skulle kunne holdes i ISR et par døgn.

Johnsen var en drivende kraft bak utviklingen av sterk-fokuseringsprinsippet og stablingsprosessen av protonstrålene for bruk ved ISR. Hans ledende innsats (sammen med mange medarbeidere) både i ideutvikling, planlegging og gjennomføring av ISR prosjektet gjorde det mulig for partikkelfysikerne å oppnå flere vesentlige forskningsresultater.

ISR ble under Johnsens ledelse starte 24. januar 1971, litt tidligere enn planlagt og innenfor budsjettet. I år, ISR's 10. år, er det fortsatt stor eksperi-

mentell aktivitet ved lagringsringene som for tiden lagrer anti-protonstråler.

Etter at Johnsen fratrådte som direktør for ISR, tok han igjen aktivt del i akseleratorforskning, spesielt innen studier av mulige elektron-positron lagringsringer. Dette ledet til planene for en 100 GeV lagringsring, LEP, som partikkelfysikerne i Europa ser fram til som maskinen som vil kunne gi oss det neste store skritt framover i vår forskning.

LEP-prosjektet støttes nå av de fleste CERN-medlemsland, og en håper at formell beslutning om å bygge LEP vil bli foretatt av CERN's råd i år.

Fra 1979 har professor Johnsen vært «utlånt» fra CERN som «Deputy Head» og fra 1980 som teknisk direktør for ISABELLE-prosjektet ved Brookhaven National Laboratory, Upton, Long Island, USA. ISABELLE er protonlagringsringer som er under konstruksjon, hvor protonenergiene vil bli mer enn 10 ganger ISR's. Dette er også et banebrytende prosjekt hvor bl.a. de supraledende magnetene som utvikles vil utnytte dagens teknologi til det ytterste.

# Bøker

*H. Dachs, ed.* Neutron Diffraction, Springer Verlag 1978, DM....

De klassiske bøkene om neutrondiffraksjon av G. E. Bacon, G. L. Squires og av W. Marshall og S. E. Lovesey (M&L) utleder teori og beskriver apparatur og metoder for bruk av neutroner i faststoffundersøkelser. Boka til Bacon er allerede kommet i flere omarbeidete og forøkete utgaver og heller mot den anvendte, eksperimentelle siden, mens M&L er mer teoretisk. Begge bøkene gjengir stillingen innen neutronfysikk fram til slutten av sekstiåra. Men utviklingen av målemetoder og teknikk er gått framover med stormskritt i syttiåra, særlig etter at høyfluksreaktorene i USA (Brookhaven og Oak Ridge) og Frankrike (Grenoble) er blitt tatt i bruk. Disse forskingssentrene er blitt befolket av en ung, fremadstormende generasjon av forskere som har latt fantasien få fritt løp og utnyttet de nye mulighetene til å utvikle apparater og måleteknikk som vi, allerede gamle i leiken, ikke ville trodd var mulig å få til å virke - kanskje på grunn av fordommer eller simpelthen ufullstendig forståelse av hva formlene egentlig innebar.

«Neutron Diffraction» starter der Bacon og M&L avslutter og behandler gamle metoder ut fra nye synsmåter og fører oss så gjennom de nye målemetoder og deres anvendelsesområder innen neutronfysikken.

Det første kapittel går raskt gjennom grunnlaget for bruken av neutroner, diffraktometre og spektrometre og oppløsningseffekter i disse med stadig referanse til orignialartikler. Kapittel to tar for seg utviklingen innen bruken av polariserte neutroner. En grei innføring i teorien for presseserende polarisasjonsvektor for de enkelte neutroner fører oss rett inn i området med alle de nye innretningene, til dels foreslått og utviklet av F. Mezei: spinn-vridere, spinn-snuere og den såkalte spinn-ekko metoden. De er enkle innretninger, rene Columbi egg. Polariserte neutroner er vanligvis forbeholdt magnetiske undersøkelser, men den sistnevnte teknikken kan også brukes for umagnetisk spredning for å måle små energiendringer for neutronene.

Siden begynnelsen av dette århundret er røntgenspredning blitt brukt til å finne strukturen av kjemiske stoffer i krystalform. Elektromagnetisk stråling spres fra elektronene rundt atomkjernene mens neutroner spres pga. vekselvirkning med kjernene eller spesielle «magnetiske» elektronskall. Det viser seg at en kan

(Forts. side 61)

# NORSK FYSIKKRÅDS ÅRSMELDING JUNI 1980-JUNI 81

Styret for Norsk Fysikkråd har siste år hatt følgende sammensetning: Formann Thormod Henriksen, UiO, Viseformann Jan Trulsen, Ui Tromsø, Styremedlemmer: Eivind Thrane, FFI, Haakon Olsen, UiT, Karl Nybø, UiB.

Rådet har ikke vært innkalt siden siste årsmøte. Styret har hatt et møte 25.11.80.

1. *«Fysikkens rolle i dagens samfunn».*
   Boken er nå ferdig og i salg. NFR har pr. brev oppfordret de fysiske institutter ved våre universiteter om å bidra til å spre denne populærboken. Fysisk institutt på Blindern har således gitt boken som gave til skolen i Østlandsområdet.
2. *Skoleundersøkelse i fysikk*
   Den store utredningen om fysikkens plass i dagens skole er nå ferdig og til salgs på Tapir forlag. Norsk fysikkråd vil benytte anledningen til å takke styringsgruppen bestående av Ø. Falch, E. Hodne, H. Kjenes, E. Lillethun og T. C. Seeberg for det store arbeid som de påtok seg og som de har gjennomført på en beundringsverdig måte. Rådet håper at utredningen vil gi inspirasjon og impulser som kan føre til en styrking av fysikkens plass i morgendagens skole.
3. *Oppdatering av Riste/Spangen undersøkelsen*
   Tore Amundsen har gjennomført en oppdatering frem til 1979 av Riste/Spangen undersøkelsen fra 1967. Manuskriptet er ferdig og den endelige utredning vil foreligge om kort tid. Dette er et verdifullt grunnlagsmateriale når en skal foreta prioriteringer og beslutninger om store prosjekter innen Norsk fysikk. NFR bør følgelig påta seg den oppgaven å oppdatere undersøkelsen med jevne mellomrom.
4. *LEP-saken*
   NFR har *ikke* uttalt seg om LEP. Formannen og styremedlem H. Olsen fikk anledning til å være tilstede på et møte der «Hovedkomiteen» drøftet LEP. P.g.a. sykdom møtte T. Amundsen i formannens sted og han la fram en del av det materiale som oppdateringen av Riste/Spangen undersøkelsen inneholder.
5. *Brev fra Norsk Fysisk Selskap*
   Styret i Norsk Fysisk Selskap har i brev til Hovedkomiteen bedt om at store prosjekter innen norsk fysikk blir vurdert av norske fysikere gjennom Norsk Fysikkråd. Det nevnes prosjekter som LEP, et nasjonalt laboratorium for fusjonsrettet forskning og et svensk forslag til Nordisk råd om en skandinavisk tung-ione akselerator.
   NFR har ikke fått noen henvendelse fra Hovedkomiteen om brevet fra NFS.

*T. Henriksen*

# Nobelprisen 1980: Oppdagelsen av bruddet på CP-symmetri

*Jon Magne Leinaas* og Kåre Olaussen**

La oss anta at vi en gang i framtida oppnår radiokontakt med intelligente vesener et sted ute i universet og ønsker å sende dem opplysninger om vår egen sivilisasjon. Vi kan kode informasjon om størrelse og farge på gjenstander her på jorda ved å referere til atomære prosesser som vi antar er universelle. Men har vi noen mulighet for å overføre opplysninger om forhold som avhenger av det å kunne skille mellom høyre og venstre?

Lenge trodde man at dette var prinsipielt umulig uten ved direkte kontakt, fordi naturlovene ikke kan skille mellom vår verden og et hypotetisk speilbilde av denne. Men i 1956 ble det foreslått og senere påvist at dette ikke holder stikk. Det ble vist at det finnes prosesser i elementærpartikkelfysikken som skiller mellom høyre og venstre. Men det bruddet på speilings-symmetri som ble påvist var likevel ikke absolutt. Det syntes som det fortsatt var umulig å skille mellom vår verden og et speilbilde av denne bygd opp av anti-materie i stedet for vanlig materie.

Men i 1964 ble det gjennomført et eksperiment som påviste at enkelte prosesser i elementærpartikkelfysikken bryter også denne symmetrien. Naturen skiller i absolutt forstand mellom høyre og ventre, og mellom materie og anti-materie. Nobelprisen for 1980 ble gitt til eksperimentalfysikerne James Watson Cronin og Val Logsdon Fitch for denne oppdagelsen.

*1. Betydningen av symmetrier i fysikken*

Bruddet på CP-symmetri som ble påvist av Cronin og Fitch er en uhyre svak effekt. En kan derfor undre seg over hvorfor dette fenomen, som tilsynelatende er uten noen praktiske konsekvenser, tillegges så stor betydning. For å forstå dette er det viktig å ha klart for seg hvilken fundamental rolle symmetriene spiller i fysikken. Man kan faktisk hevde at uten et minimum av symmetrier kunne fysikken overhode ikke ha eksistert som vitenskap. Hvis naturlovene hadde variert fra dag til dag og fra sted til sted, eller etter som jorda forandret bevegelse gjennom rommet, hvordan skulle man da kunne skaffe seg et empirisk grunnlag for teoridannelse?

* CERN, Geneve

Symmetriene gir opphav til enkle relasjoner mellom ulike fenomen og er dermed med på å ordne og gi oversikt over de lovmessigheter som er til stede i naturen. Trolig har den høye symmetrien i Keplersystemet slik den manifesterer seg (klassisk) i Keplers lover og (kvantemekanisk) i Balmers formel, framskyndet utviklingen av såvel klassisk som kvantemekanisk teori i vesentlig grad. Særlig innen elemtentærpartikkelfysikken har studiet av symmetrier hatt stor betydning, både som en ledetråd for oppstilling av teoretiske modeller og for å systematisere en ellers uoversiktlig mengde av eksperimentelle data. Vi minner bare om hvordan Dirac ut fra kravet om relativistisk symmetri (og enkelte andre prinsipper) ble ledet til sin berømte elektron-ligning, om betydningen av isospinn (og senere SU(3))-symmetrien i studiet av hadronene og om hvordan symmetribetraktninger i begge tilfeller førte til forutsigelse om nye partikler (positronet og $\Omega^-$).

Symmetriene i elementærpartikkelfysikken inndeles gjerne i to grupper, de indre og de ytre. De indre symmetriene svarer til transformasjoner som forandrer partiklenes egenskaper uten å påvirke deres oppførsel i tid-rommet. Et eksempel er isospinnsymmetrien som er nevnt ovenfor. Ved en isospinn-rotasjon kan et proton transformeres over i et nøytron, og symmetrien under denne transformasjon uttrykker det faktum at kjernekreftene (til en meget god tilnærmelse) ikke gjør forskjell på de to typer partikler. Et annet eksempel er ladningskonjugasjonen C, som transformerer partikler over i deres antipartikler. I en særstilling blant de indre symmetriene står gaugetransformasjonene. Disse finner vi i de moderne gaugeteorier som i dag dominerer i den teoretiske beskrivelse av elementærpartikkelfysikken.

De ytre symmetriene svarer til transformasjoner av partiklenes bevegelse i rom og tid. Til disse hører de relativistiske symmetriene, d.v.s. forskyvninger i tid og rom, rotasjoner og hastighetstransformasjoner (Lorentztransformasjoner). Disse ble først funnet å være symmetrier for Maxwells ligninger, men er forlengst kanonisert til å være fundamentale symmetrier som enhver elementærpartikkelteori må overholde (i hvert fall så lenge gravitasjonseffekter er uten betydning). Det er verd å merke seg at de indre symmetrier vanligvis ikke tilskrives den

samme fundamentale karakter som de relativistiske symmetrier. De kan være overholdt med meget god tilnærmelse, men i de fleste tilfeller finnes det små (eller større) symmetribrytende effekter.

I tillegg til de kontinuerlige relativistiske symmetriene som er nevnt ovenfor, finnes det to diskrete rom-tids-symmetrier, som betegnes P og $T^1$. P er partitetstransformasjonen som tranformerer en prosess over i den speilvendte prosess. Et høyredreid system blir altså ved denne operasjon transformert over i et venstredreid system. T symboliserer tidsreversjontransformasjonen. Den transformerer en prosess over i den prosess som tenkes framkommet ved at tidsretningen reverseres. Kvanteprinsippet knytter på mystisk vis ladningskonjugasjonen C til disse to symmetriene. Det kan nemlig vises at den kombinerte transformasjon CPT er en eksakt symmetri for enhver lokal, relativistisk kvantefelt-teori.

*2. $\theta$-$\tau$ gåten og bruddet på speilingssymmetri*

Det ble lenge antatt at de diskrete transformasjonene P og T, på samme måte som de kontinuerlige rom-tids-transformasjonene, svarte til eksakte symmetrier i naturen. Dette bygde delvis på det faktum at fundamentale teorier, slik som kvanteelektrodynamikken, hadde disse symmetriene innebygd, og det at alle prosesser som var studert i elementærpartikkelfysikken syntes å respektere dem. Men det bygde også på den forestilling at symmetriene P og T hadde en grunnleggende karakter på samme måte som de andre relativistiske symmetriene.

Det som førte til oppdagelen av at P likevel ikke er en eksakt symmetri var et problem som gikk under betegnelse $\theta$ - $\tau$ gåten. $\theta$ og $\tau$ var navnet på to ladde partikler som syntes å ha identiske egenskaper, men med det unntak at de hadde forskjellige desintegrasjonsmoder.

$$\theta \rightarrow \pi^+ \pi^0$$

$$\tau \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

Sluttproduktene her har forskjellig paritet, og en måtte derfor anta at det samme også gjaldt de to partiklene $\theta$ og $\tau$. (Vi minner om at en symmetri vanligvis er ledsaget av en konserveringslov. Spesielt medfører speilingssymmetri bevaring av kvantetallet paritet). Man forsøkte å påvise andre forskjeller hos de to partiklene, som hadde sammenheng med deres forskjellige paritet, men uten resultat. I 1956 foreslo T.D. Lee og C.N. Yang, som løsning på dette problemet, at $\theta$ og $\tau$ i virkeligheten var én og samme partikkel, $K^+$-mesonet, men at partitets- (eller speilings-) symmetrien var brutt ved desintegrasjon av partiklene. Dette kan etterpå synes som en meget opplagt løsning på problemet, men paritetssymmetrien var på dette tidspunkt ansett som en vel etablert symmetri, og det krevde derfor en viss dristighet å foreslå en slik løsning. Det Lee og Yang gjorde var å undersøke om P var en eksperimentelt like veletablert symmetri i de svake vekselvirkninger som i de elektromagnetiske og sterke vekselvirkninger. De fant at dette ikke var tilfelle og foreslo flere eksperimenter for å teste dette forholdet. Få måneder senere utførte C.S. Wu og hennes medarbeidere et eksperiment som gikk ut på å studere $\beta$-desintegrasjon av en radioaktiv kobolt-isotop som var plassert i et magnetisk felt. De fant at elektronene fortrinnsvis ble utsendt i magnetfeltets retning, noe som klart var i strid med en antagelse om speilingssymmetri (se figur 1). Oppdagelsen av bruddet på denne symmetrien førte til at Lee og Yang i 1957 ble tildelt Nobelprisen i fysikk.

*3. Oppdagelsen av bruddet på CP-symmetri*

Etter at bruddet på paritetssymmetri ble oppdaget, ble det foreslått at den kombinerte transformasjon CP i stedet skulle være en god symmetri. Denne tranformasjonen, som er sammensatt av en speiling i rommet kombinert med en transformasjon av partikler over i antipartikler, skulle da svare til den «fysiske» paritetssymmetri, den som naturen strengt skulle overholde. Samtidig ble det antatt at T også skulle være en god symmetri. Denne sammenhengen mellom CP- og T-symmetri følger av det såkalte «CPT-teoremet», som vi har omtalt ovenfor, og som utsier at den kombinerte transformasjon CPT, under svært generelle antagelser, er en eksakt symmetri.

På samme måte som ved oppdagelsen av bruddet på paritetssymmetri, spilte K-mesonet en sentral rolle i oppdagelsen av bruddet på CP-symmetri. Denne gangen var det imidlertid det nøytrale K-mesonet som hadde hovedrollen. Alt fra tidlig på 50-tallet var det kjent at denne partikkelen opptrer i to former, $K^0$ og $\bar{K}^0$. Disse er antipartikler, men har nesten identiske egenskaper. En ting som imidlertid skiller dem, er verdien på et kvantetall som kalles særtallet (strangeness) som er +1 for $K^0$ og -1 for $\bar{K}^0$. CP transformerer $K^0$ over i $\bar{K}^0$ og omvendt. En merkelig egenskap ved disse partiklene er at de kan opptre i en kvantemekanisk tilstand som er en superposisjon av partikkel og antipartikkel. Av spesiell interesse er de tilstander som er egentilstander for CP-operatoren,

$$|K_1^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \{|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle\}, \quad CP = +1$$

$$|K_1^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \{|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle\}, \quad CP = -1$$

Under forutsetning av CP-symmetri vil partiklene $K_1^0$ og $K_2^0$ desintegrere på forskjellig måte, fordi sluttproduktene ved desintegrasjonen er karakterisert ved forskjellige egenverdier for CP-operatoren. Spesielt kan $K_1^0$ desintegrere i to $\pi$-mesoner

$$K^0_1 \rightarrow \{ \begin{matrix} \pi^0 & \pi^0 \\ \pi^+ & \pi^+ \end{matrix}$$

men dette ikke er mulig for $K^0_2$.Den kan imidlertid desintegrere i tre π-mesoner

$$K^0_0 \rightarrow \{ \begin{matrix} \pi^0 & \pi^0 & \pi^0 \\ \pi^+ & \pi^+ & \pi^+ \end{matrix}$$

Siden en desintegrasjon i to π-mesoner er en raskere prosess enn en desintegrasjon i tre π-mesoner fører dette forhold til en forskjell i levetid for de to partiklene. Det nøytrale K-mesonet finnes altså i en kortlivet utgave, gjerne betegnet $K^0_S$, som under forutsetning av CP-symmetrien er identisk med CP-egentilstanden $K^0_1$, og i en langlivet utgave $K^0_L$.$K^0_S$er eksperimentelt påvist å ha en levetid $\tau_S = 10^{-10}$ s mens $K^0_L$ lever 500 ganger så lenge, $\tau_L = 5.10^{-8}$ s.

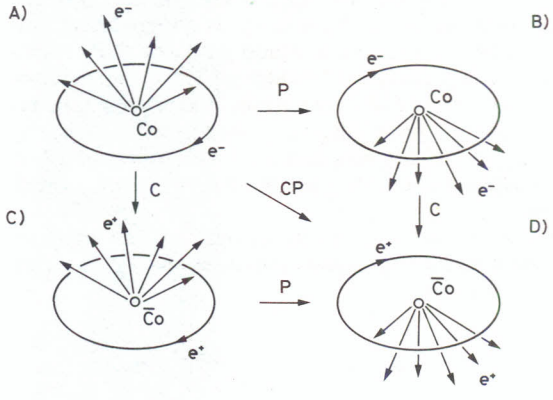
En spesiell egenskap ved $K^0$-systemet er det som går under betegnelsen av regenerasjon. Når en stråle nøytrale K-mesoner passerer gjennom vakuum, vil komponetnen av $K^0_S$-mesoner raskt dø ut, slik at strålen som blir tilbake med god tilnærmelse består utelukkende av $K^0_L$. Hvis denne strålen i neste omgang passerer gjennom materie, vil imidlertid de to komponentene $K^0$ og $\bar{K}^0$, på grunn av forskjellig særtall, vekselvirke forskjellig med atomkjernene slik at den relative fasen mellom disse komponentene forandres. (Dette har en nær analogi i rotasjonen av polarisasjonsplanet til en polarisert lysstråle som passerer gjennom et optisk aktivt medium). En følge av dette er at strålen, etter å ha passert gjennom materien, ikke lenger er en ren $K^0_L$-stråle. En komponent av den kortlivets $K^0_S$ er blitt regenerert ved passeringen gjennom materien.

Som nevnt ovenfor ville CP-symmetri medføre at desintegrasjonsmåten

$$K^0_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

ville være forbudt. Dermed ville også en eksperimentell påvisning av denne gi et bevis for at CP ikke er en eksakt symmetri. Rundt 1960 ble det gjennomført flere eksperimenter hvor desintegrasjon av $K^0_L$ ble studert, og disse satte en øvre grense for den relative hyppighet av denne CP-brytende desintegrasjonsmåte til ca. 1:300. I 1963 ble det imidlertid utført et eksperiment hvor regenerasjon av K-mesoner i et hydrogen-boblekammer ble studert, og hvor man hevdet å finne flere $\pi^+ \pi^+$-par enn det som kunne forklares ved regenerasjon av $K^0_S$. Det var på dette tidspunktet Fitch og Cronin ble enige om å gjennomføre sitt eksperimentet. De ønsket å kontrollere resultatet med de overtallige $\pi^+ \pi^+$-par og studere regenerasjonsfenomenet mer generelt. Eksperimentoppstillingen ville også kunne benyttes til å gi forbedrede grenser for de CP-brytende prosessene.

Eksperimentet til Fitch og Cronin, som ble gjennomført sammen med James W. Christenson og René Turlay, ble utført ved Brookhaven Alternating Gradient Synchrotron på Long Island utenfor New York. En stråle av nøytrale K-mesoner ble her produsert ved å bombardere et beryllium-target med 30 GeV-protoner. Denne strålen passerte gjennom et område hvor den kortlivete komponent $K^0_S$ ville dø ut, slik at den gjenværende stråle utelukkende ville bestå av $K^0_L$.Disse partiklene passerte videre gjennom et helium-kammer og desintegrasjon av K-mesonene i dette kammeret ble registrert av eksperimentoppstillingen. (Heliumet hadde til oppgave å redusere bakgrunnseffektene). Desintegrasjonsproduktene ble detektert av to spektrometerarmer, hver bestående av to gnistkammere adskilt av en magnet (se figur 2). Reaksjoner hvor en ladet partikkel samtidig passerte gjennom hver av spektrometerarmene ble registrert. Vektorsummene av impulsene til partiklene ble funnet og vinkelen mellom denne og $K^0$-strålen, samt den invariante masse ble beregnet (ut fra en antagelse om at de to ladete partiklene var π-mesoner). Ved desintegrasjon av $K^0_L$ i 3π-mesoner ville vinkelen vanligvis




Figur 1.
P, C og CP-transformasjonene illustrert ved kobolt eksperimentet til C.S. Wu. Radioaktivt kobolt er plassert i et magnetfelt, i figuren indikert ved en strømsløyfe. Den prefererte emisjonsretning for elektronene, som er langs mangetfeltets retning, definerer sammen med bevegelsesretningen til elektronene i strømsløyfen et venstredreid system (A). Ved speilingstransformasjonen P forandres dette til et høyredreid system (B), og en kommer dermed i konflikt med det eksperimentelle resultat. Ladningskonjugasjonen C transformerer partikler over i antipartikler, uten å forandre retningene i rommt. CP kombinerer denne transformasjonen med en speiling av retningene.

være forskjellig fra null, men ved desintegrasjon i $2\pi$-mesoner ville den være lik null.

Det gruppen fant var et overskudd av reaksjoner med impuls i foroverretnignen. De analyserte nøye disse dataene og fant at både vinkelfordeling og invariant masse var identiske med det en fikk ved reaksjonen $K_S^0 \rightarrow 2\pi$, når $K_S^0$ ble regenerert ved å plassere et stykke wolfram inn i $K^0$-strålen. Dataene ville altså være i overensstemmelse med en antagelse om at det foregikk en viss regenerasjon av $K_S^0$ i desintegrasjonsområdet for $K_L^0$. Men antallet reaksjoner var betydelig større enn det som kunne tilskrives regenerasjon i helium. Ut fra et totalt antall på 22700 $K_L^0$-desintegrasjoner ble det funnet 57 reaksjoner i foroverretningen, mens forventet antall slike reaksjoner ut fra regenerasjon i eksperimentoppstillingen var 11. Resultatet av eksperimentet fikk gruppen til Fitch og Cronin til å trekke den konklusjon at den CP-«forbudte» reaksjon $K_L^0 \rightarrow 2\pi$ forekom med en hyppighet $R = (2{,}0 \pm 0{,}4) \cdot 10^{-3}$ relativt til alle ladete desintegrasjonsmoder[2].

Siden 1964 har det vært gjennomført en rekke andre eksperimenter for å undersøke CP-brudd ved desintegrasjon av K-mesoner. De har gitt resultater som har bekreftet konklusjonen til Fitch og Cronin. I disse eksperimentene har også interferens mellom $\pi$-mesoner produsert ved $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ og $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ blitt studert. Slike undersøkelser gir tilleggsinformasjon om de relative faser til amplitudene for reaksjonen. Ut fra slike opplysninger er det mulig å påvise eventuelle brudd på T- og (CPT)-symmetri uavhengig av bruddet på CP-symmetri som ble funnet av Fitch og Cronin. Eksperimentene tyder da også på at tidsreversjonssymmetrien virkelig er brutt ved desintegrasjon av K-mesoner, men resultatene her er ikke like entydige som for CP-bruddet.

Brudd på CP-symmetri er også påvist ved andre desintegrasjonsprosesser enn de som er nevnt ovenfor, bl.a. ved

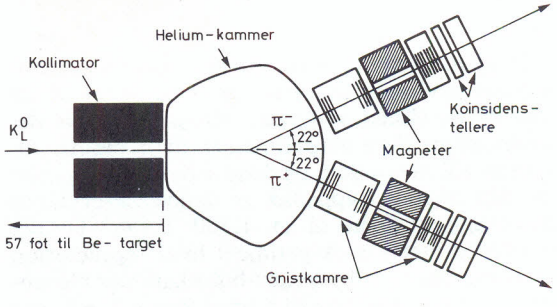
$$K_L^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu, \quad K_L^0 \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}$$

Det viser seg at den første av disse prosesser forekommer litt hyppigere enn den andre (0,3 %). Det interessante her er at en direkte ser hvordan bruddet på CP-symmetrien gjør det mulig å skille på en absolutt måte mellom materie og antimaterie. Man kan for eksempel identifisere positronet (i motsetning til elektronet) simpelthen ved å henvise til hvilken av disse to prosesser som foregår oftest. Hvis vi for et øyeblikk vender tilbake til problemstillingen vi nevnte innledningsvis, ser vi nå hvordan vi kan overføre informasjon om hva vi mener med høyre og venstre. Ved å henvise til prosessene ovenfor er det mulig å fastlegge hva vi mener med materie (i motsetning til antimaterie), og ved i tillegg å vise til den paritetsbrytende prosess i Wu's koboltekspriment ville det være mulig å forklare de intelligente vesener ute i universet hva vi mener med et høyredreid system.

*4. Mulige teoretiske forklaringer på CP-bruddet*

Et typisk trekk ved CP-bruddet er at det er en uhyre svak effekt, f.eks. sammenlignet med bruddet på paritetssymmetri. Det er bare de spesielle egenskaper til $K^0$-systemet som i det hele tatt har gjort det mulig å påvise den. Av denne grunn ble det kort tid etter at CP-bruddet var påvist foreslått at det egentlig var en «supersvak» vekselvirknig, betydelig svakere enn den vanlige svake vekselvirkning, som er opphav til effekten. I prinsippet skulle det være mulig å teste en slik teori, fordi den forutsier også andre målbare effekter, f.eks. at nøytronet skulle ha et lite elektrisk dipolmoment. Men effekten er uhyre liten, og det har foreløpig ikke vært mulig å påvise den eksperimentelt.

I de senere år har det vært en betydelig økning i interessen for bruddet på CP-symmetri og muligheten for å forklare dette innenfor rammen av de gaugeteorier som nå regnes å gi en beskrivelse av de fundamentale vekselvirkninger i elementærpartikkelfysikken[3]. Den enkleste utgaven er Weinberg - Salam - Glashow - modellen for de elektrosvake vekselvirkninger forutsier ingen CP-brytende effekter. Men en videreutvikling av denne, lansert av M. Kobayashi og T. Maskawa i 1973, og som inneholder flere fundamentale partikler enn WSG-modellen, har innebygd CP-brudd på en naturlig måte. Som et interessant trekk ved denne modellen kan vi nevne at CP-bruddet her avhenger av at det eksisterer minst tre partikkel-familier. Disse tre familier synes å være funnet eksperimentelt, med e, $\mu$, og $\tau$-leptonene som representative medlemmer fra hver av familiene. En annen modell som settes i forbindelse med bruddet på CP-symmetri, ble innført av T.D. Lee i 1974 og senere videreutviklet av Steven Weinberg. Dette er en modell med flere Higgsfelter, og CP-bruddet framkommer her ved det som kalles spontant symmetribrudd. Det vil si




Figur 2
Skjematisk framstilling av eksperimentet til Christenson, Cronin, Fitch og Turlay, der en for første gang viste at $K_L^0$ kan disintegrere i to $\pi$-mesoner.

at bruddet ikke er innebygd i de dynamiske ligninger, men det framkommer ved at vakuumtilstanden i modellen er karakterisert ved forventningsverdier for Higgsfeltene som er forskjellig fra null, og som heller ikke er symmetrisk under CP-transformasjonen.

En tredje mulighet, som ble foreslått av Gerard't Hooft i 1975, setter CP-bruddet i sammenheng med den moderne teori for de sterke vekselvirkninger (QCD)[4]. I denne teorien forekommer det en effekt som gjerne går under betegnelsen «instanton». Denne effekten, som er en spesiell slags eksitasjon av gluon-feltet i QCD, kan gi opphav til brudd på CP. Styrken av dette bruddet måles av en parameter $\theta$, men verdien av denne er ikke bestemt av teorien. Problemet med denne forklaringen er imidlertid å forstå hvorfor den CP-brytende effekt er så liten. Det er beregnet at man må ha $\theta \lesssim 10^{-9}$for ikke å komme i motstrid med den eksperimentelle situasjon, og det er vanskelig å forstå hvordan en så liten parameterverdi kan framkomme på en naturlig måte i teorien.

Vår forståelse av opphavet til den CP-brytende effekt, som først ble påvist av Cronin og Fitch, er altså fortsatt mangelfull. Som nevnt ovenfor eksisterer det flere modeller som gir en mulig forklaring på effekten, men foreløpig har det ikke vært mulig å teste modellene når det gjelder andre konsekvenser av CP-bruddet. Imidlertid er det håp om at forbedrete eksperimentelle data kan bringe oss noe videre på dette området. Disse forhåpninger er spesielt knyttet til målinger av nøytronets elektriske diplomoment. Det er mulig at forbedret eksperimentell teknikk i løpet av de nærmeste par år kan gi resultater her som skiller mellom enkelte av de foreslåtte modellene.

La oss til slutt nevne at selv om den CP-brytende effekt er meget svak, er det mulig at den er medansvarlig i et forhold som slett ikke er neglisjerbart, men tvert i mot har hatt stor betydning for utviklingen av universet som helhet og dermed også for vår egen eksistens. Det vi sikter til er den asymmetri mellom materie og antimaterie som synes å være til stede i universet. Ut fra standardmodellen for universets utvikling (populært kalt Big Bang) er det ikke helt lett å forklare hvordan en slik asymmetri kan oppstå. Bruddet på CP-symmetri innfører imidlertid et absolutt skille mellom materie og antimaterie, og sammen med enkelte andre effekter som forutsies av noen av de nyere modeller for elementærpartiklene - spesielt det at baryontallet ikke er bevart - har det vært vist at dette kan ha vært med på å utvikle universet i retning av den tilstand med overvekt av materie, som vi observerer i dag. Vi vil derfor som avslutning si at det brudd på CP-symmetri man finner i naturen muligens spiller en langt mer betydelig rolle enn det som i første omgang kunne synes naturlig å tilskrive denne svake effekten. Fra et teoretisk synspunkt er denne effekten i tillegg av stor betydning fordi en forståelse av opprinnelsen til CP-bruddet synes direkte knyttet til forståelsen av de fundamentale vekselvirkninger i naturen.

*Referanser*


1. En mer omfattende, populær framstilling av de diskrete rom-tids-transformasjonene finnes hos E. P. Wigner, Scientific American, desember 1965, s. 28.
2. J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch og R. Turlay, Phys. Rev. Letters, *13*. (1964) 138. Se også Nobelprisforedragene til Cronin og Fitch i Reviews of Modern Physics, vol. 53.
3. F. Ravndal, Fra Fysikkens Verden 1979, nr. 3, J.O.Eeg, Fra Fysikkens Verden 1980, nr. 2 og 3.
4. Hvis det i naturen finnes partikler med både elektrisk og magnetisk ladning ville CP-brudd også kunne forklares innen rammen av vanlig elektromagnetisme. Se J.M. Leinaas, Nuovo Cimento *15A* (1973) 740.


---

Forts. fra side 56.

sammenlikne de finere detaljer i de spredningsmønstrene en måler og derved finne bindingseffekter og elektrontetthetsfordelinger i disse. Kapittel tre behandler dette området og tar også opp de feilkilder og korreksjoner som en må være oppmerksom på.

Neutronspredning er uovertruffen når det gjelder å bestemme magnetiske strukturer pga. den spesielle magnetiske vekselvirkningen med uparrede elektroners spinn. De forunderligste magnetiske spinnstrukturer er blitt oppdaget, ferromagneter og antiferromagneter og skrueformete mønstre med stigningsforhold kommensurable eller ikkekommensurable med de atomære ordningsmønstre i krystallen. Gruppeteoretiske argumenter er svært vesentlige for å tyde neutronspredningen de gir opphav til. Kapittel fire tar oss gjennom dette hovedområdet for neutronanvendelse.

Kapittel fem behandler neutronspredning fra uordnete systemer. Uorden av ulike slag og grad vil føre til endringer i bredde og intensitet av Braggrefleksjonene, og vi får også neutroner spredd ut i vinkelområder mellom Braggrefleksjonene. Tar vi vare på disse informasjonene kan vi regne oss tilbake til uordensfenomenene i krystallene. Mange metallegeringer viser faseoverganger mellom orden og uorden.

Dette leder naturlig over til kapittel seks som behandler faseoverganger og kritiske forhold i temperaturområdet nær overgangen. Magnetiske systemer er blitt hovedutprøvingsområdet for teorier for kritiske fenomener, og neutronspredning er derfor en dominerende eksperimentalteknikk i feltet. Kapittel sju viser hvordan neutronspredning kan anvendes til undersøkelse av organiske molekyler både ved vanlig diffraksjon og ved småvinkelspredning.

Spredning fra væsker omtales i kapittel 8, og i det siste kapittel får vi en innføring i virkemåten og anvendelsene av neutroninterferometre der en kan trikse med neutronenes materiebølger og få frem forbausende effekter.

For å få fullt utbytte av boka bør en først ha forstått grunnlaget for neutronspredning. Men deretter ligger veien åpen til å få et innblikk i hva som bedrives av halsbrekkende neutronfysikk ved de nye høyfluksinstallasjonene og hvilke anvendelsesmuligheter neutronteknikken har. Boka bør finnes i ethvert fysisk bibliotek og egner seg til bruk for forskere og studenter innenfor faststoffysikk.

*Olav Steinsvoll*

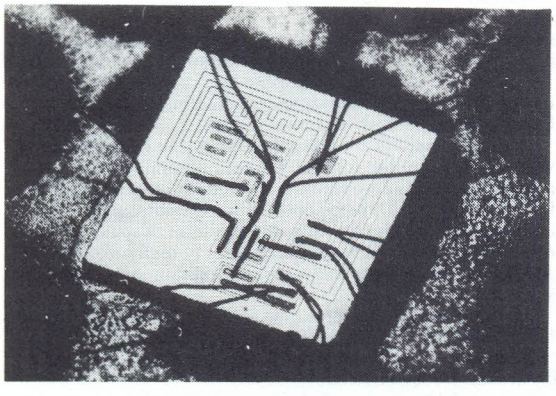
# Fra «molekylære halvlederkomponenter» til «Large scale intergrated circuits» Mikroelektronikk gjennom 20 år ved SI

*Leif Halbo**

«Kjennskap til stoffenes oppbygging har ført til en bemerkelsesverdig utvikling av elektroniske komponenter, særlig i USA og Japan. Disse komponenter er bedre og billigere enn de som tidligere er brukt, og samtidig tar de langt mindre plass. I første omgang dreier det seg om transistorer og dioder. Senere vil komme enda flere typer og mer integrerte kretser. SI har sett det som en viktig oppgave å søke og legge forholdene til rette for en norsk industri innen dette området. Det er lykkes å fremstille en wheatstone brokopling som man regner med kan få anvendelse i strekklapper, trykktransducere, etc. Man har også kunnet reprodusere og delvis forbedre fremstillingen av en planardiode som kan danne grunnlag for mer integrerte kretser».

Slik lyder et utdrag av Sentralinstituttets årsberetning for 1961 som viser den spede begynnelse for norsk innsats på feltet mikroelektronikk.

I denne artikkelen skal vi gi noen glimt fra halvledervirksomheten fra begynnelsen til i dag, da aktiviteten feirer 20 år i Norges hovedsentrum for anvendt forskning på mikroelektronikk teknologi og konstruksjon.



En av de første «integrerte kretser» laget i Norge, 1963, størrelse ca. 1 x 1 mm. Komponentene er koplet sammen ved at ledninger forbindes direkte til hver komponent på brikken.

*) Sentralinstitutt for industriell forskning, Oslo.

**Sterk satsing - store ambisjoner**

Allerede i 1962 begynte arbeidet med å sette opp en prøvelinje for produksjon av dioder, transistorer, motstander og de første spede forsøk på integrerte kretser. Industridepartementet og NTNF fulgte opp med en større bevilgning året etter, og høsten 1963 sto prøvelinjen ferdig. Praktisk talt alt utstyr var hjemmelaget: diffusjonsovner, vakuum pådampingsanlegg og optisk utstyr for å lage fotomaskene og overføre diffusjons- og etsemønstre til silisiumskivene. Til og med groing og rensing av silisium enkrystallene prøvde man seg på. Allerede i 1964 var bemanningen i prosjektet 18 personer, og dette nivået har man holdt nær konstant helt til i dag. Også finaniseringen har vært temmelig stabil, det meste har vært NTNF-bevilgninger (40-60%), mens 10-20% har vært direkte industrioppdrag og resten intern SI-bidrag.

**Industriell virksomhet**

I 1965 ble det første store mål nådd: starten av Akers Electronics, i Horten, norsk pionerbedrift for mikroelektronikkproduksjon. Navnet fikk den p.g.a. de økonomiske interessene i bedriften fra Akergruppen. Dette navnet er senere endret til Aksjeselskapet Mikro-Elektronikk (AME), som nå er vokst til vel 200 ansatte. Fremdeles er AME landets eneste spesialbedrift for mikroelektronikk - selv om andre bedrifter har tatt opp enkelte aspekter som del av sin aktivitet.

Bedriften leiet SIs produksjonslinje i begynnelsen, og nytt produksjonsustyr ble også utviklet på SI. I de 15 år siden starten har kontakten mellom AME og SI hele tiden vært intim. Nøkkelpersoner i bedriften har fått sin opplæring i SI's mikroelektronikkgruppe. Instituttet har utviklet ny teknologi, nye metoder og spesialkomponenter (bl.a. sensorer) som senere er blitt satt i produksjon på AME.

**Hydridteknikk med tynnfilm og tykkfilm**

For å kombinere de nye komponentene og enkle monolittkretser til mer kompliserte kretser, ble tynnfilmteknikk startet opp i 1963.

**I tynnfilm hybridkretser** lager man ledningsmønstre og motstander på et isolerende glass-substrat ved vakuum pådamping av tynne metallfilmer,

der man danner ønskede mønstre ved en fotolitografi- og etseprosess.

Monolittiske integrerte kretser og diskrete komponenter limes oppå i form av nakne brikker, som forbindes til tynnfilm-mønstre ved «bonding» med tynne tråder av gull eller aluminium.

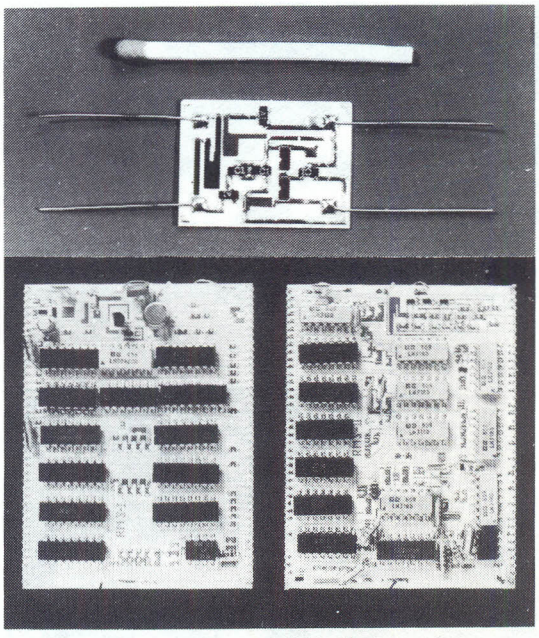
Den første store anvendelsen av tynnfilmteknikken var en frekvenssyntetisator, der SI bisto AME med tynnfilm teknologiutvikling. En produksjonslinje ble snart startet opp i Horten, mens SI fortsatte med utvikling av nye metoder for å definere finere mønstre, bruke flere lag metall, motstander og dielektriske sjikt oppå hverandre, e.t.c. Tynnfilm hybridteknikk ble avsluttet som et eget prosjekt på SI i 1978. Det anses som en meget vellykket aktivitet, i og med at det nå inngår som et hovedelement i AME's produksjon av mange elektroniske systemer.

**I tykkfilm hybridteknikk** lager man også ledningsmønstre og motstander i mange lag på et isolerende underlag (aluminiumoksyd). Her lages mønstrene ved å presse pastaer med egnet ledningsevne gjennom mønster i en finmasket duk, tilsvarende grafikkmønstre laget i silketrykk. Mellom hvert lag har man et isolerende sjikt.

Utvikling av denne teknikken ble startet på SI i 1967. Metoden gir vesentlig høyere komponenttetthet, bedre pålitelighet og bedre varmebortledning enn trykte kretskort, og den vakte raskt interesse i industrien.

Etter hvet har 6 bedrifter og institusjoner startet egen tykkfilmaktivitet, med opplæring og bistand fra SI.

Også tykkfilm ansees for å ha vært et meget vellykket prosjekt. Det er nå trappet ned til et lavt nivå på SI, ettersom industrien selv behersker metoden. Men SI har utstyret i drift og påtar seg fremdeles spesielle oppdrag.

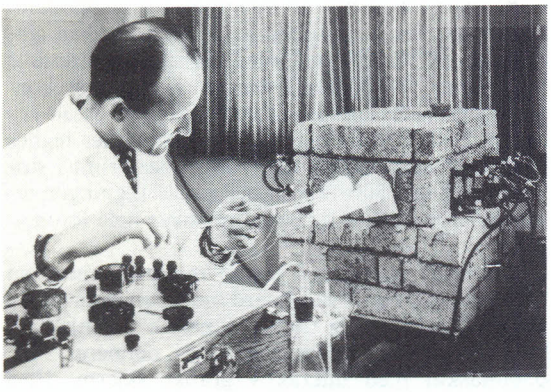


Øverst tidlig tykkfilmkrets (1970), og under to store kretser laget i 1976 i samarbeid med Nortronic A/S for lydmåleutstyr. De to kretsene inneholder henholdsvis 76 og 65 trykte og trimmede motstander. Diskrete kondensatorer, transistorer og kapslede integrertkrets pakker er loddet oppå. Substratstørrelse 3" x 4".

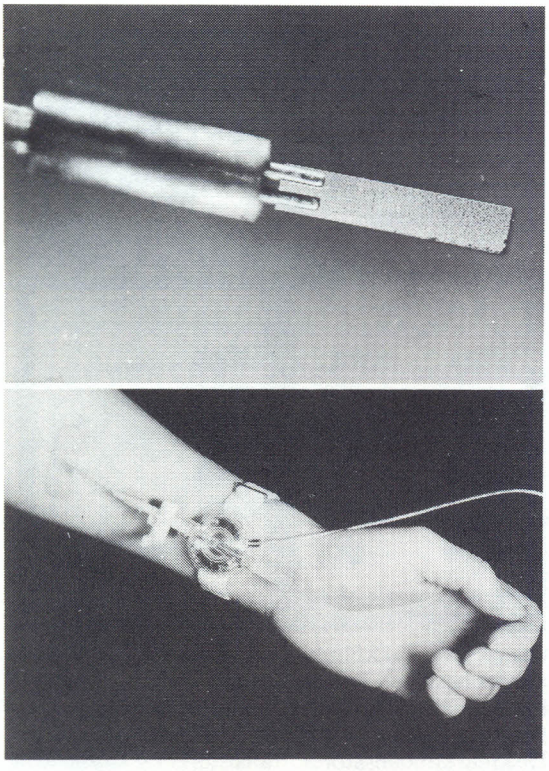
**Sensorer - like viktige i dag som i 60-årene**

Som nevnt i innledningen var en trykksensor - basert på piezo-motstandseffekt i diffunderte motstander i en silisium «bjelke» - blant de første komponenter som ble laget på SI. Senstoren ble patentert, og teknologi og anvendelser er senere blitt raffinert gjennom mange år. AME tok allerede i starten opp produksjon av komplette transducere for trykk, akselerasjon, posisjon, etc., basert på elementet, og disse komponentene har dannet hjørnesteinen i bedriftens viktige tranducervirksomhet. Et nytt, lovende trykkelement, basert på tynt silisium membran istedenfor bjelken, er utviklet av SI/AME i de siste år.

For 8 år siden ble SIs sensoraktivitet utvidet til å omfatte fotodioder og fototransistorer. Disse kan lages i standard analoge integrert-krets prosesser, og egner seg derfor godt til integrering med signalbehandlingselektronikk på en brikke. Fotodetektorer laget i spesielle, optimaliserte prosesser er senere også utviklet: PIN-dioder, foto-lavinedioder, fotodioder basert på naturlig inversjon i et overflatesjikt, etc.



Siv.ing. Olaf Stavik med hjemmelaget diffusjonsovn og dopesystem. Etter å ha ledet halvlederarbeidet ved SI i en rekke år, fortsatte han sin virksomhet ved A/S Mikro-Elektronikk i Horten. (En moderne diffusjonsovn er i dag 5 m lang og koster ca. kr. 400.000,00).



Øverst den første halvledersensoren utviklet ved SI. i sin endelige utforming. Lengde på elementet: 10 mm. Mønsteret mellom elektrodene er en diffundert motstand, hvis motstandsverdi endrer seg om SI-bjelken bøyes av en kraft perpendikulært på papirplanet. Følsomheten økes ved at en motstand oppå og en motstand under bjelken koples sammen med to passive motstander i en Wheatstone bro.

Under er sensoren anvendt i blodtrykksmåler. Blodet kommer bare i kontakt med et plastkammer som steriliseres og brukes bare én gang. Ing. Odd Eriksen, SI, som oppfinner, og AME som produskjonsbedrift, fikk Norsk Industris Designpris, og gullmedalje i Leipzigermessen, for denne transduceren i 1972.

**Monolittisk integrering - fra enkeltkomponenter mot «Very large scale integration»**

Selv om silisium planarteknikk ble tatt opp allerede i starten for enkeltkomponenter og de første primitive integrerte kretser, var det først i begynnelsen av 70-årene at det ble satset på større integrering. Målsetningen med prosjektet «Integrerte kretser» var å:

Hjelpe industrien til å ta i bruk egenkonstruerte («kundespesifiserte») monolittkretser for spesielle formål.

Utvikle teknologi som AME kunne overta for produksjon av slike kretser.

Bipolare prosesser for analogkretser med sperrespenning 50 V og 25 V på transistorene ble utviklet og overført til AME's produksjonslinje. I 1971-75 arbeidet man med P-kanal og komplementær MOS teknologi. Industrien syntes imidlertid ikke å være klar til å benytte MOS for spesialkonstruerte kretser, og MOS ble midlertid lagt til side. I stedet ble bipolar integrert injeksjonslogikk ($I^2L$) tatt opp i 1975. Fordelene ved $I^2L$ er bl.a. lavt effektforbruk og lite brikkeareal pr. logisk port, hvilket gjør $I^2L$ godt egnet for store, kompliserte kretser. Man kan også enkelt kombinere $I^2L$ med en raskere emitterkoplet logikk (ECL) eller med analoge komponenter på samme brikke og oppnå økonomiske kombinasjonskretser.

Denne teknologien er til nå anvendt til syv norske spesialkretser, utviklet i samarbeid med forskjellige brukerbedrifter.

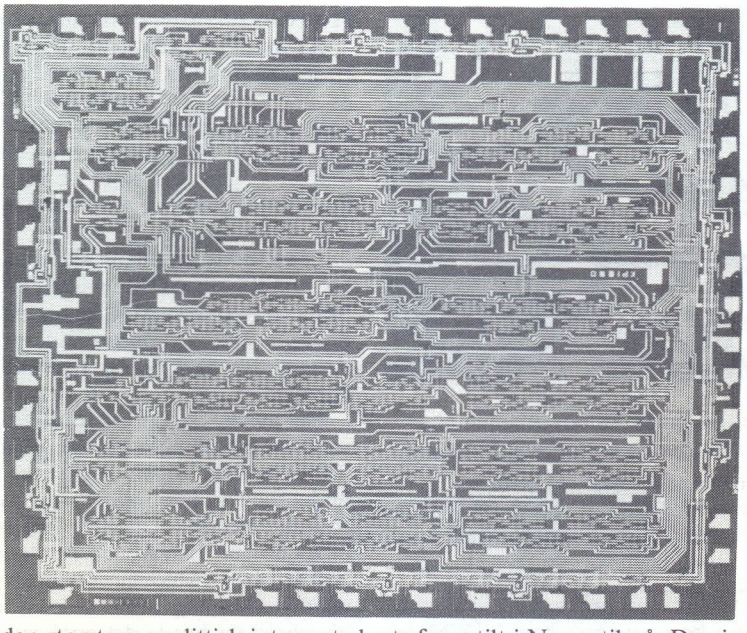
For å kunne øke komponentantallet på en brikke og kunne lage raskere og mere pålitelige logiske kretser, er det nødvendig å redusere brikkearealet pr. komponent. Dette er nå et hovedpoeng i SIs teknologiutvikling. Ved bruk av bedre fotomasker, mer avansert fotolitografisk utstyr for overføring av mønstrene til silisiumskivene, bedre etseteknikk etc. - arbeides det med å redusere de minste dimensjonene fra 10 til 5 µm, og i løpet av de kommende 4-5 år er målet å nå 2µm. I denne perioden skal også CMOS tas opp igjen; denne teknologien med sitt lave effektforbruk og raske utvikling i hastighet synes å egne seg til mange behov i Norge såvel som utenlands.

I mange år etter starten av monolittisk interert kretsutvikling på SI var det interesse for prosjektet bare fra et par industribedrifter. Interessen er nå raskt stigende. Dette skyldes flere faktorer: økende kunnskap om fordelene ved egenutviklede integrerte kretser i industrien, - mer moden teknologi og bedre konstruksjonsverktøy.

**Konstruksjon - nøkkelaktivitet for komplekse monolittkretser**

Kretskonstruksjon og uttegning av komponentmønstrene for framstilling av fotomasker kan gjøres med enkle, manuelle metoder så lenge kretsene inneholder $< 100$ komponenter. Elektronisk kontroll av en krets kan gjøres ved måling på bread-board modell. For framstilling av fotomasker tegnes mønsteret som svarer til hvert prosesstrinn i stor målestokk (ca. 500:1) på farget plast. Tegningen reduseres fotografisk og repeteres over hele fotomasken.

For store kretser er denne manuelle metoden uhensiktsmessig. Bread-board modellen erstattes av logisk simulering og transientanalyse ved hjelp av datamaskin. Komponentmønsteret defineres i en datamaskin med interaktiv grafisk skjerm. Hele kretsens komponentgeometri lagres på databånd og overføres direkte til fotoplater med en data-styrt laserstråle som eksponerer hver plate i det riktige



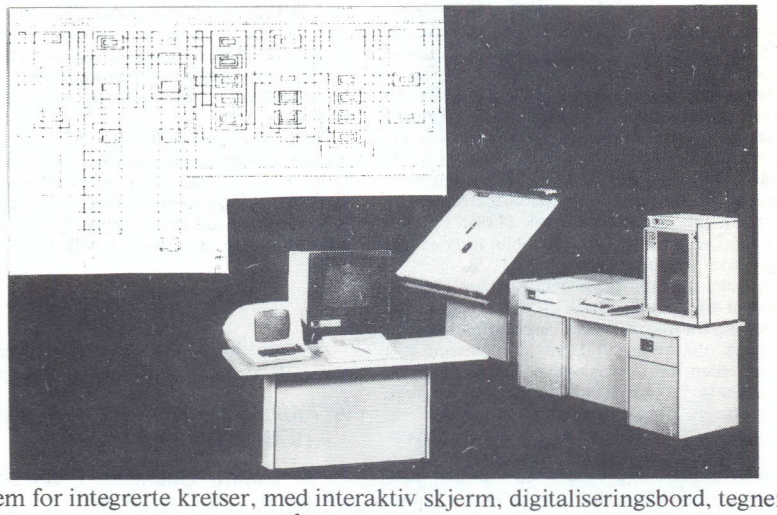
Mikrofotografi av den største monolittisk integrerte krets fremstilt i Norge til nå. Den inneholder vel 800 portekvivalenter integrert injeksjonslogikk ($I^2L$), dessuten analoge transistorer og motstander. Brikkestørrelse: 4,5 x 5,5 mm. Kretsen ble laget i samarbeid SI/Elektrisk Bureau i 1979-80.

mønsteret.

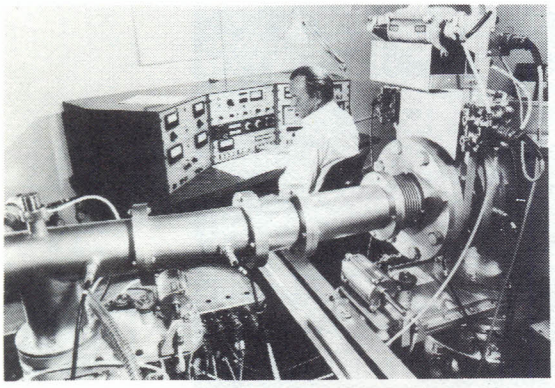
I de siste år har SI lagt økende vekt på moderne konstruksjonsmetodikk. Nylig er mottatt et interaktivt utleggssystem for NTNF-midler (pris ca. 2 mill. kr.) som vil rasjonalisere utleggene meget vesentlig. Dette vil gi grobunn for et godt konstruksjonsmiljø og et bedre tilbud til industrien.

**Også fremtidig behov for kompetansesenter i mikroelektronikk**

Det er klart for alle at mikroelektronikk vil få en enorm betydning i de neste 10-20 år overalt i verden. Tross vår velstand vil Norge, som et lite land med relativt små ressurser, stort sett være henvist til å lære seg å bruke det som utvikles andre steder. Men det er industripolitisk målsetting i Norge å satse på «intelligens-industri». Norsk konstruert og norsk produsert mikroelektronikk, spesielle komponenter og kombinasjoner sensorer/integrert elektronikk, er blant de beste eksempler man kan tenke seg på slik kunnskapskrevende industri. Spesielle, gode løsninger gir nisjer på verdensmarkedet, små nok til at halvledergigantene ikke finner det bryet verd å ta opp konkurransen. Slike løsninger



SIs nye utleggsystem for integrerte kretser, med interaktiv skjerm, digitaliseringsbord, tegnemaskin og datamaskin. Innfelt vises uttegnet detalj av en $I^2L$-krets.



For kritiske formål introduseres dopeelementene i integrerte kretser ved ione-implantering. Ioniserte bor- eller fosforatomer skytes inn i silsiumskiven med en energi som svarer til 50-400 kV. Dette krever relativt komplisert utstyr, som her demonstreres av forsker Halle Sandmo.

fremkommer ofte ved at man bruker teknologi som ikke er standard, og komponenter som ikke er del av «biblioteket» man får tilbudt hos utenlandske prosesshus.

Behovet for fagfolk med solide kunnskaper om grunnleggende halvlederteknologi og konstruksjon øker, ettersom mikroelektronikken blir mer komplisert. Det er viktig å ha ett eller flere sentra hvor industrien kan rekruttere folk med slike kunnskaper. SI ser det som sin målsetting å hjelpe industrien på disse punktene også i fremtiden.

**Hvordan finansiere mikroelektronikkutvikling?**

Anvendt forskning og utviklingsarbeid på mikroelektronikk har hittil hovedsaklig vært finansiert av NTNF - på SI og ELAB/NTH, på AME og i andre industribedrifter. Millitære prosjekter har pågått på FFI. SIs prosjekt «Integrerte kretser» har i mange år vært det største enkeltprosjekt finansiert av NTNF's Komite for teknisk fysikk og elektronikk (TE-komiteen).

I fremtiden vil denne aktiviteten øke i betydning for norsk industri. Men siden kretsene øker i kompleksitet, blir konstruksjonen mer krevende og teknologien mer avansert. Videre utvikling av konstruksjonsmetodikk og ny teknologi vil bli mer kostbar.

Det synes klart at man må finne nye måter å finansiere utviklingen på dette viktige feltet, i tillegg til nåværende kilder. Industrien må sterkere inn i bildet med direkte finansiering av oppdrag og/eller basisfinansiering. Offentlig finansiering ved direkte bevilgninger, tilsvarende bevilgninger til alternativ energi og til «Mikroprosessorutvalget» vil bli nødvendig. Offentlig støtte til internasjonale samarbeidsprosjekter burde det også satses mer på - da får Norge bedre kontakt med andre miljøer og kan trekke på kompetansen opparbeidet der.

Betydelig økt finansiering vil være nødvendig i løpet av de kommende 3-5 år - om ikke Norge skal bli grundig akterutseilt i mikroelektronikk konstruksjon og teknologi.

## BOKMELDING

*F. Mezei (ed.):* Neutron Spin Echo. Proc. of workshop, Oct. 1979, Grenoble. 253 s., DM 33,-.

I 1979 ble det første internasjonale møtet om neutron spinn ekko (NSE) avholdt. Den første del av boka går grundig gjennom teorien og virkemåten for NSE. En nytter seg her av neutronenes polarisasjons- og presesjonsegenskaper til å markere neutronstrålen slik at en seinere kan ta rede på de hastighetsendringer som neutronene har gjennomgått ved en spredningsprosess. Neutronspinnets Larmor-presesjon i et ytre magnetisk felt kan betraktes som en «spinnklokke» som er festet til hvert enkelt neutron. Etter spredningen kan en avlese «spinnviseren» hvordan neutronet har merket tidsforløpet under eksperimentet. På denne spesielle måten kan en måle meget små hastighetsendringer til neutronene, av størrelsesorden nanoelektronvolt. I 1977 ble det første spinn ekko spektrometer (IN 11) satt i prøvedrift ved Institute Laue-Langevin (ILL) i Grenoble. Etter en del testing og justeringer kom instrumentet i gang i 1978.

Den andre del av boka inneholder en oversikt over eksperimenter der metoden er blitt brukt. Dette gjelder særlig kvasielastisk neutronspredning fra makromolekylære stoffer, slik som polymerer. Neutronene blir her spredd fra atomer som er i «langsom» bevegelse, enten indre rotasjoner i kjedene, eller de diffunderer i en oppløsning. Inntil nylig har en bare kunnet nytte lysspredning (foton korrelasjonsspektroskopi) og røntgen- og neutronsmåvinkelspredning for å få innblikk i struktur og dynamikk i slike systemer. Ved å kombinere NSE og neutronsmåvinkel spredning har en fått så god energioppløsning at en kan skille ut de dynamiske egenskapene. Dette har stor interesse i studier av biologiske systemer der en mer og mer heller til den oppfatning at ikke bare de strukturelle, men også de dynamiske egenskapene har mye å si for de biologiske molekylers virkemåte. NSE er også blitt brukt til undersøkelser av dynamikken i spinn glass og til studier av eksitasjonene i superflytende He.

I det siste kapitlet får vi en gjennomgang av framtidsplanene for NSE i Grenoble. Siden boka kom ut har en allerede tatt i bruk et kombinert treaksespinn ekko neutronspektrometer. Ved hjelp av NSE vil en kunne skille ut virkningen av termisk diffus spredning (TDS) i vanlige diffraksjonseksperimenter.

I en appendiks finnes reproduksjoner av de første artikler vedrørende NSE og også en del andre eksperimentelle resultater fra bruken av NSE.

Boka gir en god innføring i NSE-teknikken og fordelene ved bruken av metoden innen ulike felt. Den eneste skjønnhetsfeilen finnes på side 32 der den høyre illustrasjonen må snus 90 grader forat den skal gå sammen med den venstre illustrasjonen. Boka egner seg som en første innføring i feltet og er også en nyttig oppsummering av status for NSE i 1979.

O. Steinsvoll.

Følgende bøker er ankommet fra *Gordon and Breach Science Publishers, London:*

*S. Fujita (ed.):* The Ta-You Wu Festschrift. London 1978, 334 s. £ 30.60.

*S. N. Gupta:* Quantum Electrodynamics, London 1978, 226 s. £ 25.30.

# Plasmafysikk i ionosfæren - ionosfæren i plasmalaboratoriet

# Del II

*Jan Trulsen**

Etter innledningen i første del av denne artikkelen vender vi oss nå til et par eksempler for å belyse vår opprinnelige påstand om at ionosfære- og plasmafysikk er i ferd med å vokse sammen gjennom gjensidig stimulering. I utgangspunktet er dette naturlig idet begge disse grener behandler den ioniserte tilstand. De to grener har imidlertid hatt forskjellige tradisjoner. Hva som nå skal skje er at ionosfærefysikerne oppdager at etter hvert som kunnskapsmengden øker så trenges stadig mer av grunnleggende plasmafysikk for å forklare observerte fenomener. Fra den andre side oppdages samtidig mulighetene til å benytte ionosfæren som et laboratorium for aktiv eksperimentering.

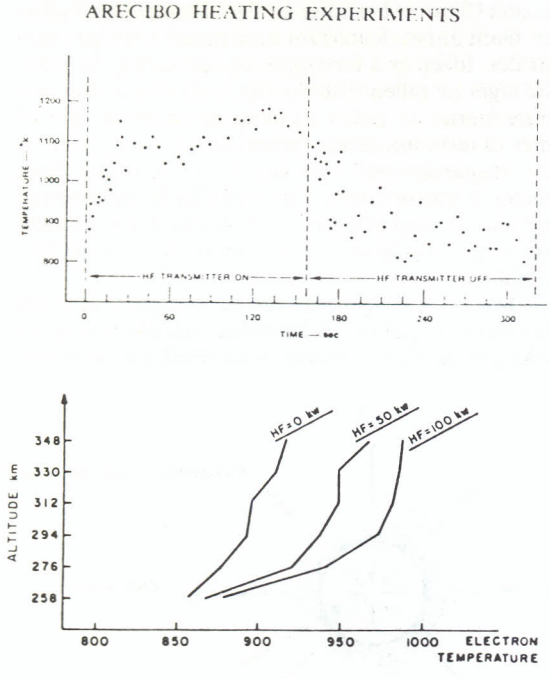



Fig. 7 Oppvarming av ionosfæren ved hjelp av radarbølger (Gordon og Carlson, Radio Science **9**, 1041, 1974).

*) Universitetet i Tromsø

*BØLGE-BØLGE VEKSELVIRKNING*

Vi har innledningsvis nevnt plasmaets rikdom på naturlige bølgemoder. Vårt første eksempel gjelder derfor ikkelineær vekselvirkning mellom slike bølger[5].

Anta at vi har 3 naturlige bølgemoder med frekvens, bølgetallsvektor $(\omega_i, \underline{k}_i)$, i = 1,2,3. For å være konkret, la oss anta at de tre moder er henholdsvis en elektromagnetisk, en ioneakustisk og en Langmuir bølge. Anta i tillegg at disse modene tilsammen oppfyller tilleggsbetingelsene.

$$\omega_1 = \omega_2 + \omega_3$$

$$\underline{k}_1 = \underline{k}_2 + \underline{k}_3.$$

Disse kan oppfattes som bevaringslover for henholdsvis energi og impulsmoment mellom bølgekvanter av de gitte moder.

Betrakt nå uttrykket for den elektriske strømtetthet i plasmaet

$$\underline{j} = \Sigma q_i n_i \underline{v}_i.$$

Vi har summert bidraget til strømtettheten fra hvert partikkelslag i plasmaet. Hver bølgemode vil gi opphav til oscillerende komponenter av tetthet og drifthastighet for hvert partikkelslag. Dersom nå den oscillerende drifthastighet som skyldes den elektromagnetiske bølge kombineres med perturbasjonen i tetthet fra den ioneakustiske bølge, så vil produktet av disse ledd gi en oscillerende komponent av strømtetthet med frekvens og bølgevektor tilsvarende Langmuir-bølgen dersom konserveringslovene for energi og impulsmoment er oppfylt. Denne strømkomponenten virker som en kilde til Langmuir-bølger med styrke proporsjonal med produktet av amplitudene av de to andre moder. Overskrider dette produktet en viss nedre terskelverdi vil Langmuir-bølgene genereres raskere enn de selv dempes ut for eksempel gjennom Landaudempning. Men samtidig vil den elektromagnetiske bølge og Langmuir-bølgen virke sammen til å produsere en voksende ioneakustisk bølge. Resultatet av dette kan da bli at en innfallende kraftig elektromagnetisk bølge under riktige betingelser forbrukes til å drive opp både en ioneakustisk og en Langmuir-bølge. Ved at de siste moder Landaudempes i plasmaet kan dette også bli en meget effektiv måte å varme opp plasmaet på gjennom belysning med elektromagnetiske bølger. Dette og en rekke lig-

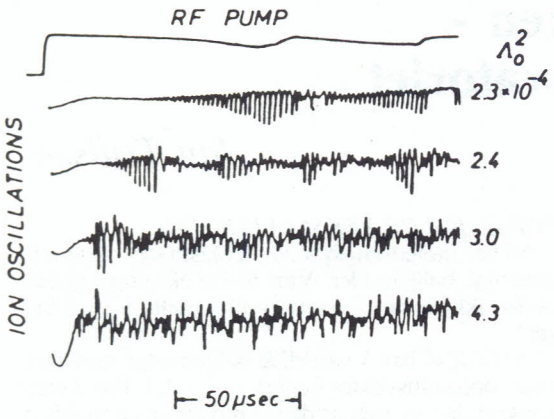



Fig. 8 Betydning av terskelverdi for ikkelineær bølge-bølge prosess (Stenzel og Wong, Phys. Rev. Lett. **28**, 274, 1972).

nende eksempler har betydning både i ionosfærisk og laboratoriesammenheng.

På Ramfjordmoen ved Tromsø fullføres således i disse dager installasjonene til det såkalte Heating-eksperiment. Dette er et ionosfæreeksperiment som består i å sende en kraftig radiobølge vertikalt inn mot ionosfæren - typisk med en effekt på 1 MW i 10 MHz-området. Hensikten med eksperimentet er å utføre aktive eksperimenter i det ionosfæriske plasma. Dette kan bli kontrollerte eksperimenter ved at blant annet EISCAT-anlegget med de muligheter som vi allerede har diskutert i første del av denne artikkel benyttes som diagnosemiddel.

Lignende eksperimenter er tidligere utført i Colorado og på Puerto Rico for omlag 10 år siden[6]. På Puerto Rico kunne en således med bare 1/5 av effekten ovenfor observere temperaturøkninger i deler av ionosfæren på over 400°K (figur 7). Denne effekten var langt større enn hva som kan ventes ved vanlig kollisjonsdempning av den innfallende radiobølge i ionosfæren. Oppvarmingen var også betydelig større når radiobølgen ble utsendt i ordinær mode enn i ekstraordinær. Oppvarmingen var dessuten størst i det høydeområdet hvor plasmafrekvensen er nær frekvensen i den utsendte radiobølge. Men dette representerer nettopp en situasjon hvor betingelsene for en bølge-bølge vekselvirkning kan oppfylles. Som vi har sett tidligere vil den ordinære mode i dette høydeområdet, hvor den også reflekteres, ha en elektrisk vektor langs det geomagnetiske felt. Dette tilsvarer igjen det elektriske felt i en Langmuir-bølge som forplanter seg langs dette feltet. Samtidig kan konserveringsbetingelsene for energi og impulsmoment mellom den elektromagnetiske, den ioneakustiske og en Langmuir-bølge oppfylles her.

I ionosfæren hvor $T_i \sim T_e$ vil ioneakustiske bølger være sterkt Landaudempet. Det er derfor noe riktigere i dette tilfellet i stedet for en lavfrekvent bølge å snakke om en lavfrekvent forstyrrelse drevet gjennom vekselvirkningen mellom to høyfrekvente bølger. Den drevne forstyrrelse er i resonans med termiske ioner som igjen virker som en katalysator for transport av energi mellom de to høyfrekvente bølgemoder. Spesielt for Heating-eksperimentet på Ramfjordmoen er at en forventer å kunne se de genererte Langmuir-bølger direkte ved hjelp av den inkoherente spredningsradar. På Puerto Rico var dette ikke mulig blant annet på grunn av retningen av det geomagnetiske felt der.

Teorien for bølge-bølge vekselvirkninger er i hovedsak blitt utviklet i løpet av det siste 10-år og de ionosfæriske oppvarmingseksperimenter har bidratt til å sette fart i denne utviklingen. Detaljerte studier av den samme prosess er utført i laboratoriet[7]. I figur 8 er det således gjengitt et resultat som viser betydningen av terskelverdi for den ikke-lineære bølge-bølge prosess. Den øvre kurve angir amplitude $\lambda_o$ av den elektromagnetiske pumpebølge, de øvrige styrken av den resulterende ioneakustiske bølge. Med $\lambda_o$ over den kritiske verdi vokser den ioneakustiske bølge. Dette tar energi fra pumpebølgen som dermed igjen kan falle under terskelverdien slik at prosessen stopper opp.

I laboratoriesammenheng har disse prosesser særlig interesse innen fusjonsforskning. Ved laserfusjon (figur 9) bestråler en for eksempel små piller av blant annet deuterium med meget kraftige laserstråler. Ideen er å fordampe og oppvarme det ytterste laget av pillen tilstrekkelig raskt slik at den sentrale kjerne av pillen trykkes sammen og oppvarmes til termonukleære temperaturer fra rekylen av det ekspanderende ytre lag. Problemet er å finne måter å transformere den innfallende elektromagnetiske stråling effektivt til bølgemoder som dempes raskt i passende dybde i det produserte deuteriumplasma.

Også i fusjonsmaskiner basert på magnetisk innelukning spiller bølge-bølge vekselvirkning en viktig rolle. For Tokamak type maskiner utforskes

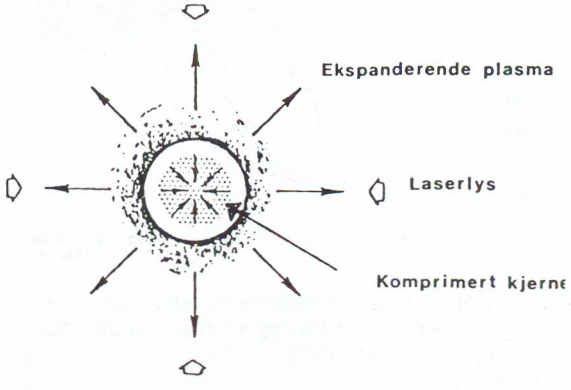



Fig. 9 Prinsipp for laserfusjon.

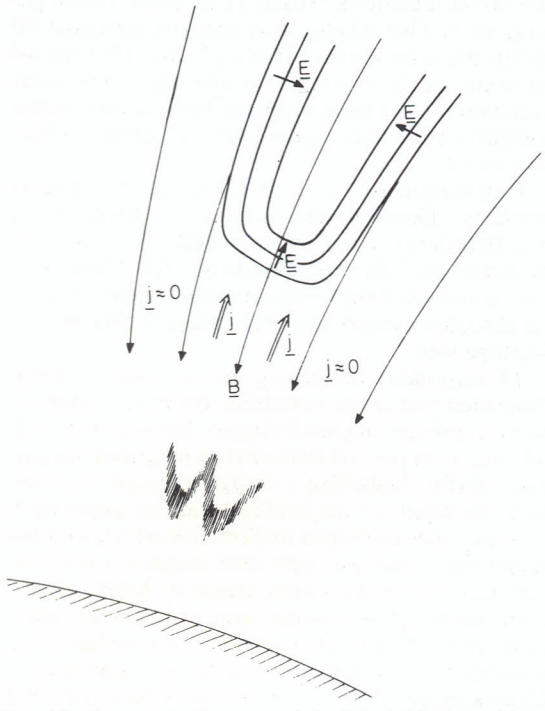



Fig. 10 Antatt struktur av elektrisk dobbeltlag i ionosfæren.

således oppvarmingsmetoder basert på belysning av plasmaet med kraftige mikrobølger på en slik måte at disse konverteres til andre og raskt dempede bølgemoder som igjen avsetter sin energi dypt nok i plasmaet. Vi skal ikke gå videre inn på disse problemstillinger her men i stedet vende oss til vårt siste eksempel på parallell utvikling i laboratorium og ionosfærisk plasma.

*ELEKTRISKE DOBBELTLAG*

Med et elektrisk dobbeltlag skal vi i det følgende forstå en kvasistasjonær struktur hvor det elektriske potensial i det indre av plasmaet faller betydelig over en avstand kort sammenlignet med midlere fri veilengde for ioner eller elektroner - typisk over noen titalls Debye-lengder. Med betydelig skal vi forstå potensialfall flere ganger større enn det tilsvarende den termiske energi for de forskjellige partikkelslag i plasmaet.

En slik struktur[8] vil gi opphav til kraftige lokaliserte elektriske felter og gjennom Poissons ligning også til romladningssjikter av motsatt fortegn. Den vil derfor representere et klart brudd på vår tidligere tommelfingerregel om at plasmaet sørger for å opprettholde intern ladningsnøytralitet. Det er klart at dersom en slik struktur kan eksistere i det indre av et plasma så må ioner og elektroner som kommer inn i dobbeltlaget fra henholdsvis høy- og lavpotensialsiden bli akselerert gjennom laget og ende opp som lavtemperatur partikkelstråler. Ioner og elektroner som kommer inn i laget fra de motsatte sider vil derimot reflekteres av laget. Disse forhold forteller oss at et dobbeltlag alltid vil være assosiert med elektriske strømmer - og at dobbeltlaget er et område hvor Ohm's lov ikke har mening.

I et magnetisert plasma vil en vente at for å ha et dobbeltlag med endelig lateral utstrekning må ekvipotensialflatene gjennom dobbeltlaget etter hvert måtte bøyes parallelt med magnetfeltlinjene. Dette er nødvendig på grunn av den normalt høye elektriske ledningsevne parallelt med magnetfeltet. Det ligger derfor nær å anta at eventuelle elektriske dobbeltlag (figur 10) vil være assosiert med filamentære parallelle elektriske strømmer med fingerlike ekvipotensialflater.

Usikkerhet eksisterer med hensyn til hvilke situasjoner skulle lede til dannelse av et slikt dobbeltlag. En hypotese sier at slike lag dannes som følge av en instabilitet i plasmaet når den elektriske strømtetthet lokalt overskrider en kritisk verdi, bestemt ved at den relative driftshastighet mellom ioner og elektroner overskrider elektronenes termiske hastighet. Vi skal ikke dvele ved dette punkt her, men i stedet vende oss til de eksperimentelle kjennsgjerninger som peker mot eksistens av slike dobbeltlag i det indre av et plasma.

En rekke observasjoner fra ionosfæren i nordlyssonen i løpet av den siste dekade er blitt tolket som indikasjoner på eksistensen av dobbeltlag i høydeområdet fra noen hundre opp til noen tusen kilometer med potensialfall fra noen titalls volt og opp til kilovoltområdet. Observasjonene kan være av forskjellig slag. Det kan være rakettprobemålinger av elektronenes hastighetsfordeling over en nordlysbue. Denne har noen ganger en form som kan forklares ved at disse har passert et dobbeltlag. Det kan være en såkalt omvendt V begivenhet hvor elektronenergi målt av en satelitt som passerer under et antatt dobbeltlag først øker og deretter avtar i overensstemmelse med den modell for ekvipotensialflater vi beskrev ovenfor. Slike målinger kan også vise spor av en innfanget elektronpopulasjon under dobbeltlaget. Det kan videre være observasjon av kraftige akselerasjoner av kunstige Ba-ion skyer i området med betydelige elektriske strømmer parallelt med det geomagnetiske felt - såkalte Birkelandstrømmer. Akselerasjonene kan skyldes elektriske felter assosiert med dobbeltlag.

Observasjonene kan være direkte satelittmålinger av elektriske felter over nordlyssonen eller det kan være observasjon av roterende bevegelser av irregulariteter i nordlys nær magnetisk senit muligens forårsaket av $\underline{E} \times \underline{B}$ drifter fra perpendikulære elektriske felt forbundet med dobbeltlag.

Felles for alle slike observasjoner i ionosfæren er at det ikke er mulig å skaffe fullstendige observasjoner i rom og tid av fenomenet. De nødvendige prober må sitte på en rakett eller en satelitt som beve-

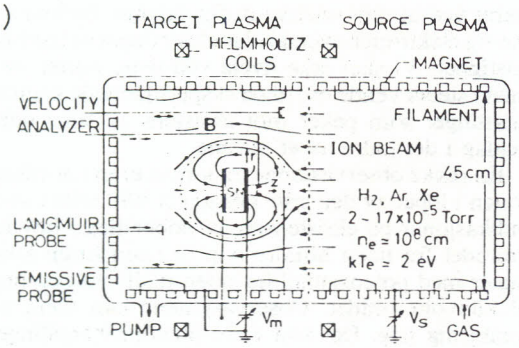
ger seg med stor hastighet gjennom plasmaet. Det er derfor meget vanskelig fra ionosfærisk side å fremlegge holdbare bevis for eksistensen av elektriske dobbeltlag. Det vil alltid kunne komme alternative forklaringer på de observerte fenomener. I slike sammenhenger er det at gjentatte, kontrollerte modellforsøk i laboratoriet er nyttige.

En rekke dobbeltlagsforsøk er utført i laboratoriet i løpet av de siste 10 år, i plasmaer både med og uten magnetfelt. Det bør kanskje understrekes at vi i dobbeltlag her ikke inkluderer romladningssjikter som alltid vil eksistere mellom plasma og faste vegger i laboratorieforsøket. Vi skal avslutte med en beskrivelse av det sist kjente forsøk av denne type[9].

Eksperimentet er utført i en dobbeltplasma maskin av samme type som vi har ved Universitetet i Tromsø. Plasmaet produseres gjennom en elektrisk utladning mellom oppvarmede filamenter og veggen i en vakuumtank som er delt på midten av et finmasket metallgitter (figur 11 a). Holdes dette gitteret på et tilstrekkelig stort negativt potensial vil elektroner ikke kunne passere gitteret. Derimot vil en kontinuerlig ionestråle kunne skytes fra kildekammeret over i målkammeret, hvor eksperimentet foregår, ved å heve potensialet på veggen i kildekammeret.

I målkammeret er en liten men kraftig magnet opphengt. Denne danner sammen med feltet fra et sett Helmholtz-spoler et magnetfelt med visse likhetstrekk med det magnetosfæriske felt. Plasmatetthet og potensial og hastighetsfordelingene til ioner og elektroner måles med bevegelige prober av forskjellige slag.

Et stasjonært dobbeltlag kan nå dannes foran magneten ved at en ionestråle skytes inn langs de konvergerende magnetfeltlinjer. Disse ionene reflekteres av et positivt potensial på magneten og passerer derfor dobbeltlaget i begge retninger. På høypotensialsiden av dobbeltlaget kan en populasjon av elektroner innfanget mellom dobbeltlaget og det magnetiske speil assosiert med magneten observeres. Den elektriske strøm gjennom laget bæres i dette tilfelle av elektroner som er akselerert gjennom laget. Disse elektronene gir igjen opphav til en instabilitet på høypotensialsiden av dobbeltlaget. Dette kommer til syne som et høyt fluktuasjonsnivå på en Langmuir-probe i dette området. Maksimalt potensialfall over dobbeltlaget er begrenset av energien av den innsendte ionestråle. I figur 11b er målinger av magnetfelt og ekvipotensialflater foran magneten gjengitt. Disse kan sammenlignes med modellen i figur 10. Dobbeltlaget er et stasjonært fenomen. En fullstendig romlig kartlegging av alle sider ved fenomenet kan derfor enkelt gjennomføres.



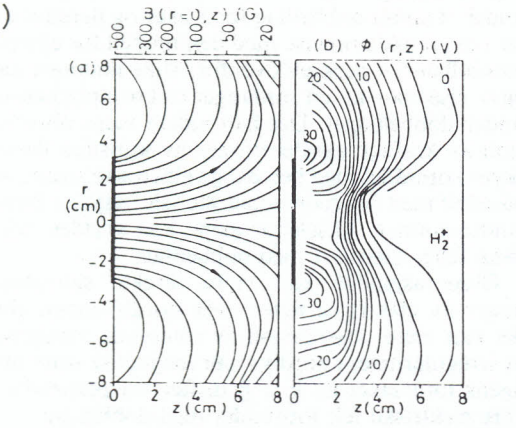




Fig. 11 Skisse av laboratorieeksperiment for påvising av elektriske dobbeltlag, eksperiment (a) og resultater (b) (Stenzel, Ooyama, Nakamura: skal publiseres, 1980).

*AVSLUTNING*

Vi har i det foregående gjennom noen eksempler forsøkt å vise at ionosfærefysikk og plasmafysikk knapt kan ses uavhengig av hverandre lenger. En lang rekke andre og like relevante eksempler kunne like gjerne ha vært valgt. Ionosfæren er blitt et interessant naturlig plasmalaboratorium hvor kontrollerte eksperimenter kan utføres. Samtidig er ionosfæren med dens mangeartede og kompliserte fenomener brakt inn i laboratoriet for at disse fenomener derigjennom skal kunne utforskes og forstås i større detalj. Denne utvikling vil fortsette og bringe interessante resultater i åra som kommer. I nasjonal sammenheng bør vi i dette perspektiv minnes professor Birkeland og hans Terella-eksperimenter med kunstig nordlys for ca. 70 år siden - en pionerinnsats lenge forut for sin tid.

*LITTERATURLISTE*


1. *F.F. Chen: Introduction to Plasma Physics, Plenum Press 1974.*
2. *S.-I. Akasofu og S. Chapman: Solar -Terrestrial*

*Physics, Oxford Univ. Press 1972.*
3. *F.F. Chen: Electric Probes i Plasma Diagnostic Techniques, eds. R.H. Huddelstone og S.L. Leonard, Academic Press 1965.*
4. *Radar Probing of the Auroral Plasma, ed. A. Brekke, Universitetsforlaget 1977.*
5. *F.F. Cap: Handbook on Plasma Instabilities, volum 2, Academic Press 1978.*
6. *Artikler i Spescial Issue: Ionospheric Modification by High Power Transmitters, Radio Science* **9**, *nr. 11, 1974.*
7. *R.L. Stenzel og A.Y. Wong: Phys. Rev. Lett.* **28**, *274, 1972.*
8. *Artikler av P. Carlqvist og S. Torvén i Wave Instabilites in Space Plasmas, eds. P. J. Palmadesso og K. Papadopoulos, D. Reidel Publ. Comp. 1979.*
9. *R. L. Stenzel, M. Ooyama og Y. Nakamura, ISAS RN 120, Univ. of Tokyo, 1980.*

# Havbølger og fysikk Del III

*Kristian Barstad Dysthe*

*APPENDIKS*

I det følgende skal vi skissere utledningen av dispersjonsrelasjonen for en overflatebølge med liten amplitude.

For en ideell homogen væske i et tyngdefelt har en følgende bevegelsesligning

$$(A.1)\quad \partial \underline{v}/\partial t + \underline{v}\cdot\nabla\underline{v} = -\nabla(p/\rho) + \underline{g}\ ,$$

hvor p og $\rho$ er væskens trykk og tetthet, og $\underline{g}$ er tyngdens akselerasjon. For overflatebølger med liten amplitude kan en sløyfe det konvektive leddet $\underline{v}\cdot\nabla\underline{v}$ (størrelsesforholdet mellom det første og andre ledd på venstresiden av (A.1) er som fasefarten $\omega/k$ til væskefarten v).

Kontinuitetsligningen for en inkompressibel væske gir simpelthen

$$(A.2)\quad \nabla\cdot\underline{v} = 0\ .$$

Ved å lineariere (A.1) (sløyfe $\underline{v}\cdot\nabla\underline{v}$) får vi at

$$(A3)\quad \partial\underline{v}/\partial t = -\nabla(p/\rho) + gz)\ ,$$

hvor z-aksen peker vertikalt oppover. Denne ligningen forteller oss at hastighetsfeltet $\underline{v}$ kan avledes av et potensial $\varphi$, ): $\underline{v} = \nabla\varphi$. Ligning (A.3) kan derfor integreres slik at den gir

$$(A.4)\quad \partial\phi/\partial t + p/\rho + gg = \text{konstant}\ ,$$

som er en linearisert form av Bernoullis ligning. Dersom vi lar z = 0 være likevektsposisjonen til væskeoverflaten, og lar $\eta(x,y,t)$ betegne hevningen av den forstyrrede overflate, får en ved å benytte (A.4) ved væskeoverflaten

$$(A.5)\quad \partial\phi/\partial t|_{z=\eta} + g\eta = 0\ .$$

En har her benyttet seg av at trykket ved overflaten er konstant og lik det atmosfæriske trykk $p_o$ (svarende til at vi velger konstanten i (A.4) lik $p_o/\rho$). Mens (A.5) gir oss den dynamiske grensebetingelse ved overflaten, vil den kinematiske grensebetingelsen være

$$(A.6)\quad d\eta/dt \equiv \partial\eta/\partial t + \nabla\phi|_{z=\eta}\cdot\nabla\eta = (\partial\phi/\partial z)|_{z=\eta}$$

hvor vi igjen kan sløyfe det konvektive ledd på venstresiden av samme grunn som bemerket under (A.1).

Ved å tidsderivere (A.5) og benytte (A.6) får vi da endelig

$$(A.7)\quad [\partial^2\phi/\partial t^2 + g\,\partial\phi/\partial z]_{z=\eta} = 0\ .$$

For potensialfeltet $\underline{v} = \nabla\varphi$ gir kontinuitetsligningen (A.2).

$$(A.8)\quad \nabla^2\phi = 0\ .$$

Ved bunnen må vertikalkomponenten av hastighetsfeltet forsvinne

$$(A.9)\quad \partial\phi/\partial z|_{z=-H} = 0\ ,$$

hvor dybden er H.

Det er nå ligningen (A.8) med randkravene (A.7) og A.9) som bestemmer bevegelsen. Mens (A.8) og (A.9) er lineære i $\varphi$, er (A.7) ikke-lineær. Dersom vi har med bølger av liten amplitude å gjøre (som vi allerede har forutsatt) får vi at

$$[\ ]_{z=\eta} = [\ ]_{z=0} + \eta\partial/\partial z[\ ]_{z=0} + \ldots =$$

$$[\ ]_{z=0} + O(ka)$$

hvor a er amplituden av bølgene og k bølgetallet. Vi har allerede sløyfet ledd av relativ størrelsesorden $vk/\omega$ ved å sløyfe de konvektive ledd (A.1) og (A.6) men da $v \sim \omega a$ får vi at $vk/\omega \sim ka$. Dette betyr at til samme approksimasjon kan vi erstatte i (A.7) med $[]_z = \eta$, slik at (A.7) også blir lineær i $\varphi$.

Vi leter nå etter løsninger i form av plane bølger

(A.10) $\phi = f(z)e^{i(\underline{k}\cdot\underline{r}-\omega t)}$ .

hvor bølgevektoren $\underline{k}$ er horisontal. Innsatt i (A.8) gir dette følgende ligning for f

$$f'' - k^2 f = 0$$

som har løsninger

(A.11) $e = A \sinh kz + B \cosh kz$ .

Innsatt i (A.9) gir dette

(A.12) $A = B \tanh kH$ .

Dersom (A.10) og (A.11) innsettes i (A.7) får vi

(A.13) $B\omega^2 - gk A = 0$ .

En ikke-triviell løsning på (A.12) og (A.13) finnes dersom og bare dersom

(A.14) $\omega^2 = gk \tanh kH$

som er den søkte dispersjonsrelasjon.

Vi ser fra (A.14) at når $kH \longrightarrow \infty$ (): dybden mye større enn bølgelengden) får vi

(A.15) $\omega^2 = gk$ ,

som er dispersjonsligningen for bølger på dypt vann. I praksis gir (A.15) en god tilnærmelse dersom dybden er mer enn halvparten av bølgelengden.

For små verdier av kH, det vil si for bølgelengder som er mye større enn dybden, gir (A.14):

(A.16) $\omega^2 = gH k^2$

som er dispersjonsligningen for bølger på grunnt vann. Som en ser fra (A.16) har disse bølgene ingen dispersjon. Den konstante forplantingshastigheten er $(gH)^{1/2}$.

## Svensk høstmøte om fysikk og industri

Svenska Fysikersamfundet holder sitt høstmøte fredag 13. november 1981 på Fysiska institutionen i Uppsala over temaet *«Fysikk og industri»*. Om formiddagen vil det bli holdt korte plenumsforedrag om samvirket mellom fysikk og industri. Det vil også bli holdt en poster-sesjon med presentasjon av f.eks. produkter, målemetoder og styresystemer, med vekt på det fysikalsk interessante. Om ettermiddagen vil det bli arrangert en paneldebatt og dessuten en ekskursjon til Scanditronix.

Norske fysikere som er interessert i å delta, kan henvende seg til Svenska Fysikersamfundet (Inst. f. Fysik, LTH, Box 725, S-22007 Lund) for å få det endelige program med anmeldingsblankett, som vil foreligge omkring 15. oktober.

## Bøker innkommet til redaksjonen.

Lista nedenfor inneholder bøker som er blitt sendt til melding i FFV fra *Springer Verlag*. Lesere som vil ta på seg å melde noen av bøkene for FFV kan få den tilsendt ved henvendelse til O. Steinsvoll, IFE, Kjeller.

*P. A. Martin:* Modéles en Mecanique Statistique des Processus Irréversibles, Berlin 1979, 134 s. DM 18,-.

*M. Drieschner:* Voraussage - Wahrscheinlichkeit - Objekt, Berlin 1979, 307 s. DM 32,-.

*T. S. Sørensen (ed):* Dynamics and Instabilities of Fluid Interfaces. Proc. of meeting, May 1978 at Lyngby, Denmark. Berlin 1979, 315 s. DM 32,-.

*H. Bilz og W. Kress:* Phonon Dispersion Relations in Insulators, Berlin 1979, 241 s. DM 84,-.

*B. K. Agarwal:* X-Ray Spectroscopy, Berlin 1979, 418 s. DM 74,-.

*S. Barisić, A. Bjeliš, J. R. Cooper og B. Leontić (eds):* Quasi - One - Dimensional Conductors, I and II. Proc. of meeting, Sept. 1978 at Dubrovnik, 369 og 461 s. DM 39,- og DM 46,-.

*H. Haken (ed):* Pattern Formation by Dynamic Systems and Pattern Recognition. Proc. Symp., May 1979 at Schloss Elmay, Berlin 1979.

*E. A. Müller (ed):* Mechanics of Sound Generations in Flows. Proc. Symp. Aug. 1979 at Göttingen. Berlin 1979. DM 68,-.

*A. Bressan:* Relativistic Theories of Materials. Berlin 1980, 290 s.

*R. D. Richtmyer:* Principles of Advanced Mathematical Physics Vol. I. Berlin 1978, 421 s. DM 44,-.

*A. J. Chorin og J. E. Marsden:* A. Mathematical Introduction to Fluid Mechanics. Berlin 1979, 205 s. DM 29,-.

*W. Beiglböck, A. Böhm og E. Takasugi (eds.):* Group Theoretical Methods in Physics. Proc. of meeting, Sept. 1978 at Austin, Texas. 540 s. DM 46,-.

*P. Hautojärvi (ed.):* Positrons in Solids, Berlin 1979, 255 s. DM 57,-.

*Landolt-Börnstein,* New Series, Group II, Vol. 9, Magnetic Properties of Free Radicals, Part c1 and c2. DM 110,- og DM 370,-.

*Landolt-Börnstein,* New Series, Group III, Vol. 11, Elastic, Piezoelectric, Pyroelectric, Piezooptic, Electrooptic Constants and Nonlinear Dielectric Susceptibilities of Crystals. DM 780,-.

*Landolt-Börnstein,* New Series Group III, Vol. 7. Crystal Structure Data of Inorganic Compounds Part c1 og c2. CM 290,- og 550,-.

# Hvis du er fornøyd med det nest beste – så trenger du ikke lese dette

Fordi ND datasystemer er beregnet for den kvalitetsbevisste bruker. For den som bare vil ha det beste.

NORSK DATA's filosofi er å lage det beste: Den beste løsning på brukerens problem til den laveste totale prisen. Men hva er best? Vi tror vi vet hva som er best, fordi vi har følt brukerens behov på pulsen i alle de år vi har laget datasystemer.

Leser du fremdeles? Så er du kanskje interessert i å vite at ND datasystemer kan skreddersys til de mest avanserte behov på kortest mulig tid. De har mye programvare; verktøy som er laget for å forenkle og effektivisere utvikling og testing av programmer. De garanterer deg frihet til å tilpasse og utvide ditt system etterhvert som dine behov endrer seg – uten å måtte lage nye programmer eller å lære opp folk på nytt. De er modulære, og de gir deg derfor anledning til å løse dine spesielle databehandlingsbehov på den beste måten. Det er brukervennlige systemer som du vil like å arbeide med.

Naturligvis kan du få noen av de samme fordeler med andre maskiner. Men ND datasystemer gir deg alle disse fordelene – på èn gang. Dette er verdt å gjenta: *ND systemer gir deg alle disse fordelene på èn gang.*

Når du nå har lest så langt, bør du også ta det neste logiske skrittet: Snakk med oss før du velger ditt neste datasystem – så får du det beste!

ND Norsk Data

NORSK DATA A.S, POSTBOKS 4, LINDEBERG GÅRD, OSLO 10
OSLO (02)30 90 30. SANDNES (04)66 55 44. LANDÅS (05)22 02 90. TROMSØ (083) 71766

**The competitive European Computer Company**

IPR 234

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim - NTH.

## Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dosent E. Osnes, Fysisk Institutt, Universitet i Oslo.

Styre: Dosent R. S. Sigmond, NTH, Trondheim.
Amanuensis Noralv Bjørnå, Universitetet i Tromsø.
Førstelektor T. Engeland, Universitetet i Oslo, Blindern.
Førstelektor K. Myklebost, Universitetet i Bergen.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett, Fysikkavdelingen,
Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.

Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.20.16001.

## Fra Fysikkens Verden

*Redaktører:*
Høgskolelektor Knut Jostein Knutsen
Granlivn. 24, Ugla, 7000 Trondheim
Førsteamanuensis Hans Kolbenstvedt
Fysisk institutt, NLHT,
Universitetet i Trondheim, 7055 Dragvoll

*Redaksjonssekretær:*
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, 7034 Trondheim-NTH.

*Redaksjonskomite:*
Førsteamanuensis Tryggve Grotdal, Fysisk Institutt, Universitetet i Bergen, 5014 Bergen.
Forsker Jan Myrheim, NORDITA, NBI, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø, Danmark.
Førstelektor Øivin Holter, Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3.
1. amanuensis Ove Bratteng, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.
Professor R. Tangen, Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo, Oslo 3.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 40.00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 20.00.

Sekretær:
Gudrun Græsmann.

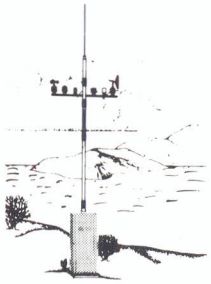
Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk Institutt, Universitetet i Trondheim
Norges lærerhøgskole
7055 Dragvoll

Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 8601.36.12279

**Data Collection.....**

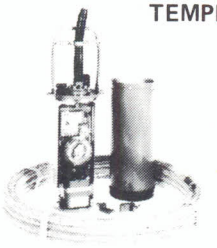
*AANDERAA INSTRUMENTS has been developing and manufacturing oceanographical and meteorological data recording instruments since 1966.*

*The PRODUCTS are designed for long term unattended operation and are known for high quality and reliable performance.*



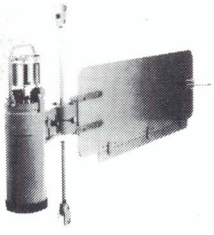
**WEATHER STATION**

*This solar powered station is designed for automatic recording/telemetering of data. A total of 10 different sensors can be employed.*



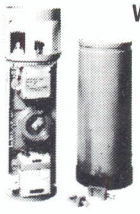
**TEMPERATURE PROFILER**

*for recording of temperature profiles in the sea or lakes, consisting of a recording unit and an 11 point thermistor string. The string is available in lengths up to 100 meters.*



**CURRENT METER**

*for recording speed, direction and water temperature of the ocean currents. Provided with sensors for pressure and conductivity when required.*



**WATER LEVEL RECORDER**

*for determining water level by precise measurement of the hydrostatic pressure at the sea bed.*

*Request datasheets for detailed information.*

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND SEA AND AIR

FANAVEIEN 13
P.O. BOX 160
5051 BERGEN, NORWAY
TEL. (05) 27 40 30
TELEX 40049

*N.T.H.-Trykk*
*Trondheim*