Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD:

Frå redaktøren	49
Årsmelding fra Norsk Fysikkråd	49
Årsmelding fra NFS	50
Norsk Data's fysikkpris	50
Møte i ACOPE i Budapest	52
Optisk forskningsmiljø ved Almen Fysikk, NTH	53
Centauro-prosesser	57
Mikroelektronikk og mikro-prosessorer. Del 2	62
Supraledning og høge magnetfelt	64
Nobelprisen i fysikk 1979. Del 2	69
Relativitetsteori og magnetisme	71
Nye medlemmer	72
Bøker	68, 72

En av EISCAT-prosjektets antenner.
Fra ekskursjonen ved generalforsamlingen i Tromsø.

Nr. 3 - 1980
42. årgang
ISSN-0015-9247

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for energiteknikk

KURS HØSTEN 1980

Databehandling

6/10-24/10	COBOL I
27/10- 7/11	COBOL II
17/11-19/11	Bruk av NORD 10/100
24/11-28/11	SIMULA
1/12- 5/12	Videregående FORTRAN

Nærmere opplysninger og søknadsskjema fås ved henvendelse til
Kurssekretær Gerd Jarrett
Den nederlandsk-norske reaktorskolen
Institutt for energiteknikk
Boks 40, 2007 Kjeller **Telefon (02) 71 25 60**

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 3 - 1980

Redaktør: OLAV STEINSVOLL
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

42. årgang
ISSN-0015-9247

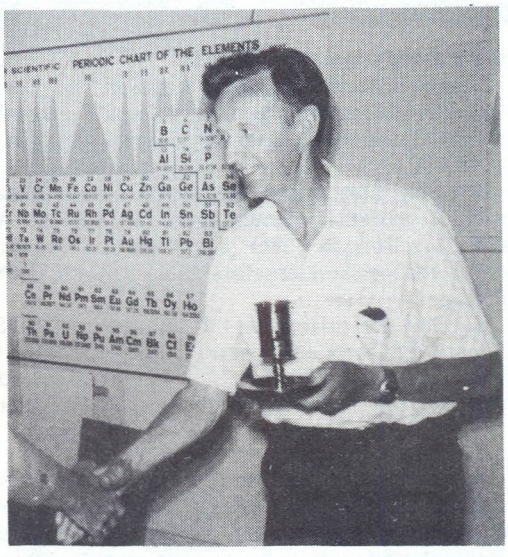
Frå redaktøren.

Sommaren er over, og framfor oss står mørke haust- og vinterkveldar som kan nyttast til å orientera seg om kva som har hendt innan fysikken den siste tida. Menyen vår denne gongen vert likevel prega av Fysikermøtet 1980; i fyrste omgang kjem årsmeldinga frå NFS, årsmøtereferat og samandrag av diskusjonen om teknologisk kvalifisert arbeidskraft kjem seinare. Ettersom styresmaktene meiner vi ikkje har råd til å byggja opp ein heilt ny teknisk høgskole, vil ein freista å nytta ut dei undervisningsressursane som finst ved eit samarbeid mellom universiteta og nærliggande forskingsinstitusjonar. Fleire komitéar er i sving for å utarbeida studieopplegg for utdanning av sivilingeniørar ved universiteta i Oslo og Bergen. Diskusjonen mellom representantar frå universiteta, NTH, NTNF, departement og fysikarar ga godt innsyn i problema og tankane som melder seg ved eit slikt opplegg.

Vi held fram med andre del av artiklane om mikroprosessorar og omtalen av arbeidet som førte fram til Nobelprisen i fysikk 1979. I ein annan artikkel vert det synt korleis det magnetiske felt kan sjåast som ein relativistisk veknad av det elektriske felt utan bruk av Lorentztransformasjonen.

Eg lyt be om orsaking for at eg i førre nummeret av FFV skreiv at Nordlysobservatoriet var ein del av Norsk Institutt for Kosmisk Fysikk. Sanninga er at Nordlysobservatoriet for lenge sidan er gått inn som ein naturleg lekk av Institutt for matematiske realfag ved Universitetet i Tromsø.

T. Riste nytt æresmedlem av NFS.



På NFS's årsmøte i Tromsø ble professor dr. T. Riste utnevnt til æresmedlem av selskapet. I den anledning ble han overrakt et diplom og en lysestake som en takk for og et minne om de ti åra han var formann i NFS.

Årsmelding fra Norsk Fysikkråd 1980.

Styret i Norsk Fysikkråd har i 1979 hatt følgende sammensetning:

Formann: J. Løvseth, Universitetet i Trondheim
Viseformann: J. Trulsen, Universitetet i Tromsø
Styremedlemmer:
T. Amundsen, Universitetet i Oslo
Ø. Falch, Bergen Katedralskole
E.V. Thrane, Forsvarets forskningsinst.
Varamenn:
E. Lillethun, Universitetet i Bergen
J. Moan, Radiumhospitalet, Oslo

Siden siste årsmøte har det ikke vært nødvendig å innkalle Rådet til møte. Styret har hatt ett møte.

Cand.real. Harald Skaar har fungert som sekretær for Fysikkrådet. Sekretærordningen og reiser for Falch og sekretæren har blitt finansiert av Hovedkomiteen for norsk forskning.

Formannen har 15. juli 1979 innkalt til et møte i Oslo arrangert av Hovedkomiteen i samarbeid med KUD hvor CERN's framtidige utvikling ble diskutert. Hovedinnleder var generaldirektør J.B. Adams, CERN. Ellers deltok representanter fra universitetene, forskningsrådene, departementene og Hovedkomiteen.

Norsk Data's fysikkpris utdelt.

Dosent dr.techn. Hallstein Høgåsen ved Fysisk Institutt ved Universitetet i Oslo ble på Fysikermøtet 1980 tildelt Norsk Data's Fysikkpris for 1980 på kr. 10.000,-.

Høgåsen fikk prisen for fremragende innsats innenfor teoretisk elementærpartikkelfysikk. Arbeidet har foregått i nær samarbeid med forskere fra det europeiske kjerneforskningssentret CERN i Geneve.

På bildet ser vi Høgåsen t.v. sammen med NFS's formann E. Osnes etter prisutdelingen. Høgåsen vil fortelle leserne av FFV hva hans teoretiske arbeider dreier seg om i et senere nummer av tidsskriftet.

---

17. september orienterte formannen om Norsk fysikkråd i Universitetsrådets utvalg for regelverk om nasjonale fagseksjoner. Formannen i Norsk matematikkråd ga en tilsvarende orientering. Ingen andre fag har tilsvarende råd. Utvalget viste stor interesse for fysikkrådet.

Styret har i siste periode arbeidet med følgende saker:

1. **Norsk medlemskap i European Space Agency.**

På grunn av knappe tidsfrister kunne ikke saken behandles på ordinær måte, men resultatet av en telefonisk høringsrunde hos styret og berørte grupper ble meldt tilbake til Hovedkomiteen, sammen med en henvisning til vedtaket forrige gang saken var oppe i NFR.

2. **Fysikkens rolle i dagens samfunn.**

På grunnlag av behandlingen av saken på siste styremøte, har formannen fått i fullmakt, i samarbeid med professor Anders Johnsson og sekretæren, å utforme den endelige versjon, og sørge for utgivelse på Tapir forlag.

3. **Oppdatering av Riste/Spangen undersøkelsen.**

Amundsen fikk ved behandlingen av ovennevnte sak på rådsmøte i fjor i oppdrag å undersøke mulighetene for en ny arbeidsplan. I samarbeid med personer i Oslo-regionen har Amundsen utarbeidet forslag til spørreskjema som etter behandling i styret ble godkjent med noen endringer. Skjemaene er nå ute til utfylling. Etter den tidsplanen som er lagt, antaes datainnsamlingen basert på dette spørreskjemaet i hovedsak å være avsluttet innen årsmøtet. Ellers henvises det til behandling av saken på årsmøtet.

4. **Fysikken og skolen.**

Styringsgruppen bestående av Falch, Hodne, Kjenes, Lillethun og Seeberg har i samsvar med vedtak på fjorårets årsmøte i Norsk fysikkråd, arbeidet videre med saken i samråd med styret. Datamaterialet er samlet inn, og bearbeidelsen av materialet er langt på vei ferdig. Falch vil orientere om undersøkelsen på årsmøtene i NFS og NFR.

J. Løvseth.

Årsmelding for Norsk Fysisk Selskap 1979-80.

Årsmeldingen omfatter tiden mellom årsmøtene 8. juni 1979 og 24. juni 1980.

Organisasjonsforhold.

Styret har bestått av:

Dosent Eivind Osnes, formann
Dosent Reidar Svein Sigmond, viseformann
Førsteamanuensis Ove Bratteng (ut 1979)
Førsteamanuensis Noralv Bjørnå (fra 1980)
Førsteamanuensis Torgeir Engeland
Førsteamanuensis Kårmund Myklebost

med varamenn:

Dosent Hallstein Høgåsen
Dosent Leif Owren
Cand.real Helge Pettersen (ut 1979)
Førsteamanuensis Kjell Henriksen (fra 1980)
Førsteamanuensis Jørgen Løvseth

Selskapets sekretær er Gerd Jarrett. Det har vært holdt fire styremøter. Medlemstallet pr. 15.05 1980 er 615 personlige medlemmer, hvorav 17 er studentmedlemmer. Selskapet har 9 kollektive medlemmer. Disse er:

Det norske Veritas
A/S Elektrisk Bureau
Elkem-Spigerverket A/S
A/S Hafslund
A/S Norsk Elektrisk & Brown Boveri
Norsk Hydro a.s
Siemens A/S
Aanderaa Instruments

Årskontingenten er for 1980 kr. 75,- for personlige medlemmer, studenter betaler kr. 35,-. Tilskuddet fra de kollektive medlemmer var ialt på kr. 7500,- i 1979. Til tross for et underskudd på kr. 7187,21 i 1979 må selskapets økonomi sies å være god.

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 består av:

Forsker Olav Steinsvoll, redaktør
Laboratorieingeniør Halvard Torgersen, redaksjonssekretær
Sekretær G. Græsmann
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 innført en fast post «Redaktøren har ordet». Etter tre-fire års målbevisst arbeid med tidsskriftets økonomi, har en nå fått denne under kontroll. Regnskapet for 1979 viser et overskudd på kr. 1.032,17. Redaktøren har meddelt at han ønsker å trekke seg tilbake fra kommende årsskifte, og styret arbeider med å finne en etterfølger.

Fysikermøtet

Fysikermøtet 1979 ble holdt ved Universitetet i Bergen og samlet 117 deltagere. Dr.philos. Jan S. Vaagen var formann i Arrangementskomiteen. Møteprogrammet besto av 11 inviterte oversiktsforedrag i plenumssesjoner og 21 påmeldte faglige foredrag i parallellsesjoner. Dessuten ble det arrangert ekskursjon til Christian Michelsens Institutt på Fantoft. Arrangementskomiteen var også behjelpelig med å skaffe møtedeltagerne billett til Festspillene. Banketten ble holdt i Schøtstuene, med foregående besøk ved Bryggens Museum. Under møtet ble det avduket en byste av professor Bjørn Trumpy i Fysikkbygningen. Møtedeltagerne var invitert til avdukningsseremonien, der professor S. Skavlem holdt minnetalen.

Plenumsforedragene første dag var viet historiske og kulturelle sider ved fysikken og matematikken, andre dag energiproblemer og tredje dag hovedsakelig faste stoffers fysikk.

Årsmøtet 1979 ble holdt 8. juni og er referert i Fra Fysikkens Verden **41** (1979) 70. Under banketten ble følgende fagpriser utdelt: Simrads fagpris i elektrooptikk for 1979 til Karstein Dybvik og Ole Johan Løkberg, Norsk Datas fagpris i partikkelfysikk for 1978 til Jan Myrheim og Norsk Datas fagpris i kjernefysikk for 1979 til Eivind Osnes. Begrunnelsene for utdelingene ble gjengitt i Fra Fysikkens Verden **41** (1979) 71.

Faggruppene

Styret ønsker å stimulere og støtte faggruppenes virksomhet. Gruppenes virksomhet i 1979-80 er omtalt i egne rapporter, som er vedlagt årsmeldingen. Også i det forløpne år varierer aktivitetsnivået sterkt fra gruppe til gruppe. Styret antar at det foregår en del faglig aktivitet mellom norske fysikere både på institusjonsplan og på mer privat basis hvor selskapet kunne bidra med verdifull støtte. På den annen side ville den faglige aktivitet i selskapet utvilsomt bli styrket, dersom mer av denne virksomhet ble kanalisert gjennom selskapets faggrupper. Styret vil igjen forsøke å få etablert faggrupper på nye områder av fysikken som f.eks. miljø- og ressursfysikk, måleteknikk og digital elektronikk. Liknende grupper har tidligere vært startet, men har gått inn etter kort tid, antagelig fordi de har vært rekruttert på tvers av veletablerte faggrenser. I likhet med det forrige styret ser også dette styret det som sin oppgave å få opprettet en faggruppe i astrofysikk.

Styret har gitt økonomisk støtte til følgende faglige møter: Nordisk konferanse i elementærpartikkelfysikk på Spåtind 6.-12. januar 1980 og Nordisk symposium i plasma- og gassutladningsfysikk i Oppdal 16.-19. februar 1980. Dessuten har styret bevilget penger til stipend for studenter og lektorer til Fysikermøtet i 1980.

European Physical Society (EPS)

Torgeir Engeland og Kårmund Myklebost har vært selskapets medlemmer i rådet i European Physical Society. Engeland deltok ved rådsmøtet i Budapest 27. og 28. mars 1980. NAVF betalte reise og opphold. Tormod Riste er medlem av programkomiteen for EPS General Meeting i Istanbul i 1981. Det har vært holdt møter i programkomiteen i Geneve 5. nov. 1979 og i Budapest 25. mars 1980. Knut Jostein Knutsen deltok med støtte fra Kirke- og undervisningsdepartementet i EPS' rådgivende komite for undervisning i Budapest 24. og 25. mars 1980.

Styret vil fortsette arbeidet med å gjøre EPS' virksomhet kjent blant selskapets medlemmer, og vil igjen oppfordre medlemmene til å tegne individuelt medlemskap i EPS. Selskapets kontakt med EPS hindres imidlertid av økonomiske årsaker. I noen grad har NAVF og Kirke- og undervisningsdepartementet ydet reisestøtte til våre utsendinger til EPS' komiteer og møter. Gjennom en samordning av de nordiske selskapers representasjon i EPS har en kunnet redusere reiseutgiftene for de enkelte selskaper. En felles nordisk opptreden har også vært nødvendig for at de nordiske selskaper skal bli hørt i EPS. I juni 1980 starter EPS utgivelsen av et nytt tidsskrift for fysikkundervisning, European Journal of Physics.

Nordisk samarbeid

De fysiske selskaper i nordiske land holder kontakt gjennom et samarbeidsutvalg, der formennene møter. Samarbeidsutvalget hadde møte i København 21. nov. 1979. Utvalget drøftet bl.a. utvik-

lingen av Physica Scripta, som siden 1976 har vært utgitt av selskapene og vitenskapsakademiene i fellesskap. Tidsskriftet har hatt en meget gunstig utvikling, med en fordobling av sidetallet og en nær fordobling av omsetningen fra 1976 til 1980. Selskapets medlemmer kan bidra til en fortsatt positiv utvikling av tidsskriftet ved å publisere en større andel av sine vitenskapelige arbeider i tidsskriftet. Samarbeidsavtalen om tidsskriftet utløper i 1981, og forhandlinger om forlengelse av avtalen starter i nær fremtid.

Samarbeidsutvalget drøftet også hvorledes en best mulig skal utnytte de midler som er tilgjengelige for fysikk gjennom det nordiske kultursamarbeidet. Bl.a. bevilges betydelige beløp til nordiske forskerkurser, som fysikerne utnytter relativt dårlig. Styret i NFS har derfor foreslått overfor de andre nordiske selskaper at Selskapets faggruppe for kjernefysikk arrangerer en nordisk vinterskole i kjernefysikk i 1981. Styrets initiativ er et forsøk på å få igang en turnusordning hvor de nordiske selskapene skifter på å arrangere vinter/sommerskoler på forskjellige fagområder av fysikken. Her venter det utvilsomt store arbeidsoppgaver for initiativrike faggrupper.

Støtteerklæringer

Styret har vedtatt tre støtteerklæringer til fordel for fysikere som er hindret i å utføre sitt arbeid, fordi deres elementære menneskerettigheter er krenket. I samarbeid med Norsk Biokjemisk Selskap og Norsk Kjemisk Selskap er det sendt en henstilling til presidenten for det sovjetrussiske vitenskapsakademi om å medvirke til at forevisningen av Andrei Sakharov oppheves. Videre er det henstilt til samme om å bidra til at professor Nohim Meimans søknad om utreisetillatelse til Israel innvilges. Endelig er det vedtatt en støtteerklæring til 4th International Conference on Collective Phenomena som ble arrangert i Moskva 12.-15. april 1980, hvor Kristoffer Gjøtterud og Finn Ingebretsen var norske deltagere.

Diverse

Styret utgjør sammen med professor S. Westin den norske nasjonalkomiteen for IUPAP. Det har ikke vært noen møteaktivitet i IUPAP i det forløpne år, men styret har samlet inn og formidlet informasjon til IUPAP om stipendmuligheter i Norge for fysikere fra utviklingsland. Styret og sekretariatet har dessuten ved flere anledninger formidlet kontakt og opplysninger til selskaper, institusjoner og enkeltpersoner i inn- og utland.

28. mai 1980

Eivind Osnes (sign.)
formann

Møte i Budapest 24. og 25. mars 1980 i Den rådgivende komite for fysikkundervisning (ACOPE) i EPS og besøk ved ungarske skoler 26., 27. og 28. mars.

Det møtte over 20 medlemmer av komiteen til møtene i Budapest. Spesielt gledelig var det store fremmøte fra de østeuropeiske land.

Dr. L. Samuelsson overtok formannsvervet etter professor A. Janner, Nijmegen, som har vært formann i 6 år. Han fortsetter som redaktør av Europhysics Education News. Samuelsson er studierektor ved Universitetet i Linkøping.

Det ble en lengre diskusjon om hvordan man best kunne komme i gang med det internasjonale utvekslingslektoratet i fysikkundervisning (International Exchange Lactureship Scheme). Det byr på større problemer enn man opprinnelig hadde tenkt seg.

Man ble enige om hva undervisningskomiteen kunne bidra med i plenum og i parallell-sesjoner ved den 5. EPS-kongressen i Istanbul i september 1981.

Professor Series redegjorde for arbeidet med European Journal of Physics. Det første nummeret vil komme i juni, og vil blant meget annet inneholde en artikkel av Ø. Grøn, Oslo. Det blir 4 nummer i året. Men utgivelsene vil bli forsert slik at man får gitt ut 8 nummer innen utgangen av 1981.

Som innledning til en diskusjon om fysikk-konkurranser, rapporterte Samuelsson fra en fysikkkonkurranse for svenske gymnasiaster. Kapitza, Moskva fortalte om opplegget ved en fysikkolympiade og Taieb, Grenoble om en fransk konkurranse.

Borns rapport om fysikken i Secondary Schools i Europa, nærmer seg avslutningen, og vil bli trykket i Europhysics Education News. Dr. N. Svanteson, Gøteborg redegjorde for undersøkelser av konkret og formal forståelse. I den sammenheng fikk Svein Sjøberg, Oslo meget hederlig omtale. Det ble også drøftet mulighetene for en konferanse om dette i Gøteborg.

Neste møte vil bli holdt i Frankrike, mest sannsynlig i Grenoble. Professor G. Marx, Eøtvøs Universitetet, hadde lagt opp et program for besøk ved ungdomsskoler og videregående skoler for professor P. Thomsen, Danmark Lærerhøjskole og meg. Ungarerne forsøkte nye opplegg i fysikk. Vi ble imponert over det høye nivået undervisningen lå på, og den interesse og entusiasme elevene gikk løs på oppgavene med. Spesielt interessant var en forsøksserie som ble foretatt for å finne ut hvilke grunnstoffer som hadde like egenskaper, slik at man kunne samle dem i grupper; med andre ord lage seg sitt eget periodiske system.

28. mars holdt Thomsen forelesninger om siste bind av «Spørg Naturen» på Eøtvøs Universitetet. «Spørg Naturen» er et verk som egner seg utmerket til undervisning i samholdte klasser i ungdomssko-

forts. side 61

Fra det optiske forskningsmiljø ved Institutt for Almen Fysikk, NTH, Trondheim

Karstein Dybvik og
Gudmunn Slettemoen

Karstein Dybvik og Ole Johan Løkberg ble tildelt SIMRAD's fagpris i elektro-optikk for 1979 for sitt arbeid med oppbygging av et forskningsmiljø innen Fourier-optikk og arbeider innen holografi - modestruktur i laser - studier av nye optiske metoder for ikke-destrukiv testing - speckle - interferometri.*

Litt historikk

Institutt for Almen fysikk flyttet inn i eget bygg høsten 1965. Den gang hadde ikke forskningen sin helt naturlige plass ved alle institutter. Av det lavere vitenskapelige personalet var vi en del som ikke var knyttet til eksisterende forskningsgrupper, men som var interessert i optikk. Optikken var da et forsømt område av fysikken, både i undervisningen ved NTH og i landet ellers. Men den hadde fått et internasjonalt oppsving i tiden etter krigen, og spesielt etter at laseren kom i 1960. Elektro-optikk ble et samarbeidsfelt i rask utvikling.

Typisk for gruppen vår er at den er grodd opp fra bunnen. Den ble ikke startet av erfarne forskere med solid teoretisk bakgrunn og store faste planer. Vi som var primus motor i dette oppbyggingsarbeid, var ferske - riktignok med allsidig bakgrunn fra undervisningslaboratorium. Og vi så oppbyggingen av utstyr og miljø som en del av vår forskerutdanning. For min egen del måtte jeg (K. D.) melde pass alt tidlig i 1970-årene fordi jeg pga. av synssvikt ikke lenger kunne lese eller utføre eget eksperimentelt arbeid. Men Ole J. Løkberg, sammen med de andre som har vært ansatt ved instituttet som vit.ass. er og stipendiater, har bygget miljøet opp til det i dag er godt kjent internasjonalt. Fire personer har tatt sin dr.ing.-grad og en sin doktoravhandling på sitt arbeid i gruppen. Etter sin forskerutdanning har disse gått ut i industri eller til andre institusjoner. Nye seks stykker holder nå på med sitt dr.ing.-arbeid. Arbeidet i gruppen har på de siste 6-7 årene resultert i et 30-talls publikasjoner i internasjonale tidsskrifter.

Foruten oppbygging av et forskningsmiljø i optikk som kunne støtte opp om undervisning og forskerutdanning, tok vi spesielt sikte på måletekniske anvendelser. Her har holografiske metoder vist seg effektive. Holografisk interferometri er blitt gruppens kjennetegn utad med Løkeberg som veteran og kapasitet. Det meste av arbeidet i gruppen er gjort innen dette felt, spesielt med vibrasjonsanalyse og en del med deformasjonsanalyse. Mye av dette er gjort i samarbeid med Akustisk Laboratorium (høyttalere), FFIU (svingere), KV (turbiner) og Regionsykehuset i Trondheim (øret).

Av andre emner som det har vært, og blir arbeidet med, skal her kort nevnes: Optisk filtrering, testing av linser og linsesystemer ved måling av dets transferfunksjoner. Modestrukturen i He-Ne-lasere har det vært arbeidet en del med, og det er nå emne for et dr.ing.-arbeid. Speckle har vært gjenstand for grundige studier (emne for en doktoravhandling og et dr.ing.-arbeid), og brukes bl.a. til overflatestudier. Det bør også nevnes at i de siste årene har dos. E. J. Samuelsen bygget opp appratur og kompetanse innen Raman-spektroskopi.

Holografi og holografisk interferometri

Her skal gis en summarisk oversikt og kort riss av utviklingslinjer i holografisk interferometri. Når det gjelder en mer utførlig beskrivelse og illustrasjoner av holografi og dens anvendelser, kan det vises til et par artikler av Løkberg i tidligere nr. av FFV (1, 2).

Mennesker med normalt syn ser tingene (objektene) omkring seg. Men vårt syn er ikke noe som går ut fra øyet og så å si undersøker tingene. Alle synlige objekter reflekterer lys. Og denne reflekterte bølgefronten (objektbølgen) gir oss - gjennom øyet og hjernen - informasjon om objektets størrelse, form og posisjon i rommet. Vi oppfatter (ser) det som et tre-dimensjonalt objekt som står i rommet. Skal vi kunne bevare og gjenfremkalle et bilde av objektet etter at det er fjernet eller flyttet (eller det samme har skjedd med oss selv), tyr vi til midler som fotografi, film eller TV-opptak. Men det blir bare to-dimensjonale bilder, selv om de altså kan være «levende» nok. Kunne vi derimot registrere og gjenskape selve objektbølgen, ville vi få et tre-dimensjonalt bilde. Vi ville ha rekonstruert objektet i rommet. Det er nettopp dette vi gjør i holografi.

I *holografi* registrerer vi både amplityden og fasen til objektbølgen. Det oppnår vi ved å la den interferere med en definert referansebølge (plan bølge eller kulebølge). Objektbølgens fase bestemmer interferens«stripenes» form og avstand, amplityden

* *Lab.ing. Ole J. Løkberg har f.t. forskningstermin og er i USA ved University of Minnesota og University of Arizona. Siv.ing. Gudmunn Slettemoen vikarierer i hans stilling.*

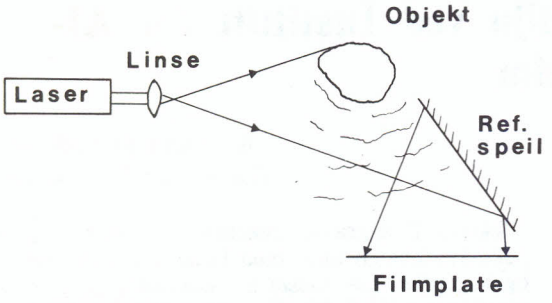


Fig. 1. Enkelt holografioppsett.

bestemmer stripenes modulasjon. For å få fram denne interferensen må vi ha høy-koherent lys, laserlys. Vinkelen mellom objekt- og referansebølgen bestemmer hvor høy oppløsning vi må ha på filmen for å kunne registrere det finstrukturerte interferensmønster. Typisk i et oppsett som på fig. nedenfor, er 1000-2000 l/mm. Fig. 1 viser et enkelt holografi-oppsett. En del av lyset fra laseren reflekteres fra objektet og gir objektbølgen, enspeil og danner referansebølgen. De to bølgene interfererer, og interferensmønsteret registreres på filmplaten. Den framkalte filmplaten er det vi kaller *hologram*. Det er en kodet og fastfrosset form av informasjonen om objektbølgen, både dens amplityde og fase. Vi kan nå gjenskape eller «vekke til live» objektbølgen ved å belyse hologrammet med referansebølgen alene. Gjennom hologrammet vil vi da se det gjenskapte (rekonstruerte) objektet stå i rommet (på samme sted som under opptaket), og så livaktig at en må kikke bakom hologrammet for å overbevise seg om at det «virkelige» objektet er fjernet.

I fig. 1 har vi et oppsett uten linser mellom objekt og filmplate. Det er den spredte objektbølgen vi registrerer og rekonstruerer. Vi kan også ha linse i oppsettet og fokusere objektbølgen f.eks. til et bilde på selve hologramplaten. Vi vil da få rekonstruert denne fokuserte objektbølge, dvs. bildet av objektet. Denne spesielle teknikken, *billedholografi,* brukes f.eks. i ESPI, se senere.

Ved hjelp av holografi har vi altså muligheten til å registrere objektbølgen og informasjonen om objektet, og rekonstruere den ved et senere tidspunkt. Dette utnytter vi i *holografisk interferometri.* Vi kan registrere bølgefronter fra objektet til to forskjellige tidspunkter (ikke mulig i vanlig interferometri). Har det skjedd små endringer med objektene i mellomtiden, får vi interferens mellom de to objektbølgefrontene. Vi får en interferometrisk sammenligning, et *interferogram,* mellom de to tilstandene av objektet. Det viser seg som striper eller «koter» over objektet. Fig. 2 viser to eksempler på interferogram, og kotene er et mål for hvor store endringene har vært over de ulike deler av objektet. Holografisk interferometri er en av de viktigste måleteknikske anvendelser av holografi. I motsetning til klassisk interferometri kreves ikke spesielt høykvalitets optiske komponenter, og objektet kan i prinsippet ha vilkårlig form.

I holografisk interferometri er det flere registreringsmetoder og opptaksmåter:

Ved *dobbelteksponering* tar vi to eksponeringer på samme hologramplate med objektet i to litt forskjellige tilstander. Ofte er det en referansetilstand - objektet i utgangsstilling - og en tilstand der objektet er påkjent (deformert, forskjøvet e.l.). Med pulset laser (dobbeltpuls) kan metoden også brukes for å registrere svært hurtige endringer i objektet f.eks. trykk- og tetthetsendringer omkring prosjektiler, utladninger o.l. Ved rekonstruksjonen får vi interferens mellom objektbølgene for de to tilstandene av objektet. Vi ser et interferogram (kotekart) over objektet, hvor hver kote representerer en bølgelengdes endring i optisk veglengde.

Ved *tidsmiddelopptak* tar vi et hologram mens objektet beveger seg f.eks. svinger harmonisk. Vi har her registrert en kontinuerlig rekke av objekttilstander. Når det gjelder harmoniske svingninger, får vi ved rekonstruksjonen fram svingebildet til objektet f.eks. en svingende membran. De lyseste partier representerer knutelinjer. Koter angir ut-

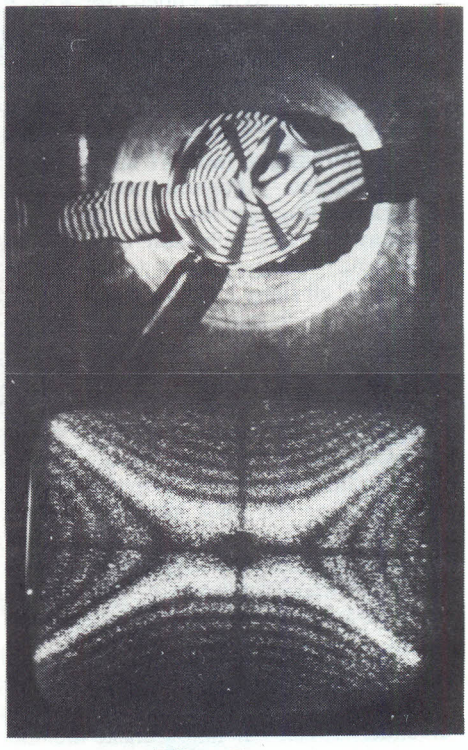


Fig. 2

Fig. 2. Eksempler på interferogram:
a) Dobbleteksponerings-opptak av trykkpåkjent blodtrykksmåler, HI.
b) Tidsmiddel-opptak av vibrerende stålplater i resonans, ESPI.

sving, og intensiteten i kotene avtar med økende amplityde.

Begge disse to metodene krever nye hologramopptak for hver ny situasjon vi vil undersøke. I en analyse med endringer av ulike parametre (som frekvens og amplityde i vibrasjonsanalyse) fører det til mange opptak og mye tidkrevende mørkeromsarbeid.

Ved *opptak i «sann tid» («real time»-opptak)* tar vi et holografi-opptak av objektet i utgangsstillingen (referansetilstand). Det framkalte hologram settes nøyaktig tilbake på sin plass i oppsettet. Med samme belysning som under opptaket kan vi nå foreta en interferometrisk sammenligning mellom objektet i referansetilstanden - rekonstruert fra hologrammet av referansebølgen - og det virkelige objektet mens dette påkjennes (deformeres, forskyves eller vibrerer). Med ett og samme hologram kan vi i interferogrammet iaktta virkningen av de parameterendringene vi ønsker å foreta i en analyse. Sammenlignet med de to forannevnte metodene sparer vi mye tid og arbeid.

Stroboskopisk holografisk interferometri kan være effektivt i vibrasjonsanalyse. Vi pulser (chopper) belysningen under hologramopptaket f.eks. v.hj.a. en elektro-optisk modulator. Modulatorspenningen U_m, kan synkroniseres med, og faseforskyves i forhold til objektets eksitasjonsspenning, U_e. Med to belysningspulser pr. svingeperiode under hologramopptaket vil rekonstruksjonen gi et interferogram mellom to (fritt valgte) deler av svingeperioden. Dette tilsvarer dobbelteksponeringen. Vi kan også gjøre det som tilsvarer real time-metoden. Vi tar et hologramopptak av objektet i ro. Det framkalte hologram settes nøyaktig tilbake på sin plass i oppsettet, slik at det rekonstruerte og det virkelige objekt faller sammen. Objektet settes i svingninger, og vi belyser med én belysningspuls pr. svingeperiode. Vi får da et interferogram mellom den belyste del av svingebevegelsen og referansetilstanden (objektet i ro). Ved å variere fasen mellom U_m og U_e kan vi med denne metoden studere de ulike deler av svingebevegelsen, gjerne i «langsom kino». Kombinert med de andre fordelene ved real time: At en kan endre parametre som utsving og frekvens, gjør at vi kan studere hele objektets svingeforløp med ett og samme hologram.

Pulsing (chopping) er egentlig sløsing med laserlyset. Med en annen metode, *fasemodulering*, kan vi oppnå mye av de samme fordelene med kontinuerlig belysning. Prinsippet er å drive referansespeilet (speilet som reflekterer referansebølgen) med en sinussvingning v.hj.a. en piezo-elektrisk modulator. Ved et tidsmiddelopptak (eller real time opptak) av et harmonisk svingende objekt er poenget at kotene i interferogrammet følger maksima og minima i en J_0-funksjon (Besselfunksjon). Deler av objektet som har vært i ro, er mest lyssterke pga. hovedmaksimum i J_0-funksjonen ved null utsving. Kotene for økende utsving avtar fort i intensitet. Når vi under betraktning av interferogrammet i et slikt oppsett driver speilet, vil de deler av objektet som svinger med samme amplityde og fase som speilet, være lysest. Vi kan si at relativt speilet står disse deler av objektet i ro. Ved å styre og måle referansespeilets amplityde og fase får vi fram objektets svingeforløp, om ønsket i langsom kino. Fasemodulering er spesielt enkelt å bruke i ESPI, se nedenfor.

Electronic Speckle Pattern Interferometri - ESPI

I avsnittet foran er omtalt holografisk interferometri - forkortet HI - der vi bruker film som holografisk registreringsmedium. I ESPI har vi gått et drygt skritt videre og erstattet filmplaten med target i et TV-kamera for registrering av hologrammet (3). Rekonstruksjonen foregår elektronisk slik at det rekonstruerte bildet og interferogrammet kommer fram på TV-skjermen. Dette sammen med de iøynefallende specklene (speckles) ved ESPI gjør at det ikke alltid er like lett å se sammenhengen med klassisk holografi.

Når et diffust objekt belyses med laserlys, har det reflekterte lyset et kornet utseende. Det er specklene vi ser, og det er rett og slett et broget interferensmønster pga. interferensen mellom lys fra ulike punkter i objektet når dette belyses av det høykoherente laserlys. Det er det vi foran har kalt objektbølgen som danner dette speckle-mønsteret. Jo mindre apertur vi betrakter objektet gjennom, dess mer iøynefallende blir specklene. I et vanlig HI-oppsett er ikke de begrensende aperaturer så små, og den begrensende oppløsning til registreringsmediet så liten at specklene blir iøynefallende. Det er derimot tilfelle i et ESPI-oppsett og specklene blir lett synlig, se fig. 2b.

Når en i ESPI har erstattet filmplaten med target i et TV-kamera for registrering av hologrammet, slipper vi mye foto- og mørkeromsarbeid. Og pga. TV-systemets virkemåte får vi 25 nye hologram pr. sekund! Vår får dermed en stadig oppdatering av interferogrammene og oppnår med det to vesentlige måletekniske fordeler:

1) For det første blir effekten av rystelser eller uønskete objektforskyvninger «glemt» etter 1/25 s. Kravene til stabilitet blir lempelige, og ESPI er godt egnet til bruk i industri- og verkstedmiljø. Det har f.eks. vært brukt i flere år ved KV til måling av egenresonanser i turbinhjul. Stabilitetskravene kan minskes ytterligere ved å «choppe» lyset slik at eksponeringstiden bare blir en brøkdel av hvert 1/25 s. På den måten har en målt svingninger på trommehinnen hos levende personer (4)!

2) For det andre gjør oppdateringen av interferogrammene at vi kan iaktta virkningen av endringer i betingelser og parametre mens de skjer. Spesielt er fasemodulering velegnet til bruk i ESPI, nettopp fordi vi hele tiden kan se hvilke

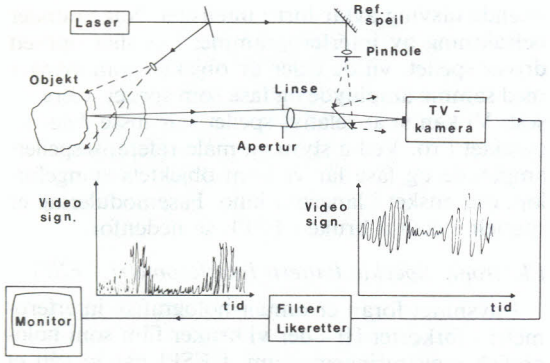


Fig. 3. Skisse av oppsett og signalbehandling i ESPI.

deler av objektet som svinger likt med referansespeilet mens vi endrer eksitasjonen av objektet eller speilet. Vi får på denne måten enkel oversikt over objektets amplityde og faseforhold (5, 6).

Når vi i fasemodulering gir referansespeilet et visst utsving, forskyver vi hovedmaksimum i J_0-funksjonen, og dette kan vi bruke til å utvide måleområdet for objektets utsving. Det er gjort nedover til svært små amplityder (ned til mindre enn 1/100 nm), (7), og oppover til større amplityder (opp til flere μ).

På fig. 3 ser vi en skjematisk skisse av et ESPI-oppsett. Objektet blir avbildet på target i TV-kameraet. Siden rekonstruksjonen foregår elektronisk, kan vi ikke (i alle fall ikke på noen enkel måte) tenke oss å rekonstruere den spredte objektbølgen, uten avbildning. Alle ESPI-oppsett baserer seg derfor på billedholografi, og vi får heller ikke den velkjente holografiske tredimensjonaliteten. På grunn av dårlig oppløsning på target i TV-kameraet (sammenlignet med holografisk film) blir referansebølgen sendt inn mot kamera i tilnærmet samme retning som objektlyset, se figuren. Som i HI, får vi også i ESPI med på registreringsmediet en del intensitetsbidrag som kan betraktes som støy og som vi undertrykker eller fjerner elektronisk. Prinsipielt bruker vi de samme metodene til dette både i HI og i ESPI. Lys avbøyd (diffraktert) ut til en bestemt vinkel fra et hologram i HI, tilsvarer en bestemt frekvens i videosignalet i ESPI. Fig. 3 viser at signalets dc-nivå blir fjernet i filteret, og at likeretteren demodulerer signalet. Stripene foreligger som modulasjon, og specklene som en slags ujevn bærebølge. På TV-skjermen vil vi se interferogrammet (8).

Oppsettene i fig. 1 og 3 har en referansebølge med en jevn bølgefront, dvs. *spekulær referansebølge*. For å få så jevn bølgefront som mulig i ESPI, blir den «renset» ved fokusering gjennom et pinhole (et hull på 10-20 μm), se fig. 3. Men vi er ikke nødt til å bruke spekulær referanse. Vi kan bruke *speckle-referanse* (9). Da lar vi referanse«bølgen» være speckle-feltet reflektert fra et diffust objekt ved siden av det objekt vi skal måle på. Vi kan sogar la det være en del av måleobjektet selv. I ESPI byr speckle-referanse på flere måletekniske fordeler: Oppsettet blir kompakt, enkelt oppbygd og lett å justere. I sin enkleste form består den optiske delen i et slikt oppsett av en laser til belysning av to objekter og en avbildningsenhet foran et TV-kamera. (V.hj.a. denne avbildningsenheten vil bildet av referanseobjektet overlappe med bildet av objektet og de tilsvarende bølgene vil interferere. For å fjerne de forannevnte støyleddene i intensiteten, må aperturen i avbildningsenheten ha en spesiell utforming). Referanselyset trenger vi ikke «rense» v.hj.a. pinhole. Optiske veglengdeforskjeller blir automatisk kompensert. Og ved å ta referanselyset fra en del av måleobjektet selv, kan vi i stor grad kompensere for uønskete objektbevegelser. Til slutt vil vi nevne at med en enkel midlingsprosess (v.hj.a. en roterende apertur) kan vi fjerne de generende specklene fra interferogrammet. Dette er ikke så enkelt i ESPI med spekulær referanse.

I ESPI er eksponeringstiden 1/25 s, bestemt av TV-systemets repetisjonsfrekvens. Vi har nevnt at ved å «choppe» lyset kan vi få kortere eksponeringstider. Skal vi på den andre siden gjøre målinger (bruke målemetoder) som baserer seg på å sammenligne objekttilstander atskilt med mer enn 1/25 s i tid, blir TV-kameraets «hukommelse» for kort. Det er da mulig å utvide den ved å lagre et bilde på en *elektronisk lagringsenhet* (f.eks. videotape eller scan convertor memory) og sammenligne med bilder på senere tidspunkt (10).

Vi har her skissert en rekke metoder i holografisk interferometri. Hovedvekten er lagt på prinsipper og de måletekniske muligheter vi har. Praktiske og tekniske vanskeligheter har vi suverent hoppet over. Men de er der, og spesielt vil vi understreke at interferometriske metoder er svært følsomme for rystelser og uønskete endringer av optiske veglengder. ESPI har vi presentert som en teknikk med mange praktiske og måletekniske fordeler, og den teknikken som er best egnet til interferometriske målinger i industri- og verkstedmiljø. Til slutt vil vi påpeke at interferogrammene i ESPI foreligger som elektriske signaler, og mulighetene ligger derfor godt til rette for en videre databehandling av måleresultatene.

Referanser

(1) *O.J. Løkberg:* Holografi. Fra Fysikkens Verden nr. 4 1968 s. 81-86.

(2) *O.J. Løkberg:* Anvendelser av holografi. Fra Fysikkens Verden nr. 1 1969 s. 14-20.

(3) *H.M. Pedersen, O. J. Løkberg og B.M. Førre:* Holographic vibration measurement using a TV-speckleinterferometer with silicone target vidicon. Opt. Commun. *12* 421-426 (1974).

(4) *O.J. Løkberg, K. Høgmoen og O.M. Holje:* Vibration measurement on the human ear in vivo. Appl. Opt. *18* 763-765 (1979).

forts. side 61

Centauro - prosesser

*Sven Oluf Sørensen**

Innledning.

Hvis man studerer utviklingen av den moderne fysikk, er det en tankerekke som naturlig melder seg: Skytes et proton med en kinetisk energi på noen få elektronvolt mot et atom, oppstår det fenomen som jonisasjon, lysemisjon etc. Går man opp en faktor million i energi, oppstår kjernereaksjoner. Øker man energien ytterligere med en faktor tusen, oppstår hele komplekset av elementærpartikkelprosesser. For hver gang man går opp et trinn i energi, oppstår prinsipielt nye fenomen. Spørsmålet melder seg derfor naturlig om denne tendens vil fortsette. Vil helt nye fundamentale prosesser manifestere seg hver gang man går opp noen størrelsesordener i energi av de bombarderende partikler?

De to største akseleratorer som for tiden er under konstruksjon er Brookhaven National Laboratorys ISABELLE og CERNs $p\bar{p}$ «collider». Begge maskinene er lagringsringer med kinetisk energi på hver av de kolliderende strålene på henholdsvis ca. 400 GeV og 270 GeV. Dette tilsvarer kollisjoner på en stasjonær target av størrelsesorden 100 TeV (1 TeV = 1000 GeV). Hvis man ønsker å studere prosesser hvor partikler med energier vesentlig over 100 TeV treffer en stasjonær target, er man derfor henvist til den kosmiske stråling.

Man kan sterkt forenklet hevde at det i dag finnes to motsatte syn på fysikkens fremtidige utvikling. Det ene er at alle strukturer i virkningstverrsnitt vil tendere til å flate seg ut når man øker energien av de kolliderende partikler, og at man etter noen TeV når et kjedelig land som kunne kalles «asymptopia». Det annet synspunkt er at stadig helt nye, uventede fenomen vil opptre etter som man går opp i energi. I løpet av de siste årene er det funnet indikasjoner på at det siste synspunkt kan være riktig. En rekke forskjellige observasjoner av høyenergetiske prosesser i kosmisk stråling tyder på at ~ 100 TeV er en slags terskelverdi for helt nye former for hadroniske prosesser. Vi skal i det følgende skissere en mulig ny type av elementærpartikkelreaksjoner som er blitt kalt Centauro-prosesser, og som synes å opptre ved energier $\gtrsim 1000$ TeV. La oss begynne med å skissere den «scene» hvor disse fenomen finner sted.

Den kosmiske stråling.

Den kosmiske stråling er et tynt regn av protoner og tyngre atomkjerner som kommer inn fra verdensrommet med energier som er registrert opp til 10^9 TeV. Ved kollisjon med jordens atmosfære dannes et meget komplisert spektrum av sekundærprosesser som brer seg nedover i atmosfæren. Det som fra en elementærpartikkelfysikers synspunkt er interessant, er at det her finner sted kollisjoner mellom partikler med kinetiske energier som ligger langt over det man i overskuelig fremtid kan vente å frembringe kunstig i laboratoriet.

Den mest karakteristiske prosess ved et støt mellom nukleoner i energiområdet $\gtrsim 10$ TeV er produksjon av en «jet» av hadroner, fig. 1. Ved energier under ~ 100 TeV vokser det midlere antall produserte partikler tilnærmet proporsjonalt med log s hvor s er kvadratet av den totale energi av de to kolliderende partikler i tyngdepunktsystemet. Den vesentligste del av de produserte partikler er π mesoner. Et annet karakteristisk trekk ved jets er en tilnærmet konstant midlere transversell impuls p_T ~ 0.3 GeV/c av de produserte partikler.

En rekke teoretiske modeller har vært fremsatt for å beskrive produksjonsmekanismen i høyenergetiske jets. Et synspunkt er at det i kollisjonen dannes en metastabil, kortlevet «ildkule» (fire ball), en «gass» av hadroner begrenset innenfor et lite vo-

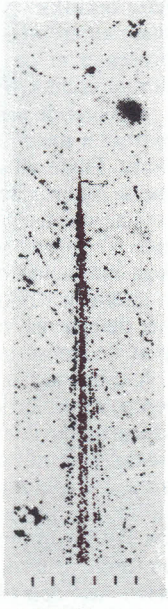


Fig. 1. Jet med energi 3 TeV registrert i en kjernefysisk emulsjon eksponert for kosmisk stråling.

* Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo.

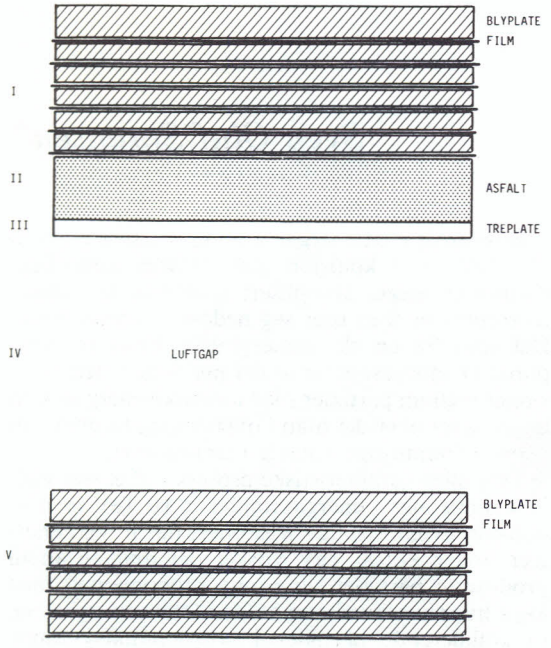


Fig. 2. Prinsippet for den type emulsjonskammer som anvendes av det Brasil-Japanske samarbeidsprosjektet på Mt. Chacaltaya.

lum, og at denne ildkulen analogt med en høyt eksitert mellomkjerne «fordamper» hadroner mer eller mindre isotropt i sitt eget tyngdepunktsystem. Mange karakteristiske trekk ved jets er beskrevet kvalitativt tilfredsstillende ved ildkulemodellen.

Den eksperimentelle teknikk.

For å studere disse ekstremt høyenergetiske elementærpartikkelprosesser er det utviklet en meget raffinert eksperimentalteknikk. En rekke detektorprinsipper bygger på følgende forhold: I jets produseres vanligvis nøytrale π mesoner som desintegrerer til to gammakvant. Disse vil ved suksessiv elektron-positron dannelse og bremsestråling gi opphav til elektromagnetiske skurer av gammastråler, elektroner og positroner. Fenomen som «extensive air showers» (EAS) kan inneholde opp til $\sim 10^9$ betapartikler og ha en lateral utstrekning på flere kvadratkilometer. EAS detekteres vanligvis på jordoverflaten ved hjelp av kompliserte systemer av elektronisk telleutstyr. Å slutte seg til karakteren av den primære reaksjonen byr imidlertid på store vanskeligheter da de produserte partikler gir opphav til en rekke sekundære reaksjoner når de beveger seg ned gjennom atmosfæren. - Problemet å filtrere ut informasjon om individuelle nukleon-nukleon kollisjoner fra studiet av EAS kompliseres også betydelig på grunn av den tunge primærstrålingen. Denne består av atomkjerner helt opp til transuraner med en kinetisk energi per nukleon av samme størrelsesorden som protonenes. Disse gir opphavet til multipartikkelkollisjoner som ofte kan være uhyre vanskelig å kartlegge.

Et betydelig mer direkte studium av jets i området $\gtrsim 10$ TeV kan gjøres ved hjelp av såkalte «emulsjonskammere». Et Brasil-Japansk kosmisk samarbeidsprosjekt (1) har utviklet en kammertype, fig. 2, som har følgende konstruksjon:

a) Et «øvre kammer», I, som består av 6 blyplater med en total tykkelse på tilsammen 10,9 cm. I hvert mellomrom mellom blyplatene er anbrakt et fotosensitivt lag bestående av 2 røntgenfilmer og en elektronsensitiv kjernefysisk emulsjon med lav grad av fading av spor.

b) Et «target» sjikt, II, som består av asfalt (eller en annen hydrokarbon forbindelse) med en tykkelse på 23 cm.

c) En treplate, III, 5 cm tykk som bærer delene I og II.

d) Et luftgap IV på 158 cm.

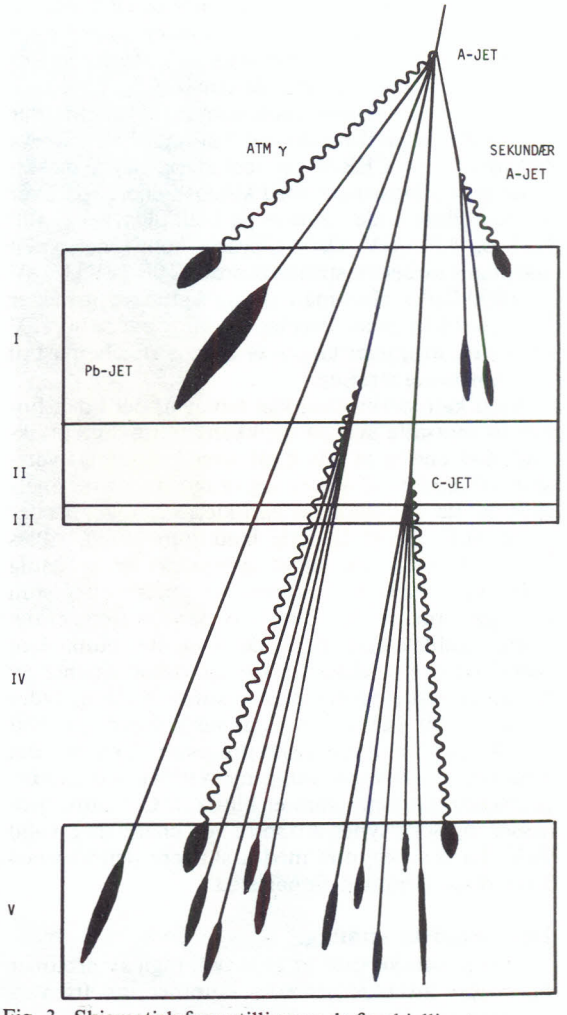


Fig. 3. Skjematisk fremstilling av de forskjellige typer av prosesser i et emulsjonskammer.

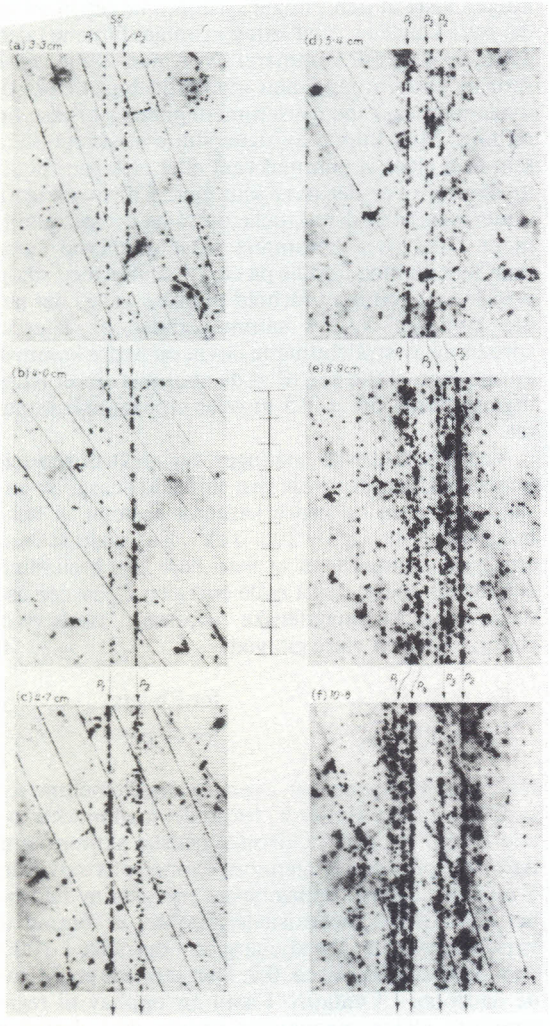


Fig. 4. Utviklingen av en elektromagnetisk skur i en kjernefysisk emulsjon.

e) Et «nedre kammer», V, som består av 6 blyplater med en total tykkelse på tilsammen 7 cm. I hvert mellomrom er der plassert et lag av samme fotosensitive materiale som i øvre kammer.

Skurer av γ-kvant sverter filmen.

Vi tenker oss en jet av hadroner oppstå i atmosfæren i en viss høyde over emulsjonskammeret som angitt i fig. 3. Denne jet antar vi også vil inneholde nøytrale π mesoner som i løpet av $\sim 10^{-16}$s desintegrerer i gammastråler. Jets vil derfor vanligvis inneholde energirike gammakvant. Man kaller den primære jet som er produsert i atmosfæren for A-jet og de assosierte gammastråler for Atmγ. Når en Atmγ treffer det øvre kammer, utvikles det en elektromagnetisk skur i blyet, som hvis den er tilstrekkelig energirik (dvs. inneholder tilstrekkelig mange betapartikler) etterlater en svertning i de suksessive filmlagene nedover i kammeret. Utviklingen av en elektromagnetisk skur i en elektronsensitiv kjernefysisk emulsjon er demonstrert i fig. 4. Da et emulsjonskammer av den type som er beskrevet ovenfor inneholder blyplater, vil kaskaden utvikle seg hurtigere enn i en emulsjon på grunn av blyets større tetthet. Det øvre kammer virker derfor som et filter for gammastråling fra den primære A-jet, slik at i targetsjiktet II har man vesentlig kollisjoner mellom targetkjernene og hadroner fra den primære A-jet.

Hadroner fra A-jets registreres ved de høyenergetiske kjernereaksjoner som de danner i det øvre kammer. Disse leder til produksjon av nøytrale π mesoner og dermed til elektromagnetiske skurer. Om disse bruker man betegnelsen Pb-jet. Noen hadroner kan trenge gjennom blyet i øvre kammer og produsere reaksjoner i targetmaterialet II. Disse kalles C-jet. I det nedre kammer kan det til slutt dannes Pb-jets produsert av hadroner som er trengt gjennom I, II, III og IV, eller hadroner fra Pb-jets i I eller fra C-jets. Resultatet av disse noe kompliserte forhold blir at man i de fotosensitive filmene kan observere grupper av mørke flekker som vist i fig. 5. Dette fenomen går under navnet av en «familie» av skurer.

Et spor gjennom et emulsjonskammer kan bare detekteres hvis det er assosiert med en tilhørende elektromagnetisk kaskade. For at skurer skal være synlige må de inneholde et visst minimum antall spor, dvs. være over en minste energi. Denne er av størrelsesorden 0,1-0,5 TeV. Leting i røntgenstrålefilmer etter «familier» av skurer foregår med det blotte øye. Senere undersøkes den kjernefysiske emulsjonen med mikroskop. Energien av en kaskade bestemmes enten ved å telle elektronspor i emulsjonen eller ved å anvende et mikrodensitometer på flekkene i røntgenfilmene etter at disse først er kalibrert ved bestråling med elektroner av kjent

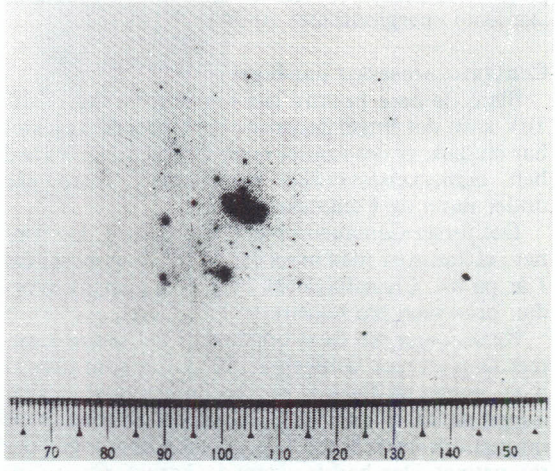


Fig. 5. «Familie» av elektromagnetiske skurer i en røntgenfilm.

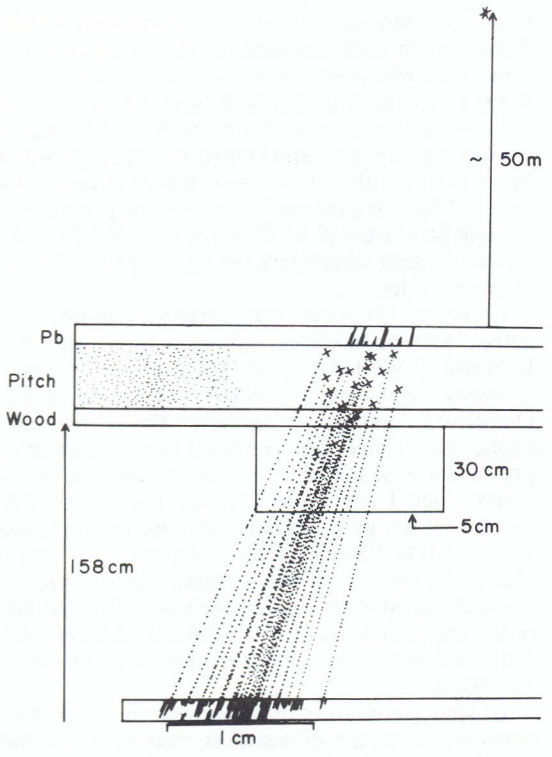


Fig. 6. Skjematisk fremstilling av Centauro I.

intensitet fra en betatron. Ved å måle strukturen av kaskadene ned gjennom kamrene, de såkalte transientkurvene, og sammenligne resultatet med teorien for elektromagnetisk skurer (2), kan energien av det opprinnelige gammakvant bestemmes. Ved hjelp av batterier av emulsjonskammere med en samlet overflate på flere hundrede m^2 og eksponering over perioder av år på Mt. Chacaltaya i Bolivia (5200 m) har det Brasil-Japanske samarbeidsprosjektet utført meget omfattende studier av ekstremt høyenergitiske jets i energiområdet 10-30 000 TeV.

Centauro-prosesser oppdaget

Blant de flere hundre jets i energiområdet $\gtrsim 10$ TeV som det Brasil-Japanske samarbeidsprosjektet har studert, er det funnet noen få eksemplarer med helt bemerkelsesverdige egenskaper. Disse går under navn av Centauro-prosesser.

Det første Centauro objekt, Centauro I, ble funnet i et kammer med areal ca. 44 m^2 eksponert i cá. 1 år på Mt. Chacaltaya (3). I fig. 6 er gjengitt hvordan prosessen ble registrert i kammeret.

Reaksjonen ble først oppdaget i det nedre kammer som en stor familie på 150 skurer som tilsammen dannet en flekk i røntgenfilmene med en diameter på ca. 1 cm. Flekken hadde en form som minnet om en kentaur i den greske mytologi - derav navnet. Den hadde videre det karakteristiske utseende av en større elektromagnetisk skur, og retningen viste at den trengte gjennom targetsjiktet og det øvre kammer. Ved leting i røntgenfilmene i den delen av det øvre kammeret hvor man skulle vente spor av skuren, fant man imidlertid ingen elektromagnetisk kaskade av sammenlignbar størrelse og retning. Man kunne av dette slutte at skuren ikke kunne skyldes et gammakvant eller elektron fra atmosfæren over det øvre kammer. En nøyaktigere undersøkelse av det aktuelle området av røntgenfilmene i det øvre kammeret ledet imidlertid til at man fant en liten familie på ca. 11 skurer med riktig posisjon og retning i forhold til prosessene i det nedre kammer. Ved å sammenholde den laterale spredning av strålebuntene i øvre og nedre kammer kunne man slutte seg til at de stammet fra et felles utgangspunkt 50 ± 15 m over emulsjonskammeret.

Ved fotometriske målinger og elektronsportellinger på Centauro I ble den samlede energi av kaskadene i øvre og nedre kammer bestemt til henholdsvis ~28 og ~203 TeV. En svakhet ved emulsjonskammeret er at man bare kan bestemme et hadrons energi ved å måle energien E_γ av den assosierte elektromagnetiske skuren. Hadronets energi E_N vil da være gitt ved:

$$E_N = E_\gamma / k_\gamma \qquad \text{for Pb-jets}$$

$$E_N = \Sigma E_\gamma / k_\gamma \qquad \text{for C-jets}$$

hvor summasjonen går over alle medlememne av en C-jet familie. Her er k_γ forholdet mellom den totale energi av den elektromagnetiske skuren som hadronet produserer gjennom dannelse av nøytrale π mesoner og den opprinnelige energien av hadronet selv. Dette inelastisitetsforholdet er funnet å variere relativt lite med energien i området 1-1000 TeV og er bestemt til ca. 0,2. Den samlede energi av de hadroner i Centauro I som gir opphav til registrerbare elektromagnetiske skurer, blir derfor i øvre og nedre kammer henholdsvis ~140 TeV og ~1015 TeV. Summen, ~1155 TeV, er imidlertid ikke den totale energi av partiklene i den primære A-jet. Dette skyldes det forholdet som er nevnt ovenfor, at hadroner som har en laboratorieenergi $E_N \sim 1$ TeV er på grensen til å kunne detekteres i et emulsjonskammer ved hjelp av de elektromagnetiske skurer som de frembringer. Det samlede antall hadroner produsert i den primære reaksjon, og dermed den totale energi, kan imidlertid estimeres ved følgende metode:

Oversikt over flere Centauro-prosesser.

I fig. 7 er fremstilt, for hver av de fire «sikreste» Centauro-objekter I-IV, fordelingen av antall hadroner med energi $\geqq E_N$ som funksjon av den «normaliserte energi» E_N/E_o. Her er $E_o = \Sigma E_N$, hvor summasjonen går over alle hadronene i en Centauro-prosess. Fordelingen kan med god tilnærmelse bli approksimert ved en eksponentiell forde-

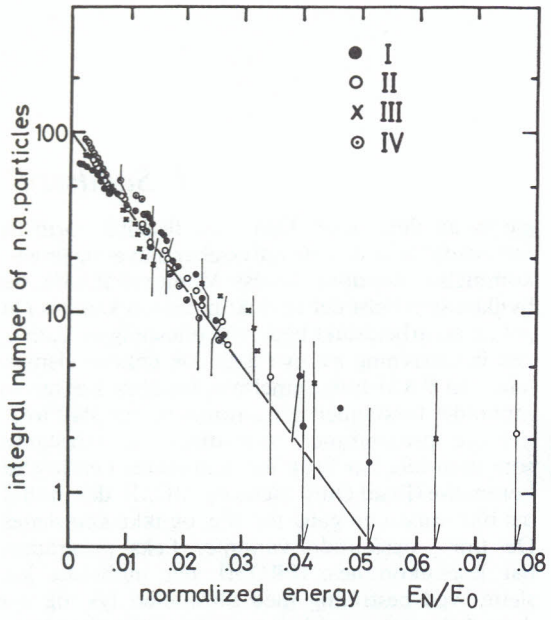


Fig. 7. Det integrerte antall hadroner fra 4 forskjellige Centauro-objekter I-IV som funksjon av den normaliserte energi.

ling. Det totale antall hadroner som kommer inn i øvre kammer kan derfor bli estimert ved å ekstrapolere fordelingen til null energi. Man får da en multiplisitet på 71 for Centauro I. En korreksjon av dette tall er nødvendig på grunn av sekundære reaksjoner som hadronene har i atmosfæren mellom den primære prosess og toppen av det øvre kammer. Med en avstand på ca. 50 m er dette tall estimert til 3, slik at det totale antall produserte hadroner blir ca. 74. Hvis vi tar som utgangspunkt at 74 hadroner i en avstand av 50 m sendes mot emulsjonskammeret, er det observerte antall sekundærreaksjoner og elektromagnetiske skurer kompatibelt med at ingen nøytrale π mesoner kommer fra den primære reaksjonen. Av prinsippet om ladningsuavhengighet må man videre slutte at heller ingen ladede π mesoner emitteres. Man må derfor regne med at alle partikler som sendes ut i den primære prosessen, er baryon-antibaryon par. Dette tyder på et fenomen av en helt ukjent type.

Ildkulemodellen gir vinkelfordelingen.

Basert på ildkulemodellen kan man få et mere detaljert bilde av disse ultra-høyenergetiske prosesser ved å studere vinkelfordelingen av de produserte partiklene.

La θ betegne vinkelen i laboratoriesystemet mellom retningene av primærpartikkelen og en av de emitterte sekundærpartikler. I vårt tilfelle, for Centauro-prosesser, kjenner man ikke retningen av den primære partikkel eller det objekt som utløser reaksjonen, men la oss anta at denne faller tilnærmet sammen med bevegelsen av det «energiveiede» senter for alle sekundærpartiklene. Vi definerer en størrelse $F(\theta)$ slik at denne er proporsjonal med antall partikler emittert med vinkler mindre enn θ, og normalisert til $F(\pi) = 1$. Antar vi en isotrop fordeling av de produserte partikler i ildkulens tyngdepunktsystem kan man vise at: (4)

$$\log \frac{F(\theta)}{1-F(\theta)} = 2 \log \gamma_c + 2 \log \operatorname{tg} \theta$$

hvor $\gamma_c = 1/\sqrt{1-\beta_c^2}$ og $c\beta_c$ er ildkulens hastighet i laboratoriesystemet. Hvis vi fremstiller $F/(1-F)$ som en funksjon av $\operatorname{tg}\theta$ på en log-log skala, vil en isotrop emisjon gi en rett linje med vinkelkoeffisient 2, og skjæringspunktet mellom denne rette linje og $\operatorname{tg}\theta$ aksen gir verdien av $\log \gamma_c$. Antar vi at den totale energi av ildkulen i laboratoriesystemet er $\sim E_o$, vil dens masse være gitt ved

$$M \sim E_o/\gamma_c$$

For de fire observerte Centauro-objekter er målingene i overensstemmelse med en isotrop fordeling av partiklene i ildkulens tyngdepunktsystem, med masseverdier i området ~ 200 GeV.

Ved siden av disse 4 Centauro reaksjoner er det også observert ca. 15 beslektede prosesser, som er blitt kaldt Mini-Centauro. Disse er også karakterisert ved et uforholdsvis lavt antall emitterte nøytrale π mesoner. Mini-Centauro objektene har imidlertid en betydelig mindre masse, $\sim$20-30 GeV, og antall emitterte partikler er av størrelsesorden ~ 15, med en samlet total energi i laboratoriesystemet på $\sim$250-1000 TeV.

(Fortsettes i neste hefte.)

Forts. fra side 56.

(5) *O.J. Løkberg, K. Høgmoen:* Use of modulated reference wave in electronic speckle pattern interferometry. J. Phys. E *9* 847-51 (1976).
(6) *O.J. Løkberg, K. Høgmoen:* Vibration phase mapping using electronic speckle pattern interferometry. Appl. Opt. *15* 2701-04 (1976).
(7) *H. Høgmoen, O. J. Løkberg:* Detection and measurement of small vibrations using electronic speckle pattern interferometry. Appl. Opt. *16* 1869-75 (1977).
(8) *G.Å. Slettemoen:* Optimal singal processing in electronic speckle patern interferometry. Opt. Commun. 23 213-16 (1977).
(9) *G.Å. Slettemoen:* Electronic speckle pattern interferometric system based on a speckle reference beam. Kommer i Appl. Opt. mars 1980.
(10) *O.J. Løkberg, O.M. Holje og H.M. Pedersen:* Scan convertor memory used in TV-speckle interferometry. Optics and laser technology *8* 17-20 (1976).

Forts. fra side 52.

len, og er i ferd med å bli enerådende på området i Danmark. Bøkene er skrevet på en måte som gjør det lett å differensiere undervisningen slik at alle elevene får godt utbytte av den.

Knut Jostein Knutsen.

Mikroelektronikk og mikroprosessorer

Del 2

J. Sandstad)*

Strukturen for en mikroprosessor.

En elektronisk siffer-regnemaskin består av mange forskjellige logiske kretselementer koblet sammen slik at maskinen kan programmeres til å utføre en vilkårlig sekvens av arimetiske og logiske operasjoner. En mikroprosessor inneholder i hovedtrekkene samme slags elementer som en større digital prosessor. Den viktigste forskjellen er at hele prosessoren er framstilt som en stor-skala integrert krets på en enkel siliciumskive.

Et eksempel på en mikroprosessor er vist i fig. 11, og i fig. 12 er det antydet hvordan de enkelte delene av prosessoren er plassert på siliciumskiven.

Fig. 13 viser skjematisk strukturen for prosessoren (litt forenklet). Funksjonsmessig er den viktigste delen den arimetisk-logiske enheten (ALU), som kan utføre addisjon, subtraksjon og forskjellige logiske operasjoner, f.eks. logiske AND- og OR-operasjoner, og teste om et tall er større, lik eller mindre enn et annet tall. Den arimetisk-logiske enheten har direkte forbindelse til regneregistere, f.eks. addend- og akkumulator-register. Rekkefølgen av de enkelte prosessene bestemmes av program og styrelogikk.

Kodene for de instruksjonene som skal utføres, plasseres etter tur i et instruksjonsregister. Adresseregisteret inneholder «adressen» til det sted i lageret (hukommelsen) som data eller instruksjoner skal hentes fra eller sendes til. Hukommelsen består gjerne av flere deler. Den mest fleksible form for hukommelse er direkte adressebar skive- og lesehukommelse (Random Access Memory, RAM), der hvilken som helst del av hukommelsen kan nås i løpet av en arbeidstakt både ved utlesning av data og ved innskrivning av nye data. De enkelte elementene i en RAM-hukommelse er bistabile kretser, og innholdet forsvinner når strømmen blir slått av.

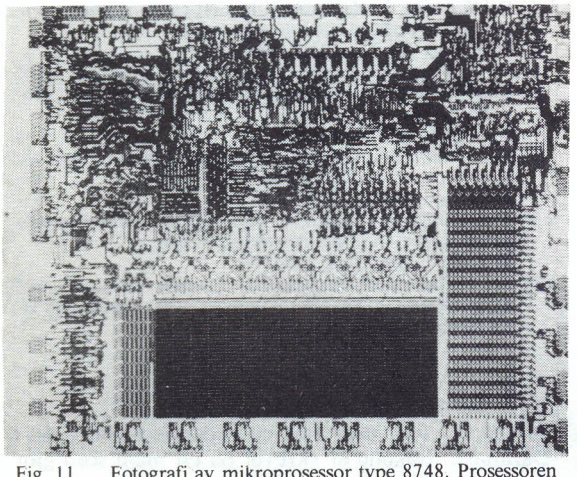


Fig. 11 Fotografi av mikroprosessor type 8748. Prosessoren inneholder ca. 20 000 NMOS-transistorer på en siliciumskive med areal ca. 0.4 cm².

*) Førsteamanuensis ved Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo.

Faste programmer, subrutiner og konstanter som man ofte har bruk for, kan lagres i en lesehukommelse (Read Only Memory, ROM), der innholdet blir innlest en gang for alle, og ikke kan slettes. Det finnes også andre varianter, f.eks. programmbar lesehukommele (PROM), der innholdet kan slettes ved bestråling med ultrafiolett lys, og nye data skrives inn ved hjelp av elektriske signaler.

Arbeidsgangen i en mikroprosessor er i prinsippet den samme som i større datamaskiner. Den detaljerte styringen utføres av styrekretser som får sine signaler fra klokketakt-generator, instruksjonsregister, adresseregister, programteller osv.

Et spesielt trekk ved mikroprosessorer er en buss-orientert signaloverføring. Med dette menes at det er felles datalinjer (en data-Buss) for overføring av signaler mellom forskjellige deler av systemet.

Hver enhet i systemet er koblet til databussen via portkretser som kan åpne for signaler inn til enheten eller ut fra enheten. I en arbeidstakt kan det f.eks. føres signaler over bussen fra en hukommelsesplass i ROM til adresseregisteret. I neste takt kan innholdet i ALU (den aritemetisk-logiske enheten)

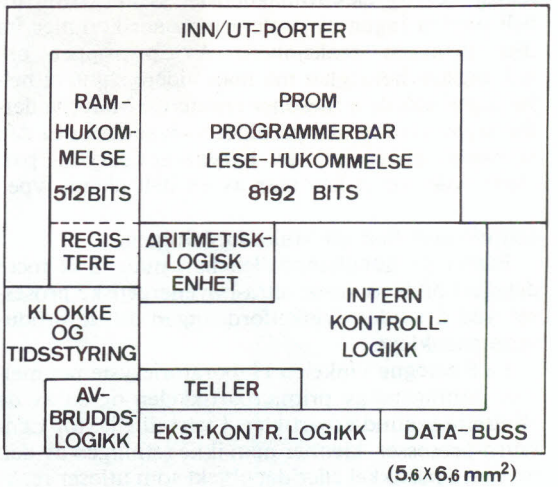


Fig. 12 MIKRO-PROSESSOR 8748

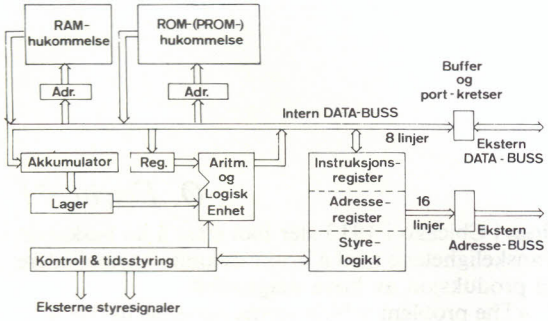


Fig. 13 Mikroprosessor, struktur

overføres over de samme buss-linjene til en ekstern del av hukommelsen. Styrekretsene må sørge for at portkretsene mellom databussen og de enkelte enhetene blir åpnet og lukket i riktig rekkefølge, slik at bare en enhet om gangen kan gi signaler ut på linjene. En tilsvarende adressebuss overfører signaler for adressering av eksterne hukommelseselementer.

Prosessoren i fig. 11-13 arbeider med 8 bits ordlengde, og data-bussen har også 8 linjer, slik at det kan overføres et 8 bits ord i en takt. Prosessoren kan programmeres til å arbeide med større ordlengde, f.eks. 16 bits, men prosesseringen vil da ta lenger tid, og overføring av et ord på databussen krever flere arbeidstakter.

Adresse-bussen har 16 linjer. Det gir mulighet for å adressere ca. 64 000 ord i eksterne hukommelsesenheter.

Anvendelser og fremtidsperspektiver.

Mikroprosessorer har allerede fått mange anvendelser, f.eks. i kalkulatorer, måleinstrumenter, prosessreguleringssystemer, tekstbehandlingsmaskiner osv.

Det finnes i dag avanserte lommekalkulatorer med mulighet for redigering og lagring av programmer, og med en regnekapasistet som for få år siden bare fantes i større datamaskiner.

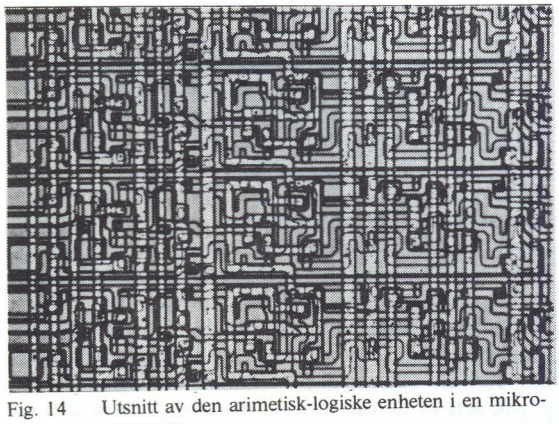


Fig. 14 Utsnitt av den arimetisk-logiske enheten i en mikroprosessor.

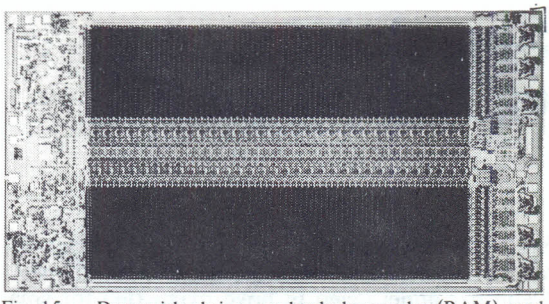


Fig. 15 Dynamisk skrive- og lesehukommelse (RAM) med ca. 16 000 lagerceller, fremstilt av MOS-transistorer på en siliciumskive med areal ca. 0.2 cm^2.

I måle- og reguleringsteknikk byr mikroprosessorene på mange fordeler, spesielt fordi de gir mulighet for desentraliserte og fleksible systemløsninger, som samtidig er billige.

Utvilingen innen mikroprosessor-teknologien går så fort at det er vanskelig å gi noen fornuftig gjetning om hva som vil skje på lang sikt, men for de nærmeste årene kan utviklingen diskuteres ut fra følgende stikkord:

Ordlengde. Her er det to tendenser. På den ene siden utvikles prosessorer med stadig større ordlengde. Det finnes en rekke proessorer med 16 bits ordlengde, og flere fabrikanter arbeider med utvikling av 32 bits prosessorer. På den andre siden fremstilles meget hurtige små prosessorer med kort ordlengde (f.eks. 4 bits), som kan arbeide i parallell («bit slice»), og brukes til ekstra hurtig signalbehandling.

Hukommelses-kapasitet

Som supplement til de forholdsvis hurtige MOS-hukommelser og langsomme magnetiske fleksi-platehukommelser er det under utvikling flere typer datahukommelser med stor lagringskapasitet og middels hastighet, f.eks. magnetisk boblehukommelse og optisk platehukommelse. Det blir også arbeidet med ekstremt hurtige hukommelseselementer, som utnytter Josephson-effekten i supraledere.

Terminaler

Mikroprosessorer brukes som styringsorgan i terminaler for datamaskiner. Det er realistisk å tenke seg fremtidens «hjemmekalkulator» utstyr med mikroprosessorer og TV-dataskjerm for tilkobling til store datamaskiner og databaser via telefonnettet.

Samfunnsmessige aspekter.

Mikroprosessorene vil utvilsom kunne utnyttes til en høyere grad av automatisering av arbeidsprosesser og produksjon både i industri, handel og serviceyrker. Det snakkes i denne forbindelse ofte om en ny industriell revolusjon.

Den positive siden av dette er at mennesker kan

forts. side 68

Supraledning og høge magnetfelt

Ø. Fischer)*

Supraledende magneter har allerede i mange år vært i bruk i forskninglaboratorier verden over. Dette har åpnet veien til høye magnetfelt for små institutter, og det har tillatt de store nasjonale magnet-laboratoriene å produsere felt opp til 30 Tesla ved hjelp av såkalte hybridmagneter. Ved store forskningssentre som f.eks. CERN er magneter av forskjellige slag, til dels med meget store dimensjoner, tatt i bruk i de senere år.

Utenom anvendelser innen forskningen eksisterer flere store prosjekter som vil bane veien for industriell anvendelse. Blant de viktigste mulige fremtidige anvendelser kan nevnes: Fusjonsreaktorer, generatorer og motorer, magnetisk separasjon og magnetisk løfting av kjøretøyer.

Muligheten til å kunne produsere høye magnetfelt uten vesentlig varmeutvikling har uten tvil åpnet veien for mange prosjekter som uten supraledningen vil være altfor kostbare eller rett og slett umulige å gjennomføre.

Det som kanskje kan synes litt underlig er at man først i våre dager, nesten 70 år etter at supraledningen ble oppdaget, snakker alvorlig om slike anvendelser. Ideen med å erstatte koppertrådene i en elektromagnet med en supraledende tråd er jo ikke så dyptgående og original at man ikke hadde kunnet komme på dette før! Sannheten er da også at Kamerlingh Onnes, supraledningens oppdager, med én gang tenkte på slike anvendelser. I et foredrag i Chicago i 1913 sier han etter å ha beskrevet vanskelighetene med å bruke avkjølte normalledere til produksjon av høye magnetfelt:

«The problem which seems hopeless in this way enters a quite new phase when a superconductive wire can be used. JOULE-heat comes no more into play, not even at very high current densities, and an exceedingly great number of amperewindings can be located in a very small space without in such a coil heat being developed. A current of 1000 amp./mm² density was sent through a mercury wire, and 560 amp./mm² density through a lead wire, without appreciable heat being developed in either».

Allerede året etterpå gikk imidlertid luften ut av ballongen. Kamperlingh Onnes fant nemlig resultatet som er vist i fig. 1. Det viste seg at det eksisterer et kritisk felt H_C hvor motstanden dukker opp igjen og dette feltet viste seg å være skuffende lavt, ca. 0.1 Tesla for bly. Dermed var drømmen om store anvendelser foreløpig ute.

Når man nå ser tilbake, er det klart at man ganske enkelt ikke interesserte seg for de riktige materialene til å begynne med. Man studerte kun «ideale» supraledere (rene elementer), andre supraledere, som for eksempel legeringer, ble vist relativt liten oppmerksomhet. Uheldigvis er det akkurat de ikkeideale materialene, som f.eks. legeringer fulle av inhomogeniteter, som har vist evnen til å tåle både høy strøm og høyt magnetfelt.

I resten av denne artikkeln skal vi gi en kvalitativ beskrivelse av hvordan slike materialer forholder seg i et magnetisk felt og hvilke problemer man møter ved fremstillingenav supraledende tråder.

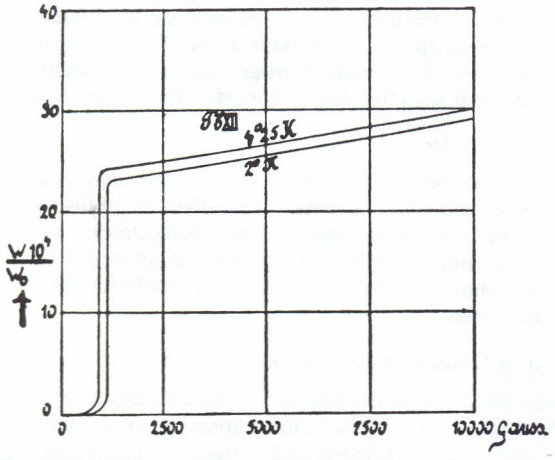


Fig. 1 Elektrisk motstand som funksjon av magnetfelt for Pb. Første måling av et kritisk magnetfelt (fra H. Kamerlingh Onnes, Akad. van Wetenschappen te Amsterdam 28. feb. 1914, side 1027).

Fluks-linjer og fluks-pinning

Gjennombruddet for anvendelse av supraledning kom i 1961 da J. E. Kunzler påviste at en tråd fremstilt av et kopperrør fylt med pulver av den supraledende forbindelsen Nb_3Sn, kunne føre meget høy strøm selv i et magnetfelt så sterkt som 10 Tesla. Dette materialet og andre med lignende egenskaper er blitt kalt harde supraledene i en viss analogi til harde magnetiske materialer. Hva er så annerledes med disse materialene enn med bly og kvikksølv m.m. som Kamerlingh Onnes undersøkte?

Det lave kritiske magnetfeltet H_C til f.eks. bly kan sees som et resultat av den såkalte Meissner-effekten, som innebærer at $B = 0$ i en supraleder. Energetisk sett er denne tilstand mindre gunstig enn en

Tabell I Et utvalg av supraledende materialer

Forbindelse	Krystallstruktur	T_c	H_{c_2}
$Nb_{0.5}\ Ti_{0.5}$	A-2	~10 K	~13 Tesla
$Nb_3\ Sn$	A-15	~18 K	~24 Tesla
$V_3\ Ga$	A-15	~15 K	~24 Tesla
$Nb_3\ Ge$	A-15	~23 K	~37
$(Hf_{0.5}\ Zr_{0.5})\ V_2$	C-15	~10 K	~23
$Sn\ Mo_6\ S_8$	Chevrel-struktur	~14 K	~40
$Pb\ Mo_6\ S_8$	Chevrel-struktur	~15 K	~60

hvor feltet trenger inn. Ved $H = H_C$ er feltenergien, $^1/_2\mu H^2$, lik supralederens kondensasjonsenergi, metallet går derfor over i normaltilstanden når H blir høyere enn H_C.

Det viser seg nå at under visse betingelser som er realisert i de fleste intermetalliske forbindelser og legeringer vil ikke den ideale Meissner-effekten inntreffe og det magnetiske feltet trenger delvis inn i supralederen. Dette fører til at supraledningsevnen vedvarer over H_C, opp til et øvre kritisk felt H_{C_2}. Supraledere av denne typen kalles «type II, supraledere, og for visse materialer kan det kritiske felt anta meget høye verdier (Nb_3Sn, $H_{C_2} \approx 24.0$ Tesla, $PbMo_6S_8$, $H_{C_2} \approx 60$ Tesla), mer enn høye nok til at anvendelser nå blir mulige. I tabell I er angitt noen av de beste supraledende materialene.

Imidlertid viser det seg at når man sender strøm gjennom en slik supraleder så får man ofte varmeutvikling ved svært lave strømmer. Dette skjer når strømmen går over en viss kritisk verdi, I_C, som altså for type II supraledere ofte er altfor lav til at anvendelser kan komme i betraktning. Allerede i 30-årene var det kjent at visse legeringer som f.eks. bly-wismut kunne beholde supraledningsevnen opp til felt av størrelsesorden 2 T og konstruksjon av elektromagneter med dette materialet ble også forsøkt, men strandet pga. den lave kritiske strømmen.

For å forstå hvorfor Kunzler's tråd funksjonerte bedre er det vesentlig å vite at den magnetiske fluksen trenger inn i form av såkalte flukslinjer i en type II supraleder. En flukslinje kan man tenke seg som en tynn tråd i retning av magnetfeltet (z-retningen). Sirkulære strømmer i x-y-planet produserer et høyt magnetfelt langs flukslinjens akse hvor supraledningsevnen forsvinner. Fluksen i en supraleder er kvantisert, og en flukslinje inneholder et flukskvant φ_0 ($\simeq 2.10^{-15}$Tesla.m^2). Når det ytre magnetfeltet øker, trenger flere og flere slike flukslinjer inn i materialet. Disse flukslinjene danner et triangulært gitter i x-y-planet, og H_{C_2} er nådd når de normale kjernene i flukslinjene berører hverandre. Eksistensen av slike flukslinjer kan påvises f.eks. ved å la meget små jernpartikler dale langsom ned på overflaten av en supraleder i et magnetisk felt.

Fig. 2 Flukslinje-gitter observert på overflaten av en Nb-enkrystall (fra U. Essmann , Physica 55 83 (1971).

I fig. 2 er vist et elektromikroskopbilde av en slik overflate. Jernpartiklene samler seg der flukslinjene trer ut av metallet.

La oss vende tilbake til de lave kritiske strømmene i type II supraledere. Hvis man sender en strøm i x-retningen gjennom en supraleder som inneholder flukslinjer (i z-retningen), vil det på flukslinjen virke en Lorentzkraft i y-retningen. Hele fluks-gitteret vil dermed bevege seg i y-retningen. Denne bevegelsen vil føre til at vi får et elektrisk felt i x-retningen og vi får dermed varmeutvikling dvs. endelig motstand. For å unngå dette må man forhindre at flukslinjene kan bevege seg, og dette oppnås ved å gjøre supralederen inhomogen. Slike inhomogeniteter kan bestå av dislokasjoner, utfellinger av andre faser osv. Det vil vanligvis være energetisk gunstig for en flukslinje å befinne seg nær en slik inhomogenitet. Det må derfor en viss kraft, f_S, til for å trekke flukslinjen vekk fra denne inhomogeniteten. Man kaller dette «fluks-pinning».

Hvis kraften er en Lorentz-kraft så må det altså en endelig (kritisk) strøm til for å bevege flukslinjen. I en reell supraleder hvor det finnes et stort antall slike inhomogeniteter vil den kritiske strømmen være gitt av summen av alle de elementære pinning-kreftene. Hvis flukslinjegitteret var stivt og vi antar at inhomogenitetene er statisk fordelt, ville den totale kraften forsvinne. Det spiller derfor en vesentlig rolle at dette gitteret er elastisk og kan tilpasse seg ujevnhetene i mediet. Imidlertid gjør dette at summeringsproblemet blir ytterst komplisert og en tilfredsstillende matematisk beskrivelse foreligger fremdeles ikke.

Heldigvis trenger vi ikke løsningen på dette matematiske problemet for å produsere en teknisk supraleder. Kunsten å produsere en høy kritisk strøm består i å skape flest mulig inhomogeniteter i metallet uten å ødelegge supraledningen.

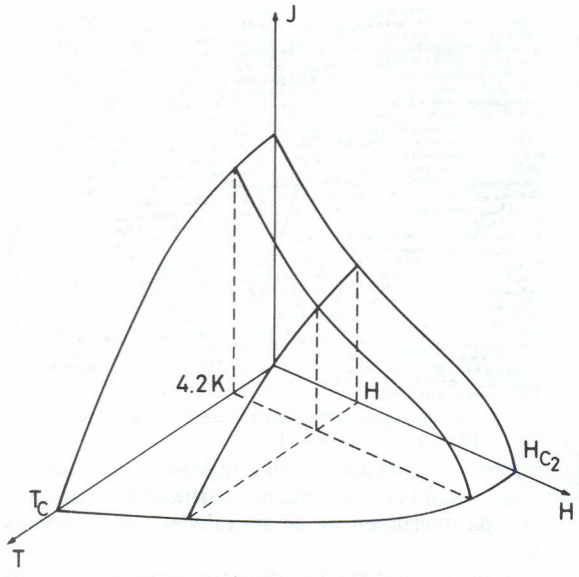


Fig. 3 Skjematisk fremstilling av en supraleders kritiske flate $J_C(T,H)$.

Tekniske supraledere

Betingelsen for at en supraleder skal kunne anvendes er at de tre kritiske størrelsene T_C, H_{C_2} og I_C alle er høye. Relasjonen mellom de tre størrelsene kan best illustreres ved en kritisk flate $I_C(T,H)$. I fig. 3 er vist en typisk form for denne flaten. Det høyeste feltet man kan oppnå, avhenger både av arbeidstemperaturen og strømtettheten man trenger for å fremstille feltet.

Mens T_C og H_{C_2} er karakteristiske størrelser som er bestemt av den atomære sammensetningen av materialet, er I_C en størrelse som i det vesentlige avhenger av materialets beskaffenhet, som kornstørrelse, innhold av fremmedfaser osv. Høy kritisk strøm blir derfor som regel oppnådd som resultat når man fremstiller dem i form av tynne, supraledende tråder.

I legeringen Nb-Ti, som er ett av de viktigste supraledende materialer i dag, er den høye kritiske strømstyrken en følge av det store antall dislokasjons-ringer man produserer i materialet når det blir trukket til tråd. I visse tilfeller kan en varmebehandling produsere utfellinger av α-Ti som hjelper til med å øke I_C ytterligere. Varmebehandlingen ved for høy temperatur får dislokasjonsringene til å forsvinne og fører derfor til en degradering av materialet.

En faktor som sterkt kompliserer anvendelsen av supraledere er stabiliseringen. Den høye kritiske strømtettheten blir oppnådd fordi inhomogeniteten i materialet forhindrer flukslinjene i å bevege seg. Men når feltet i en spole blir variert, f.eks. fra null til maksimum felt, må flukslinjene bringes inn i materialet og dette blir selvsagt vanskeliggjort av alle inhomogenitetene. Dette fører til at fluksen vil ha en tendens til å trenge inn i materialet sprangvis. Slike fluks-sprang vil føre til en lokal oppvarming, som kan bringe en del av materialet over i normaltilstanden. På grunn av den høye strømmen vil det her produseres ytterligere varme og vi får dermed i hele spolen en brå overgang til normaltilstanden («Quench»).

For å unngå slike ustabiliteter blir de supraledende trådene fremstilt i form av multifilamenttråder som består av et stort antall tynne (ca. 10μm) supraledende filamenter omgitt av kopper. Varmen avgitt ved et fluks-sprang i et filament blir raskt ført vekk av kopperet uten at de andre filamentene blir berørt. Der en del av et filament er normalledende passerer strømmen i kopperet. (Normalmotstanden i en høyfelts supraleder er som regel flere størrelsesordener høyere enn i kopper).

En viktig betingelse man må stille til et supraledende materiale er det at i tillegg til å ha høye T_C, H_{C_2} og I_C må det kunne fremstilles i form av multifilamenter eller annen stabilisert form. Legeringen Nb-Ti er i så måte et meget gunstig materiale. Uten altfor store problemer kan man fremstille kilometervis med tråd som inneholder mange tusen filamenter pr. mm^2. Dette materialet har derfor i de siste ti år vært mest anvendt.

Grunnen til at man likevel ønsker seg andre materialer enn Nb-Ti er at både den kritiske temperaturen ($T_C \approx 10K$) og det kritiske feltet ($H_{C_2}(T=0) \approx 13$ Tesla) er mye lavere enn det man finner i visse intermetalliske forbindelser, som f.eks. Nb_3Sn. ($T_C \approx 18K$ $H_{C_2}(T=0) \approx 24$ Tesla). Den opprinnelige Kunzlertråden viste seg å ikke være god nok for tekniske anvendelser og i den siste tiden har man derfor arbeidet intenst med å finne alternative fremstillingsprosesser for dette materialet. Problemet her er at Nb_3Sn er et sprødt materiale, og det er intet håp om å kunne fremstille tråder ved vanlig trådtrekkingsprosess. En av de fremstillingsmetoder som er benyttet er den såkalte bronseteknikken. Man fremstiller først en multifilamenttråd bestående av Nb-filamenter i en Cu-Sn tråd. Etter at reduksjonsprosessen er ferdig blir tråden (i visse tilfeller den ferdige spolen) utsatt for en varmebehandling ved ca. 700°C. Ved denne temperatur diffunderer Sn fra Cu til Nb og forvandler Nb-filamentene til Nb_3Sn. Valg av riktig temperatur for å oppnå små Nb_3Sn korn og dermed høy kritisk strøm er her vesentlig.

Magneter produsert med slike tråder finnes i mange laboratorier idag og gir muligheten til å produsere felt opp til 16 Tesla. Som det fremgår av tabell I, finnes det flere materialer som i prinsippet tillater produksjon av enda høyere magnetfelt. Det neste som nok vil komme på markedet er V_3Ga som fremstilles på samme måte som Nb_3Sn. En testmagnet fremstilt med V_3Ga har gitt 17.5 Tesla, som er det høyeste felt som til idag er produsert

med en supraledende spole. Man regner med at det i nær fremtid vil være mulig å nå ca. 20 Tesla med dette materialet.

Enda høyere magnetfelt vil kunne produseres med Chevrelfasen $PbMo_6S_8$. Tråder fremstilt med pulverteknologiske metoder har vist at det sannsynligvis også er mulig å benytte dette materialet, men vi må regne med at det vil ta lang tid før kommersielle tråder vil foreligge.

Mange forskningslaboratorier arbeider nå med å gjøre Nb_3Ge til en teknisk supraleder. Denne forbindelsen har den høyeste kritiske temperatur kjent idag, (23.2K) og er derfor av stor teknologisk interesse. Forbindelsen er imidlertid metastabil og kan kun fremstilles i form av tynne filmer. Dette kompliserer anvendelsene ganske betraktelig, og vi må nok også her vente en stund før man kan bygge spoler på kommerisell basis.

Cooper-par og parbrytning

At det eksisterer en kritisk temperatur for et slikt kollektivt fenomen som supraledning er kanskje ikke så helt overraskende. Derimot er det nok mindre klart hvorfor det også eksisterer et kristisk felt som i tillegg kan variere med opp til 3 størrelsesordener for forskjellige materialer med omtrent samme kritiske temperatur. La oss derfor se litt nærmere på hvorfor supralederen reagerer så kraftig på et ytre magnetfelt. Mikroskopisk sett er supraledningstilstanden sammensatt av singlett elektronpar. Vesentlig for at denne tilstanden kan eksistere er at alle elektrontilstandene ved Fermiflaten kan deles opp i par av degenererte tilstander. Dette er alltid mulig dersom Hamiltonfunksjonene er invariant under tidsinversjon. Man danner da par av en tilstand og den man oppnår ved tidsinversjon av denne tilstanden. Dersom Hailtonfunksjonen inneholder en term som ikke kommuterer med tidsinversjonsoperatoren, C, vil det vanligvis ikke være mulig å dele opp alle tilstandene ved Fermiflaten i degenererte par og som følge av dette vil bindingsenergien synke, og supraledningsevnen forsvinne dersom denne termen blir stor nok. Det er derfor en stor forskjell mellom vekselvirkninger som kommuterer med C og de som ikke kommuterer med C. De sistnevnte blir kalt parbrytningsvekslevirkninger.

Et eksempel på en ikke-parbrytende vekselvirkning er potensialet produsert av en ikke-magnetisk forurensning: Den kritiske temperaturen til en supraleder er stort sett uavhengig av materialets renhetsgrad. Derimot er vekselvirkningen mellom en elektrongass og et ytre magnetfelt, B, parbrytende og det gjelder både den kinetiske energiten $(\vec{p} - e\vec{A})^2/2\,m$ og vekselvirkningen med elektronspinnet $g\mu_B\,(\vec{\sigma}\vec{B})$. Dette er grunnen til at det eksisterer et kritisk felt. Hva er nå årsaken til at dette kritiske feltet varierer så sterkt fra en supraleder til en annen? Det viser seg at den dominerende virkningen av det ytre magnetfeltet er gjennom vektorpotensialet $\vec{A}$ i den kinetiske energien. Det er denne termen som er ansvarlig for Meissner-effekten og for flukslinjene i type II supraledere. Hvis man går ut fra at H_{C_2} blir nådd når den normale kjernen i flukslinjene berører hverandre, finner man $H_{C_2} \sim \varphi_O/\,\pi\xi^2$ hvor ξ er koherenslengden som angir dimensjonen på den normalledende kjernen av en flukslinje. Dette resultatet vil si at jo «tynnere» en flukslinje er, desto fler flukslinjer kan supralederen akseptere og desto høyere blir det kritiske feltet. Koherenslengden, ξ, er i en ren BCS supraleder gitt av forholdet v_F/T_C (v_F = Fermihastighet). Da Fermihastigheten er bestemt av $(dE/dk)_F$ hvor E er elektronets energi, betyr dette at supraledere med smale energibånd, som f.eks. overgangsmetallene Nb og V, vil ha relativt høyt kritisk felt, mens metaller med brede energibånd somPb og Sn vil ha et lavt kritisk felt. I de to sistnevnte supraledere er feltet H_{C_2} så lavt at man får en første ordens faseovergang ved $H_C > H_{C_2}$ (Type I). I reelle supraledere viser det seg at koherenslengden avhenger av elektronets frie veilengde i normaltilstanden, l, og for metaller med kort l blir $\xi \sim (lv_F/T_C)^{1/2}$. Jo kortere l, desto høyere blir H_{C_2}. Dette er grunnen til at legeringer som Nb-Ti, hvor l er så kort som 10-15 Å, har så høye kritiske felt.

Spesielt interessant er det å studere det kritiske feltet i en supraleder som $PbMo_6S_8$. Denne forbindelsen har det desidert høyeste kritiske feltet kjent idag. Årsaken til at akkurat dette materialet viser slike ekstreme verdier, er å finne i dets spesielle pseudo-molekulære krystallstruktur som fører til meget smale energibånd og dermed lav Fermihastighet.

Sammenhengen mellom krystallstruktur og kritisk felt kommer spesielt godt frem i materialer med sterk strukturell antsotropi, som f.eks. pseudo-éndimensjonale metaller. Et interessant eksempel på dette er supralederen $Tl_2Mo_6Se_6$, en slag endimensjonal versjon av Chevrel-strukturen ($PbMo_6Se_6$, en slag éndimensjonal versjon av Chevrel-strukturen ($PbMo_6S_8$). I fig. 4 er vist H_{C_2} som funksjon av vinkelen mellom den hexagonale c-aksen og magnetfeltet.

Anisotropien i det kritiske feltet er en direkte følge av at fermihastigheten, v_F, er nesten 30 ganger høyere i c-retningen enn perpendikulært på denne.

Et viktig problem gjenstår når det gjelder det høye kritiske feltet i $PbMo_6S_8$ og lignende materialer. Vekselvirkningen mellom elektronspinnet og det ytre magnetfeltet skulle her spille en vesentlig rolle. Hvis $PbMo_6S_8$ var en ren BCS-supraleder, så skulle det kritiske feltet være begrenset til under ca. 27 Tesla pga. denne vekselvirkningen (Clogston-grensen). I reelle supraledere vil denne grensen være noe høyere pga. spinn-bane-spredning, men

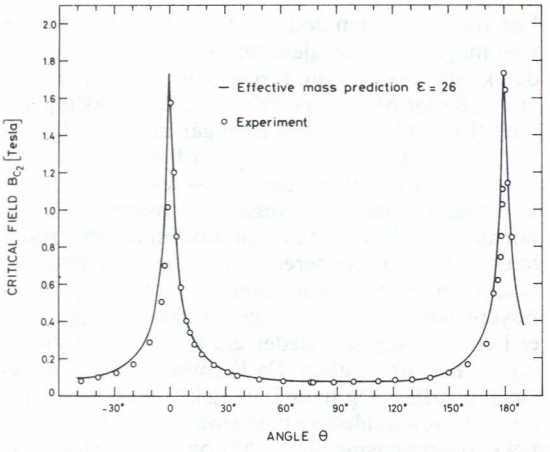


Fig. 4 Anistotropi av det kritiske feltet H_{C_2} i den pseudo-lineære forbindelsen $Tl_2Mo_6Se_6$ (fra J.C. Armici et al., Sol. State Comm. 33 607 (1980).

man må anta helt urealistiske verdier for å skyve grensen opp til det kritiske feltet man har funnet eksperimentelt. Av denne grunn har det vært mye spekulering om man her har en annen form for elektronpar, f.eks. triplettpar. Imidlertid foreligger ingen andre klare indisier på at dette er tilfellet.

Enda høyere?

Kan vi håpe å finne supraledere med enda høyere magnetfelt enn 60 Tesla, og kan vi håpe å kunne utnytte slike materialer til å produsere enda høyere felt? Når det gjelder supraledende magneter, så eksisterer allerede materialer som i prinsippet muliggjør felt i området 20-30 Tesla (Nb_3Ge, $PbMo_6S_8$). Det vesentlige problemet her er å lage brukbare tekniske supraledere ut av disse materialene. Dessuten blir Maxwell-kreftene et alvorlig problem når man går over 20 Tesla slik at det stilles økte krav til supralederens mekaniske egenskaper. Man kan derfor ikke vente seg en rask utvikling på dette området. På lengre sikt er det imidlertid all grunn til å tro at felt i området 20-30 Tesla vil kunne produseres med supraledende spoler.

Men hva med enda høyere felt? Som vi har sett er det enda ikke klart hvorfor det kritiske feltet til $PbMo_6S_8$ er så høyt som 60 Tesla. Det vi imidlertid kan si er at denne forbindelsen forholder seg som om kun den kinetiske energien spiller en rolle, dvs. $H_{C_2} = \varphi_0/\pi\xi^2$. Hvis vi bruker dette uttrykket, og antar at den laveste verdi vi kan anta for ξ er 3-5 Å (atomavstand), finner vi at $H_{C_2} > 1000$ Tesla. Dette betyr at selv om vekselvirkningen med elektronprinsippet skulle spille en viktigere rolle ved slike høye felt, er det atskillig plass ennå for materialer med enda høyere kritisk felt enn det vi kjenner i dag.

Litteratur

Generelt om supraledningen:
M. Tinkham: Introduction to superconductivity. McGraw Hill 1975

Anvendelser:
P. Komarek: Contemp. Phys. 17 355 (1976)

A-15 forbindelser:
J. Muller: Rep. Prog. Phys. (1980)

Chevrelfaser:
Ø. Fischer: Appl. Phys. 16 1 (1978).

Forts. fra side 68.
avlastes for tungt og kjedelig arbeid. Men på grunn av at utviklingen på den tekniske siden går svært fort, vil det kunne oppstå store omstillings-problemer.

Dette er et problemområde som også realister og ingeniører bør interessere seg for, men det ligger utenfor rammen for denne artikkelen.

Litteratur:

Scientific American: sept. 1977, spesialutg. om mikroelektronikk.
Electronic Design: okt. 1978, oversikt over mikroprosessorer, (typer, spesifikasjoner, fabrikanter).
Physics today, nov. 1979, spesialutg. om Microscience.

Bøker

Realfagundervisning i Norge. Redigert av Bernt K. Hauge, Tanum-Norli, Oslo 1979, 182 sider, pris kr. 95.-.

Opprettelsen av seminaret Realfagundervisning i Norge skyldes i første rekke et initativ fra lektor B.K. Hauge, Ugla skole og professor Osmund Jenssen, NTH. Det første seminaret ble holdt i Trondheim i 1977 og det andre i Oslo i 1978. Foreliggende bok inneholder et utvalg av foredrag som ble holdt ved disse seminarene. Olav Gjærevold skriver om bruken av realister i naturressursforvaltningen, Gunnar Gjone om matematikkens stilling i norsk skole, problemer og resultater i matematikk-didaktikk og om læringsteorier er til hjelp for læreren, Sven Sjøberg om forskning og utvikling i naturfaglig pedagogikk, og om lærestoffet i naturfag er for teoretisk og abstrakt, Einar Wang Lund om forholdet fysikk-kjemi i realfagstudiet sett fra et lærerutdanningssynspunkt, Bernt Hauge om identifisering av problemområder og Vidar Horsfjord gjør seg refleksjoner om utviklingsarbeid innen naturfagundervisning i Norge. Dette er alt i alt en meget tankevekkende bok som burde nå folk også langt utenfor lærernes rekker.

Heftet og med få figurer syns jeg forlaget burde ha maktet å få det ut for halve prisen.

Det er meget prisverdig av Realfagundervisning i Norge å få ut denne boken, og jeg vil også håpe at de fortsatt vil ha lykke med sine andre virksomheter: seminarvirksomhet, utbygging av et nasjonalt og et internasjonalt kontaktnett.

Knut Jostein Knutsen

Nobelprisen i fysikk for 1979 gitt i gaugeteori Del 2

*Jan Olav Eeg**

III. Elektrosvak vekselvirkning.

En antar altså at det i svak og elektromagnetisk vekselvirkning fins tilsammen 4 gaugebosoner $\gamma, W^{\pm}$ og Z som kopler med styrke $g_\gamma = e$, g_W og g_Z. *En forening av svak og elektromagnetisk vekselvirkning innebærer at to av disse koplingskonstanene kan uttrykkes ved den tredje.* En kan dermed forutsi noe om en prosess ved å kjenne til (en) liknende prosess(er). Dette er analogt med isospinnrelasjonen i kjernefysikk og elementærpartikkelfysikk for hadroner. En betrakter protonet (p) og nøytronet (n) som to forskjellige tilstander av en isospinndublett, *nukleonet* N = (p,n). Navnet *isospinn* har sammenheng med at isospinnegenskapen hos hadroner *matematisk* har samme struktur som kvantemekanisk spinn (Begge egenskapene er matematisk knytta til Lie-gruppa SU(2) - dvs. gruppa av unitære 2x2-matriser med determinant = 1). N = (p,n) har isospinn 1/2; p og n tilsvarer isospinn «opp» og «ned». (Som nevnt i avsnitt I består protonet (nøytronet) av to(en) isospinn «opp» kvark og en(to) isospinn «ned» kvarker) og får tilsammen isospinn opp(ned)). Videre er det tre «retninger» for isospinn. Isospinninvarians i sterk vekselvirkning innebærer f.eks. en sammenheng mellom pp-, pn-, og nn-spredning.

I gauge-teori generaliseres både isospinn-invarians fra sterk vekselvirkning *og* gauge-invarians fra QED. I WS-modellen danner en leptondublettene $L(e) = (\nu_e, e^-)$, $L(\mu) = (\nu_\mu, \mu^-)$, $L(\tau) = (\nu_\tau, \tau^-)$, og sier at ν_e og e^- tilsvarer *svakt* -isospinn «opp» og «ned». Den enkle gaugetransformasjonen (dvs. en fasefaktor $\exp\{i\theta(x)\}$; se likn. (1)) i QED blir nå utvida med gaugetransformasjoner langs de tre «retningene» for svakt -isospinn i tillegg til en fasefaktor, dvs.:

$$\theta(x) \longrightarrow \theta_o(x) + \sum_k \theta_k(x)\,\tau_k/2\,, \qquad (3)$$

hvor τ_k ; k = 1,2,3 ; er de tre 2x2 matrisene (gjerne Paulimatrisene) for svakt -isospinn (Da gruppa av fasefaktorer kalles U(1), er gaugegruppa i WS-modellen U(1)xSU(2)). Teorien inneholder derfor 4 gaugebosoner W^k - en for hver gaugeparameter $\theta_k(x)$; i = 0,1,2,3. W^0 som tilsvarer fasefaktoren $\exp\{i\theta_o(x)\}$ kopler til leptoner med styrke g^0, mens W^k ; k = 1,2,3 ; som tilsvarer svakt-siospinn transformasjoner kopler med samme styrke g. De fysiske gaugebosonene er

$$W^{\pm} = (W^1 \pm iW^2)/\sqrt{2},$$
$$Z = -W^0 \sin\theta_W + W^3 \cos\theta_W,$$
$$\gamma = W^0 \cos\theta_W + W^3 \sin\theta_W \qquad (4)$$

og de kopler med styrke:

$$g_W = g/\sqrt{2},\ g_\gamma = e = g\sin\theta_W,\ g_Z = g/\cos\theta_W :$$
$$\mathrm{tg}\,\theta_W = g_o/g \qquad (5)$$

Weinberg-vinkelen θ_W kan ikke bestemmes utfra teorien, men eksperimentelt finner en $\sin^2\theta_W = 0{,}23 \pm 0.01$. (Da teorien ikke gir noen verdi for g^o/g kan en med en viss rett si at svak og elektromagnetisk vekselvirkning ikke er fullt ut forent i WS-modellen). WS-modellen inneholder altså Fermi-modellen ved lave energier *og* QED samtidig som den innebygde gruppestrukturen gir en *sammenheng* mellom elektromagnetiske, svake nøytrale og ladde strømmer. Denne sammenhengen impliserer en tilsvarende sammenheng mellom f.eks. forskjellige lepton-lepton-spredningsprosesser (se Fig. 1a, 3a og 3b) og mellom forskjellige lepton-hadron spredningsprosesser (se Fig. 6).

Et naturlig spørsmål å stille seg er: Hvordan kan g_W og g_Z være av samme størrelsesorden som $g_\gamma = e$ når $W^{\pm}$ og Z skal formidle **svak** vekselvirkning? Forklaringa er: Ved utveksling av et boson (som i Fig. 1a, 3a, 3b) er sannsynlighetsamplituden proporsjonal med den såkalte propagatoren

$$D(k, m) \sim \{(k/c^2 - m^2)\}^{-1} \qquad (6)$$

hvor m er massen og k er 4-impulsen til det (virtuelle) bosonet som utveksles. Propagatoren er essensielt Fouriertransformasjonen av potensialet mellom leptonene. (For fotonet (γ) er $m_\gamma = 0$ som gir Coulomb-potensialet 1/r. For $m \neq 0$ fås et Yukawa-potensial $\exp\{-\mu r\}/r$ hvor $\mu = mc/\hbar$. Ved lave energier kan k/c neglisjeres i forhold til m.

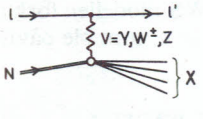


Fig. 6: Lepton-nukleonspredning $lN \longrightarrow l'X$.
Her kan $l, l' = e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu$; N = p,n og X = samling hadroner.

*) Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

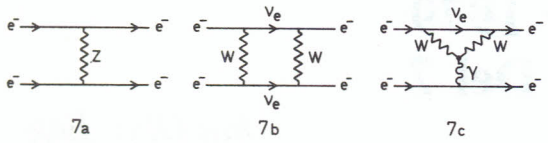


Fig. 7: Bidrag til e^-e^- -spredning fra svak vekselvirkning (Disse er neglisjerbare for energier $E << m_W c^2$).
a) En -Z boson utveksling. b) Dobbel W utveksling. c) γW-koblingsbidrag. Noe tilsvarende eksisterer ikke i Fermi-modellen.

Sammenlikning med Fermi-modellen gir derfor (se Fig. 2b og 3a)

$$G_F \sim (g_W/m_W)^2 \qquad (7)$$

hvor g_W nå er uttrykt ved den elektriske elementærladninga (se (5)). Da e og G_F er kjent eksperimentelt kan en i WS-modellen (ved hjelp av (5) og (7)) forutsi at massene til $W^\pm$ og Z bosonene er gitt ved (med $\sin^2\theta_W \simeq 0.2$):

$$m_W c^2 \simeq 80\text{GeV}\,,\ m_Z c^2 = m_W c^2/\cos\theta_W \simeq 90\ \text{GeV} \qquad (8)$$

Svak vekselvirkning er altså svak ved lave energier fordi $W^\pm$ og Z er tunge! Ved energier av størrelsesorden $m_W c^2$ og større vil svak og elektromagnetisk vekselvirkning opptre med samme styrke.

Kvarkene grupperes også i svakt-isospinn dubletter i WS-modellen. Inntil 1974 kjente en ikke til mer enn 3 kvarker slik at en ikke fikk to fulle dubletter. (Samtidig kjente en altså til 4 leptoner som kunne grupperes i to dubletter L(e) og L(μ)). På grunn av svakt-isospinn strukturen som er bygd inn i WS-modellen ville det føre til at en d-kvark kunne gå over i en s-kvark eller omvendt ved utveksling av et Z-boson (dvs. en særtallsendrende svak nøytral strøm). Dermed kunne altså et (ds)-system som K^0 annihilere via et Z-boson til et $\mu^+\mu^-$ -par på samme måte som K^+ annihilerer via et W^+ til $\mu^+\nu_\mu$ (se Fig. 5). Dette er sterkt i strid med virkeligheten da 63 % av K^+ desintegrasjoner går til $\mu^+\nu_\mu$ mens bare ca. 10^{-9} av K^0 desintegrasjoner går til $\mu^+\mu^-$. For å forklare eksperimentelle fakta lanserte så Glashow, Illopoulos og Maiani [5]) hypotesen om en 4 kvark c for å få to fulle dubletter (u, d') og (c, s') (d' og s' er ortogonale lineærkombinasjoner av d og s). De to dublettene inngår i svakt-isospinnstrukturen på en slik måte at dsZ-koplinga forsvinner. Dermed kunne WS-modellen forklare virkeligheten ved eksistensen av c, som ble påvist eksperimentelt 4 år seinere.

IV. Perspektiver framover.

Ifølge WS-teorien er W^+ og Z så tunge at en med dagens akseleratorer ikke har hatt energi nok til rådighet for å produsere dem som frie partikler.

Nobelpristildelinga kan bli oppfatta som dristig fordi W^+ og Z ikke er påvist eksperimentelt. Mange er også skeptiske til måten massene til W^+, Z inngår i WS-teorien på; de innføres ved den såkalte Higgs-mekanismen. Denne forutsetter at det fins et nøytralt spinn 0 boson (Higgs-bosonet) som heller ikke er påvist eksperimentelt. Likevel har WS-modellen klart å beskrive eksperimentelle data i svak og elektromagnetisk vekselvirkning med stor nøyaktighet. Dette gjelder f.eks. νN-spredning [11]), paritetsbrudd i ep-spredning (hvor Z kan erstatte γ, se Fig. 6) og νe^--spredning. En har også funnet samsvar mellom WS-modellen og observert paritetsbrudd i Thallium-atomer. Dessuten har WS-modellen akseptable egenskaper ved ekstremt store energier i motsetning til Fermi-modellen. Dette har sammenheng med at WS-modellen er en gaugeteori slik at det er visse relasjoner mellom koplingskonstantene i teorien. Videre er gauge-teorier renormaliserbare. Dette innebærer bl.a. at høyere ordens diagrammer hvor fermioner etter bosoner går i sløyfer (se f.eks. Fig. 1b og 7c) kan gis et veldefinert fysisk innhold. Både ut fra eksperimenter og teoretiske argumenter er det derfor grunn til å vente at de vesentlige delene av WS-modellen vil bli stående i sin nåværende form. En bør også nevne at nye lepton- og kvark-dubletter som påvises eksperimentelt uten vanskelighet kan føyes inn i teorien.

Nobelpristildelinga i fysikk for 1979 er en oppmuntring for alle som arbeider med gauge-teori for elementærpartikkelfysikk og håper at disse teoriene kan forklare Universets oppbygning på mikroplan. En håper at WS-modellen er første steg i retning av forening av alle de 4 kjente typene vekselvirkning i naturen. Svært mye tyder nå på at sterk vekselvirkning også kan forklares ved en gauge-teori, kvantekromodynamikk (QCD). Denne går ut på at kvarkene er bærere av et nytt kvantetall som kalles «farge». Hver av kvarkene u, d, s, c, b, - - - er en fargetriplett (u = (u_1, u_2 u_3) etc.), mens teorien inneholder en oktett av gaugebosoner som kalles gluoner (engelsk: glue = lim) fordi en antar at de holder kvarkene i et hadron sammen. En antar også at de i likhet med kvarkene ikke kan slippe ut av hadronet. (Gaugegruppe i QCD er SU(3)). Sammen med H Georgi foreslo Glashow i 1974 en gauge-modell [12]) som forener svak, elektromagnetisk og sterk vekselvirkning (gaugegruppe SU(5)). Denne modellen inneholder WS-modellen og QCD samtidig som den gir resultater utover disse teoriene. f.eks. at

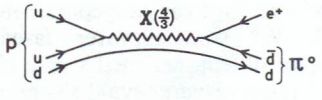


Fig. 8: Feynmandiagram for $P \to \pi^0 e^+$ i Glashows «Grand unification»-modell. Vektorbosonet X(4/3) har ladning 4/3 lel, er bærer av farge og har en masse tilsv. $m_X c^2 \sim 10^{15}$GeV.

forts. side 72

Relativitetsteori og magnetisme - en enkel sammenheng

Einar Jahr

Elementær undervisning i relativitetsteori har lett for å bli svært abstrakt. Det blir ofte hevdet at relativistiske effekter ikke er merkbare i dagligdagse forhold, og i tråd med dette blir eksemplene hentet fra elementærpartikkel- eller kjernefysikk, eller fra kosmologi. Det er imidlertid mulig å finne en relativistisk effekt som kan demonstreres i et vanlig skolelaboratorium, nemlig magnetisme. At magnetisme kan oppfattes som en relativistisk modifikasjon av det elektriske felt, er velkjent. Men det er sjelden en ser dette behandlet på en enkel og intuitiv måte. De bøkene som tar opp dette, benytter som regel Lorentz-transformasjonen for elektromagnetiske felt, utledet rent matematisk. Dette gir ingen umiddelbar *forståelse* for sammenhengen mellom magnetisme, elektrisk felt og relativitetsprinsippet.

Jeg vil i det følgende vise hvordan magnetfeltet rundt en lang, rett strømførende ledning lar seg forklare ut fra elektrostatikk og lyshastighetens konstans, uten bruk av matematikk i det hele tatt. *Styrken* av magnetkraften kommer selvsagt ikke fram på denne måten, men *retningen* blir bestemt. Nytten av dette i undervisning skulle være klar!

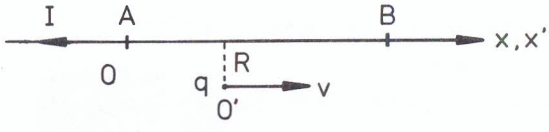
Dette intuitive argumentet vil jeg så gjennomføre kvantitativt, i det jeg bare setter inn Coulombs lov og bruker Lorentz-transformasjon. Det som da kommer fram, er (naturligvis) Biot-Savarts lov for magnetfeltet rundt en lang, rett leder. Heller ikke her blir det særlig vanskelig matematikk.

Vi betrakter en rett ledning som fører en elektrisk strøm. Som modell for en slik ledning tenker vi oss den vanlige: Elektroner beveger seg på en bakgrunn av positive ladninger som er i ro i forhold til ledningen. I laboratoriesystemet S tenker vi oss at et samtidighetsbilde av ledningen vil vise ett elektron «ved siden av» hver positiv ladning, dvs. at ledningen er elektrisk nøytral i S. (Vi ser bort fra feltet som holder strømmen i gang.) Systemet S' beveger seg i samme retning som elektronene i ledningen.

Vi vil undersøke om ledningen er elektrisk nøytral i S'. Det gjør vi ved å kutte ledningen i to punkter A og B *samtidig*, og så telle opp positiv og negativ ladning i det avkuttede ledningsstykket. Hvordan vil så dette se ut i S?

Ut fra lyshastighetens konstans er det ikke vanskelig å vise følgende: Når to hendelser er samtidige i et referansesystem, vil en observatør som beveger seg i forhold til dette observere at «den bakerste hendelsen inntreffer først». (Det enkleste resonnementet er dette: Ei vogn V kjører forbi en person P som står på bakken. Ei lyspære tennes midt i vogna. Med V som referanse treffer lyset fra pæra frontruta og bakruta *samtidig*. Men personen P vil observere at lyset fra pæra treffer bakruta først, siden lyset forplanter seg med samme fart i alle retninger, og lyset fra pæra møter bakruta, men må innhente frontruta.)

Tilbake til vår strømførende ledning, som ble kuttet i to punkter A og B *samtidig* i referansesystemet S'.



O' er en observatør som følger systemet S' og har med seg en prøveladning q, som er i ro i S'.

La hendelse H_A være at ledningen kuttes i A, og H_B at den kuttes i B. Observatøren O, som er i ro i S, vil nå si at «det bakerste inntraff først», dvs. at ledningen ble kuttet ved A før den ble kuttet ved B. I tidsrommet mellom disse to hendelsene rakk noen elektroner å slippe ut ved B, hvilket vil si at O' vil observere at ledningen er positivt ladd. Har O' med seg et elektron, vil dette tiltrekkes, mens et proton vil frastøtes. Disse kraftvirkningene vil naturligvis også O observere, og kraften kalles magnetkraft.

Vi kan nå ut fra dette *forutsi* at parallelle strømførende ledninger vil tiltrekke hverandre dersom strømretningene er ens, mens de vil frastøte hverandre om strømretningene er motsatte. Når en *deretter* viser dette eksperimentelt, er suksessen nærmest garantert! Dette eksperimentet framstår nå som demonstrasjon av en relativistisk effekt i laboratoriet. Siden elektronenes gjennomsnittshastighet er svært liten (langs ledningen), viser dette også at relativistiske betraktninger ikke bare er aktuelt ved hastigheter nær lysets, slik det ofte påstås!

Kan vi så si noe om *størrelsen* av denne magnetkraften? La oss prøve:

Systemene S og S' har sine x-akser langs ledningen og sine klokker stilt slik at H_A har (abscisse, tid) - koordinater (0,0) i begge systemer. Om avstanden AB er l_0 i S, vil denne avstanden være

$$l' = l_0(1-v^2/c^2)^{1/2} \text{ i S'.}$$

H_B har nå koordinatene (l_0, t) i S og $(l', 0)$ i S'. Lorentz-transformasjonen sier at

$t' = (t - vl_0/c^2)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$,

og $t' = 0$ gir da

$t = vl_0/c^2$.

Det vil si at i S inntreffer H_A før H_B, og tidsavstanden er $t = vl_0/c^2$. I løpet av denne tida passerer en ladning

$$Q = -It = -Ivl_0/c^2$$

gjennom ledningstverrsnittet ved B.
I S' har derfor ledningen en lineær ladningstetthet på

$$\lambda' = -Q/l' = Iv/c^2(1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

Er ledningen lang og rett, vil nå q i S' påvirkes av kraften

$$\vec{F}' = 2\vec{u}_r \int (q\lambda' dx')/4\pi\varepsilon_0 (x'^2 + R^2) =$$
$$(q\lambda' R\vec{u}_R)/(2\pi\varepsilon_0) \quad x' / R^2(x'^2 + R^2)^{1/2} =$$
$$(q\lambda' / 2\pi\varepsilon_0 R) \cdot \vec{u}_r =$$
$$[(qIv)/(2\pi\varepsilon_0 Rc^2(1 - v^2/c^2)^{1/2}] \cdot \vec{u}_r,$$

der $\vec{u}_r$ er enhetsvektoren normalt på ledningen, pekende fra denne og mot q. Siden $c^2 = (\mu_0\varepsilon_0)^{-1}$, er

$$\vec{F}' = [(qv\mu_0 I)/2\pi R(1 - v^2/c^2)^{1/2}] \cdot \vec{u}_r.$$

Lorentz-transformasjonen for kraft gir da at q i S påvirkes av kraften

$$\vec{F} = \vec{F}'(1 - v^2/c^2)^{1/2} = [(qv)(\mu_0 I/2\pi R)] \cdot \vec{u}_r,$$

som er Biot-Savarts lov.

Til slutt en liten tilbakevending til en intuitiv betraktning:

Magnetkraften på en ladd partikkel er proporsjonal med partikkelens hastighet. Partikkelen *selv* må «oppleve» denne kraften som rent elektrostatisk, siden hastigheten er null i partikkelens hvilesystem. Altså er det elektriske og det magnetiske felt ikke absolutte størrelser, men de avhenger av referansesystemet. Dette kan tjene som ytterligere motivasjon for relativistisk tankegang.

Medlemmer opptatt på styremøtet 22/6 1980.

Salgsing. K.A. Fredriksen, Solberg & Andersen A/S, Oslo 6.

Førsteamanuensis W.J. Weber, Nordlysobservatoriet, Tromsø.

Studentmedlemmer

T. Eltoft, Nordlysobservatoriet, Tromsø.
H. Johnsen, Nordlysobservatoriet, Tromsø.
U.P. Løvhaug, Nordlysobservatoriet, Tromsø.
Ø. Pettersen, Nordlysobservatoriet, Tromsø.

forts. fra side 70

$\sin^2\theta_\omega \simeq 0.20$ og at protonet i prinsippet er ustabilt og har et levetid av størrelsesorden 10^{30} år. ($p \longrightarrow \pi^0 e^+$ er f.eks. mulig i denne teorien, se Fig. 8) Men det er for tidlig å si om denne «Grand-Unification»-modellen vil bli stående. Det har også vært lansert idéer om hvordan alle kjente typer vekselvirkning - sterk, elektromagnetisk, svak, gravitasjon - kan forenes: såkalt «supergravitasjonsteori». Men slike teorier har ennå ikke klart å reprodusere den fysiske virkeligheten. Forskningsarbeidet på gaugeteorier vil fortsette. Samtidig vil eksperimenter som kan teste hvor langt holdbarheten deres går, bli utført. F.eks. forberedes nå eksperimenter der $W^\pm$ og Z kan produseres som frie partikler - dersom de har masser tilsvarende 70-100 GeV.

Rettinger til del I:

1) Side 27, sp. 1, avsnitt I, 3. linje:
   $s = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \ldots$.
2) Side 27, sp. 2, 21. linje: Δ^{++} (uuu), Δ^+ (uud),...
3) Side 28, sp. 1, 23. linje: $\nu_e e^- \longrightarrow \nu_e e^-$
4) Side 28, sp. 1, 25. linje: svak **og** elektromagnetisk
5) Side 29, sp. 1, avsn. II:
   $F_{\sigma\lambda} = \partial A_\lambda/\partial x_\sigma - \partial A_\sigma/\partial \chi_\lambda$
6) Side 29, sp. 2, 6. linje: ..P_{ab}, **så** er ...
7) Side 29, sp. 2, 4-5 l. nedenfra:
   $\nu_\mu p \longrightarrow \mu^+ X$ (X = samling hadroner)

Bøker

Ola Bratteli og Derek W. Robinson: Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics.
Texts and Monographs in Physics. Springer-Verlag, New-York-Heidelberg-Berlin 1979.
DM 68.-.

Siden midten av 1960-årene har den matematiske disiplinen operator - algebraer opplevd et sterkt oppsving. En av hovedgrunnene til dette har vært at matematiske fysikere har sett hvor godt teorien passer til å beskrive fenomener og modeller i kvantefelt-teori og statistisk mekanikk. Ola Bratteli og Derek W. Robinson har i flere år samarbidet på sentrale områder innen dette grenselandet mellom fysikk og matematikk, og de har nå skrevet hva jeg tror vil bli standardreferansen på dette feltet i lang tid fremover.

Boken kommer i to bind. I det første utvikler de teorien for C*- og von Neumann algebraer med siktepunkt å nå det nivå som er nødvendig for å vise de siste års resultater i den delen av teorien som har nær tilknytning til kvante-statistisk-mekanikk. I det andre bindet konsentrerer de seg om anvendelsene. Boken er ment for spesialister og seriøse studenter, og er for dem et meget viktig bidrag til litteraturen, men den har også interesse for ikke-spesialister ved at den gir et godt eksempel på samspillet mellom moderne matematikk og teoretisk fysikk. Boken har også et meget leselig forord av mer generell karakter om bakgrunnen for bruken av operator-algebraer i fysikk.

Erling Størmer

NORD

gir kraft til det distribuerte datasystemet

Norsk Data A.S
Jerikoveien 20,
Postboks 4 Lindeberg Gård
Oslo 10
Tlf.: (02) 30 90 30

**NORD datamaskiner —
grunnstenen for effektiv databehandling**

ukjent FFI

Retur

KJELLER 21.10.80 2007

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

Redaktør:
Forsker Olav Steinsvoll
Institutt for energiteknikk,
Boks 40, 2007 Kjeller

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.
Lektor K. Jostein Knutsen, Luftkrigsskolen, 7000 Trondheim.
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.

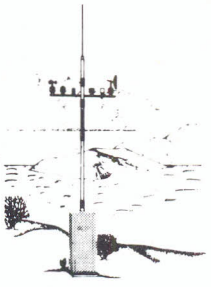
Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk Institutt, Universitetet i Trondheim
Norges lærerhøgskole
7055 Dragvoll

Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 8601.36.12279

Data Collection.....

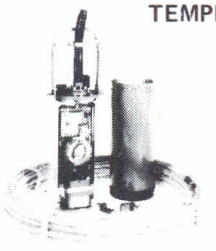
AANDERAA INSTRUMENTS has been developing and manufacturing oceanographical and meteorological data recording instruments since 1966.

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



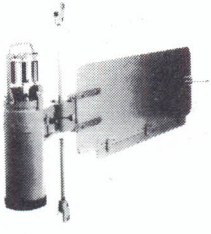
WEATHER STATION

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



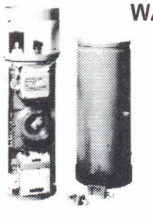
TEMPERATURE PROFILER

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) 23 40 30
TELEX 40049

N.T.H.-Trykk
Trondheim