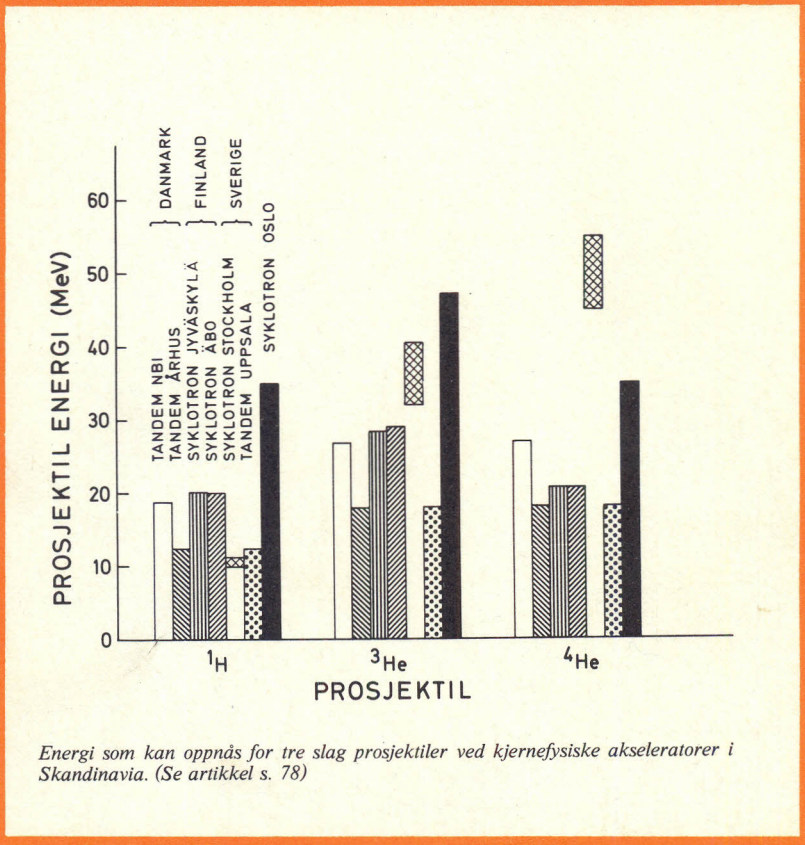
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Frå redaktøren	73
EPS's rådgivende komite for fysikkundervisning	73
Norges framtidige engasjement i CERN	75
Kjernefysiske perspektiver ved syklotronen i Oslo. Del 1	78
Nye vegar i fusjonsforskinga - tunge ionar	83
Direkte innfanging av ladde partikler...	85
Metalliske glass - egenskaper. Del 2	89
NRRL's 50 års jubileum	92
Baryonium, to nuleoner, eller...	93
Geilo 1978: «Atomic Inner Shell Phenomena»	95
Nye medlemmer	96
Hjelp til russisk forsker	96
Bøker	74



Energi som kan oppnås for tre slag prosjektiler ved kjernefysiske akseleratorer i Skandinavia. (Se artikkel s. 78)

Nr. 4 - 1978
40. årgang
ISSN-0015-9247

Et datasystem bygget for en ukjent fremtid

Vi vet at et datasystem som anskaffes i dag sannsynligvis vil bli anvendt til andre oppgaver i morgen. Men det er vanskelig å vite nøyaktig hvordan. Derfor har vi bygget NORD-systemet slik at det alltid kan vokse med oppgavene. NORD-systemet har den store fordel at alle slags oppgaver kan kjøres under ett eneste operativsystem. Nye programmer kan utvikles *samtidig* som anlegget utfører de vanlige rutiner. *Ett* operativsystem gir også sikkerhet for at nyutviklet hardware senere kan kobles til uten problemer.
Kapasiteten på et NORD-system kan bygges ut etter behov. Dessuten kan systemet kjøre mot flere stormaskiner på en gang, samtidig som det tar hånd om lokale oppgaver.
La ikke det systemet du anskaffer i dag redusere din handlefrihet i morgen. Med NORD-systemet er alle muligheter åpne.

Vennligst send oss nærmere informasjon om NORD datamaskinsystemer. Vi har behov for:

☐ Systemer for teknisk databehandling.
☐ Systemer for administrativ databehandling.

Navn: .....
Tittel: .....
Firma: .....
Adresse: .....
Telefon: .....

NORD- det fremtidssikre systemet

Norsk Data A.S

Lindebergvn. nord 20. Postboks 4,
Lindeberg gård, Oslo 10. Telex: 18661 nd n
Tlf. (02) 39 16 01/39 17 01.

RRA) AB Bates 1

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 4 - 1978

Redaktør: OLAV STEINSVOLL
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

40. årgang
ISSN-0015-9247

FRÅ REDAKTØREN

Ein kjend norsk fysikar har nyleg uttala til Miljømagasinet at det går eit skilje gjennom fysikarmiljøet i Noreg. På den eine sida har vi dei fysikarane «som er avhengige av atomindustrien som levebrød», og på den andre sida dei samvitsfulle og ubestikkelige som sit i akademiske posisjonar og som difor kan sjå og uttala seg om farene ved kjernekraft utan å vera redde for fylgjene for arbeid og framtid. På denne måten vert den fyrste gruppa indirekte skulda for ikkje å vera vitskapleg ærleg i sitt arbeid og i sine utgreiingar, «- de er villige til å forsvare hva som helst av radioaktiv forsøpling og ulykkesrisiko -», underforstått: berre dei kan halda på jobbane sine. Som ein skjønar er det uhyrlege påstandar som vert sette fram om ei gruppe norske fysikarar. Det norske fysikarmiljøet er likevel så lite at ingen vil vera tent med å ta slike påstandar i bruk i kampen mot kjernekraft i Noreg.

Granli-utvalet har nyleg kome med ei utgreiing om kjernekraft i Noreg. I tillegg til sjølve rapporten har ein eit fyldig vedlegg med faglege artiklar om ulike forhold som gjeld kjernekraft, skrivne av norske fysikarar. Vanleg vitskapleg praksis ville vel vera å gå mot desse utgreiingane med faglege argument i eit passende fagblad. I neste nummer av FFV kjem eit kort samandrag av Granli-utvalet si innstilling, og FFV vil stå ope for fagleg kritikk av rapporten.

I nær framtid vil den nye syklotronen koma i gang ved Universitetet i Oslo. Sidan van de Graaff akseleratorane kom i bruk ved norske universitet og høgskular i femtiåra har norsk kjernefysikk ikkje fått moderne større installasjonar til eksperimentføremål. Rekstad og Osnes fortel om planane for bruken av syklonen. I den andre artiklen om metalliske glas vert eigenskapane og bruken av dei omtala. Dei er harde og har stor styrke og seighet og fins td på eggen til sume sortar barberblad! Elles fins referat frå Cern-diskusjonen i sumar, artikkel om elementærpartiklar og omtale av ein par jubileumsutstillingar.

Redaksjonen ønskjer alle lesarar ei god julehelg.

Fysikermøtet 6.-8. juni 1979 i Bergen

En foreløpig ramme for plenumsforedragene ved Fysikermøtet 1979 er nå klar. Den første dagen er tenkt viet til emner fra grenselandet mellom de tradisjonelt oppdelte grener av fysikken. Andre dagen vil ha som tema: fusjon og kontinuerlige energikilder, og tredje dagen vil omfatte emner som karakteriserer utviklingstendenser i fysikken. Det vil bli invitert til korte foredrag i parallellsesjoner som vanlig. Utdrag fra de korte foredragene vil bli utgitt som «Rapport fra Universitetet i Bergen», mens titlene ventes referert i Physica Scripta.

Festmiddagen vil finne sted i de tradisjonsrike Schøtstuene, og forut for middagen vil det bli samling og omvisning i Bryggen Museum.

Det er reservert plass på Fantoft Sommerhotell for deltagerne.

Siste dag av Festspillene i Bergen faller sammen med første dag av Fysikermøtet. Det skulle gi god anledning til å kombinere Fysikermøtet med noen av de mange kulturbegivenhetene Festspillene står for.

Arrangementskomiteen

MØTE I YORK 24. september 1978 I EPS's RÅDGIVENDE KOMITE FOR FYSIKKUNDERVISNING

Seminar i York 25.-29. september om Piaget og fysikk

I forbindelse med the 4.th General Conference of the European Physical Society (EPS) 25.-29. september 1978 ble det 24. september holdt et møte i Advisory Committee on Physics Education. Fremmøte var litt mindre enn normalt, spesielt fra Øst-Europa. Det ble bestemt at det neste møte skulle avholdes i Praha (for at det skulle være lettere for østeuropeerne å møte) eller Geneve 2. og 3. mars 1979.

Professor Born, Vest-Tyskland som skulle sørge for den endelige utformingen av rapporten om fysikkundervisningen i de videregående skolene i Europa, var forhindret fra å møte. Av den grunn vil ikke rapporten bli publisert før etter neste møte. Det

ble også bestemt å utsette den nærmere drøfting av Borns prosjekt om «Fysikklæreren i de europeiske land». (Det prosjektet er omtalt i mitt referat fra Helsinki-møtet i mars). Det samme gjaldt et spørreskjema som dr. Kramers (fra Nederland) skulle utarbeide vedrørende fysikkundervisningen på universitetsnivå.

En del tid gikk med til å drøfte et brev fra dr. W. Gorzkowski om fysikkolympiader. Disse olympiadene er mest populære i øst-europeiske land, men de har også samlet deltakere fra Vest-Europa, f.eks. Sverige. Det var svært delte meninger om slike konkurranser tjente interessen for fysikk, og noen var også betenkt over de psykiske virkningene. (Boken International Physics Competitions 1967-1977 kan fåes i bytte med annet fysikkundervisningsmateriale ved henvendelse til

Professor George Marx,
Department of Atomic Physics,
Eotvos University, Pushkin u. 5,
H-1088 BUDAPEST)

Det ble nedsatt en komite for å se på mulighetene for å få istand en utveksling av forelesere over lengre tid landene i mellom, og ikke som nå bare av forskere.

Det ble ikke tid til å se nærmere på de eksamensoppgavene som var samlet inn fra videregående skoler, og hvordan man skulle fortsette dette arbeidet.

Mesteparten av tiden gikk med til å drøfte opplegget for det nye tidsskriftet, European Journal of Physics, som skal være det europeiske motstykket til American Journal of Physics. Det skal tas spesielle hensyn til europeiske forhold.

Flere språk (ikke skandinavisk) vil kunne benyttes, men det vil alltid være et resyme på et annet språk slik at flest mulige skal kunne dra nytte av artiklene. Tidskriftet skal ha en meget bredt sammensatt redaksjonskomite (ca. 20 medlemmer). Men for at tidsskriftet skal komme i gang våren 1980, foreslås det å starte opp med ca. 8 i redaksjonskomiteen.

Den rådgivende komiteen for fysikkundervisning består høsten 1978 av 25 medlemmer med professor A. Janner, Institute for Theoretical Physics, University of Nijmegen, Toernooiveld, NL-6525 ED Nijmegen som formann. Men fortsatt mangler Sovjet, Belgia, Danmark og Spania faste representanter.

I anledning av at vår komite hadde sørget for at det ble holdt et seminar om Fysikk og Piaget på konferansen i EPS, var tidsskriftet Europhysics Education News (som komiteen utgir med prof. Janner som redaktør) viet Piaget og de ideene han står for. Tidsskriftet (nr. 6 sept. 1978) kan fås ved henvendelse til Janner.

Seminaret ble ledet av professor R. G. Fuller, University of Nebraska - Lincoln, USA. Han innledet seminaret med et foredrag om Piagets ideers betydning for fysikkundervisningen. Man fikk så disse ideene videre utdypet i en 8-timers «workshop» hvor man via film, videobånd, eksperimenter og oppgaver fikk et innblikk i å vurdere erfaringer som kan gi studentene hjelp til å tenke og resonnere. Interessen for seminaret var stor. Deltakerantallet varierte mellom 35 og 70, som må sies å være bra når man måtte konkurrere med foredrag om rustningskappløpet og fysikkundervisning i u-land. Deltakerne var stort sett enige om at Piagets ideer brukt med fornuft, gir verdifulle bidrag til fysikkundervisningen. Men dersom Piaget oppfattes som profet, kan man komme meget skjevt ut. Disse meningene ble også delt av Fuller og hans medhjelpere fra University of Chelsea.

Knut Jostein Knutsen

Bøker

H. Haken: Synergetics - An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology. 335 s. DM 72,- (Springer, Berlin, Heidelberg og New York, 1977)

For dei fleste av oss fysikarar er det uråd å følgje med i faglitteraturen så snart vi går utanfor vårt eige spesialområde. Det vanlege inntrykket er vel at fysikken ekspanderer ved at nye spesialitetar utvikler seg med sin eigen terminologi og sine eigne fenomen som synest ha liten samanheng med dei andre spesialitetane. Synergetikk er ein tverrfagleg disiplin som avdekker felles eigenskapar, fenomen og lover hos tilsynlatande divergerande fagområde. Synergetikken femner over visse fenomen i fysikk, astrofysikk, biologi, elektroteknikk, hydrodynamikk, kjemi, sosiologi, økologi osv. Desse analoglane kjem tydeleg fram når ein studerer strukturen og dei strukturelle forandringane til slike system. Difor får teorien for faseovergangar ein sentral plass i diskusjonen av dei felles eigenskapane.

Det er grunnleggaren av synergetikk, professor H. Haken i Stuttgart, som har skrive boka «Synergetics». Boka er skriven for studentar, men er nyttig også for ferdige kandidatar og røynde forskarar. Dei første kapitla gjev det nødvendige matematiske apparat for faget, og inneheld både sannsynlighetsrekning og informasjonsteori. Etter å ha diskutert dynamiske prosessar, Fokker-Planck-likninga og Landau-teorien for faseovergangar,går forfattaren over til ein meir abstrakt diskusjon om sjølvorganisering av orden. Denne formalismen er så nytta på fleire system og fenomen, slik som laseren, hydrodynamiske ustabilitetar, kjemiske reaksjonar, modellar for evolusjon og økologi i biologi,modellar for vekselverkande sosiale grupper, osv. Framstillinga er klar og ikkje overlesst med infløkt matematikk.

Boka tek ikkje berre sikte på fysikk-studentar og fysikarar, men vil vel likevel bli mest lesen av dei. For studentar og andre som arbeider med faseovergangar og ustabilitetar er denne boka eit funn. Det er å ønskje at ho òg vil nå vidare, for bøker som denne har ein stor misjon i våre dagars tendens mot stadig sterkare spesialisering.

Tormod Riste

Paneldebatt om Norges framtidige engasjement i CERN

I panelet satt byråsjef A. Kjelberg, KUD, professor P. C. Hemmer, NAVF, professor F. Ravndal, direktør H. Skabo, Norges Eksportråd, professor O. Skjeggestad og dosent T. Henriksen. Det var anledning til kommentarer under panelets innledning.

Professor Tore Olsen ledet paneldebatten og innledet med en kort omtale av forskning og utvikling i Norge, hvor mye penger som blir bevilget over forskjellige budsjetter og hvor mye av dette som går til fysisk forskning. Hvis hver norsk fysiker koster kr. 400 000,- pr. år, bruker de ca. 200 norske fysikere innen forskning og høyere undervisning 80 Mkr./ år. Våre CERN-bevilgninger er på 24 Mkr. i 1978, og Norge har ca. 30 fysikere og 10 kjemikere som utfører arbeid i sammenheng med CERN, enten i Geneve eller ved laboratorier i Norge.

Han pekte også på visse modeller av interesse i forskningspolitiske diskusjoner. Bl.a. har V. Weisskopf satt opp en modell for å ordne erfaringene fra det naturvitenskapelige området. Forskning ordnes i intensive og ekstensive fagområder langs to akser, og forskningsfronten går utover og omfatter passende blanding av de ulike områder. Med en slik modell for øyet kan vi spørre oss selv om sammensetningen av forskningsinnsatsen er harmonisk.

A. Weinberg har kommet med en annen modell der interne og eksterne kriterier for faget trekkes inn for å avgjøre om et felt er verdt å satse på. De interne kriterier er av typen: er feltet modent nok for satsing og har vi dyktige nok folk på området. De eksterne kriterier er flere, slik som tilstrekkelig teknologi, sosiale kriterier (nasjonal eller europeisk prestisje) og vitenskapelig utbytte for andre forskningsgrener. En må se over faggrensene - slik at hvis andre vitenskaper trenger fysikk til hjelp for å komme videre, legger dette en forpliktelse på fysikerne.

Tilslutt stilte han spørsmålet om vi kan lære noe av beslutningsprosessene som har ført oss dit vi nå står? CERN har ligget i grenselandet mellom utenrikspolitikk og forskningspolitikk, og beslutninger er blitt fattet på en annen måte enn vanlig.

Kjelberg betonte at KUD ikke har satt igang den nåværende diskusjonen om CERN, verken i Fysikkrådet eller NFS, men det er prisverdig at forskningspolitikken holdes under konstant overvåking. Finansieringen av akseleratoren SPS var av en slik størrelsesorden at de deltakende land måtte binde seg til CERN-bidrag av en bestemt størrelse over et visst antall år (= 8). Før var det UD som var det ansvarlige departement for medlemskapet i CERN, nå er det KUD. Dette departement har nå også særlig ansvar for å se norsk forskning i internasjonal sammenheng og arbeide aktivt for å få til internasjonalt forskningssamarbeid.

Hemmer sa at heller ikke NAVF ville melde Norge ut av CERN selv om bindingstida nå er utløpet. Med jamne mellomrom må likevel ting revurderes og ses på i lys av andre større prosjekter som presser på. Han nevnte Heidelberglaboratoriet for molekylær-biologi og bygging av synkrotronstrålingslabb i Europa. Her må NAVF diskutere om Norge skal delta og finne fram til prioritering av midlene til ulik forskning. Han var forbauset over at ikke KUD hadde tatt initiativet til en vurdering av CERN-medlemskapet.

Ravndal fortalte at kretsen rundt Bohrinstituttet i København var mest interessert i kjernefysikk, men de var likevel de fremste talsmenn for at Danmark skulle delta i CERN. Nå er jo SPS bygd og finansiert og gir fine eksperimentalmuligheter, - hvorfor skulle vi nå trekke oss ut av CERN? Så dumme kan da ikke nordmenn være?

Dosent H. Høgåsen mente også at tidspunktet var galt for en eventuell norsk tilbaketrekking fra CERN. Nå er elementærpartikkelfysikken i rivende utvikling (jfr. van Hoves forelesning!). Flere og flere studenter ved universitetene har fått sin videreutdanning i fysikk ved CERN og tildels fått ansettelse der. Da Norsk Data kom med sitt anbud til CERN om datamaskiner, hadde firmaet mange norske kontakter å rådføre seg med i CERN-miljøet.

Skabo betonte fordelene ved norsk deltaking i CERN. Norsk industri trenger utenlandske kontakter og må bli mer utadvendt. Det har lenge vært lett for industrien på eksportmarkedene, men de siste to åra har vanskene økt. Eksportrådet har folk som arbeider i FN og andre internasjonale institusjoner, men det er stor mangel på kjennskap til CERN. Kontakter og salgsdokumenter på fransk har skremt mang en industrimann fra å prøve å få innpass i CERN. Eksportrådet har likevel arrangert presentasjon i CERN av 10-20 norske firmaer, og en konsulent har nylig oppholdt seg ved CERN i 10 dager. 5 innkjøpere fra CERN har også besøkt Norge, men det var bare så vidt de ble sluppet inn og mottatt av de norske bedrifter de var interessert i! Et kommersielt samarbeid med CERN vil virke utviklende på norsk industri. Norsk Data er eksempel fra dataindustrien, men det står også elektroniske og elektriske firmaer klar til å prøve å få ordrer på utstyr.

Ordforklaring:

SPS = «Super Proton Synkroton», protonakseleratoren i CERN, Geneve.

DESY = den tyske elektronakselerator i Hamburg.

Dosent E. Osnes var optimistisk og overbevist om at videredeltaking i CERN ville bil et overskuddsforetak. Men problemet er hvordan informasjon fra CERN kan føres tilbake til norsk fysikk. Her må en satse på følgeforskningsbevilgninger.

Lab.ing. H. Torgersen mente at Norges økonomiske situasjon var annerledes nå enn i slutten av 60-åra da CERN-kontrakten ble skrevet. Men det var jo ikke sikkert at de 26 millioner til CERN ville gå til fysisk forskning dersom CERN-samarbeidet ble brutt.

Skjeggestad mente at vår tid kan sammenlignes med den perioden da Rutherford oppdaget atomkjernen. Eksperimenter har vist harde komponenter i protoner og neutroner, kvarker. Den svake og den elektromagnetiske vekselvirkning er blitt kombinert til ett kraftfenomen. Norge har lite å briljere med innenfor fysisk forskning, men så opereres det da også med minimumsbudsjetter. Norge ligger faktisk lavest i Europa når det gjelder slik forskning. Det å få ta del i aktuell elementær partikkelfysikk har gitt stort utbytte for norsk fysikk. 10 hovedfagsfysikere pr. år er blitt utdannet innen feltet. Kjernekjemi har også hatt godt utbytte. Han så helt bort fra at vi skulle kutte forbindelsen med CERN fordi den mest interessante tida er faktisk *nå*!

Henriksen mente at van Hoves og Høgåsens propagandaforedrag hadde gjort god virkning. CERN dekker bare et lite spesialområde av norsk fysikk. Det fins andre områder der utbyttet av hovedfagsstudenter har vært langt høyere sett i forhold til de økonomiske utlegg. Hvilke praktiske anvendelser har CERN-resultatene? Prioriteringen av ressurser til ulike fagområder både menneskelige og økonomiske, var opplagt en oppgave for NFS å ta opp til diskusjon. For Fysisk Institutt på Blindern har innkjøp av nye instrumenter så som syklotron og elektron-mikroskop ført til magre kår for andre fagområder i fysikk. En nedslitt og gammeldags instrumentpark er hva de andre må klare seg med til sin forskning. Hvor lenge skal vi ha denne skjeve fordeling av midlene? Nå opererer maskinen i CERN på 300 GeV, men vil det være høy nok energi i framtida? Teoretikerne sier alltid at de interessante problemer melder seg ved en energi 10 ganger høyere enn den nåværende. Norge må revurdere sitt medlemskap i CERN, og trappe ned bevilgningene. Det som kan frigjøres må komme annen norsk fysikk tilgode.

Dir. R. Skår, Norsk Data, fortalte hvordan firmaet Norsk Data hadde utviklet seg fra 1970 til i dag. Kontrakten om leveransen av datamaskiner til CERN var vendepunktet. Etter dette ble firmaet kjent i verden og har nå nesten 400 medarbeidere og et årlig salg på 150 millioner kroner. Over 100 Nord-maskiner er blitt levert i denne tida. Men forbindelsen med CERN har betydd mye mer enn dette. Det har gitt firmaet anledning til å trekke til seg kunnskap på mange felter, både innen datateknologi og programmering. Utvekslingen av ideer har virket inn på firmaets framtidige utviklingsplaner slik at det håper å være konkurransedyktige på det vanskelige computermarkedet. En CERN-kontrakt er et slags internasjonalt sertifikat overfor europeisk industri, og nye markeder åpner seg. Geneve-kontoret har nå 25 ansatte for å ta seg av det europeiske markedet.

Professor A. Pappas mente at CERN-deltagelsen har sterke utenrikspolitiske aspekter. I CERN samarbeider 12 europeiske nasjoner på en eksemplarisk måte. Det fins høyenergiinstitutter i hvert deltakerland, men via CERN samarbeider de og utveksler ideer. Framdriften innen faget er derfor sterk.

Etter innledningen ble de åpen diskusjon. Det ble innrømmet fra CERN-folk at utgiftene pr. hovedfagstudent i CERN blir veldig høye sammenliknet med hva som er vanlig ellers i Norge. Ved NTH regner en kr. 2 000,-/student. Dette gjør at en ikke kan tenke særlig langt, og husmannsfølelsen sitter i norske fysikere når de har kontakt med andre lands forskere. Andre mente en måtte bare godta at det fins dyre og billige fysikere. Noen utjamning i omkostningene er det vanskelig å få til, det ville bli store huller i norsk fysikk dersom de dyre fysikere ble borte. Naturligvis måtte slik dyr fysikk ha en rimelig bredde sammenliknet med resten av fysikkspektret, men i helheten må slik fysikk inngå.

Økonomiske argumenter kan ikke drives for langt innen et felt som dette. En må heller sammenligne med andre kulturytringer som teater eller opera. Hvis vi er enige om å la kultur få noenlunde kår i Norge, må den betales. Det ble spurt van Hove om hvordan CERN vurderer seg selv og sine muligheter framover. Forventningene hos CERN-folk ligger visstnok ikke så mye i hva SPS kan gi av resultater men i hva den neste CERN-akselerator kan frambringe. Mye fin elementærpartikkelfysikk blir også gjort ved DESY. Det ble påpekt at CERN har eksistert i 25 år, men har enda ikke klart å frambringe en Nobelpris! Dessuten er den økonomiske situasjonen annerledes nå enn da CERN-kontrakten ble inngått både nasjonalt og internasjonalt. Pengene som nå går til CERN ville kanskje vært bedre anvendt som stimulus til industriell forskning i Norge.

Professor L. van Hove understreket at de vitenskapelige forventninger i CERN fullt og helt er sentrert om SPS-maskinen. En har her meget intrikate eksperimentaloppstillinger som er satt opp i tråd med de nyeste tankeretninger og ideer innen elementærpartikkelfysikken. Med neutrinostråler, μ-meson stråler og hadronstråler som utgangspunkt kan en gjennomføre de mest avanserte eksperimenter. En har også planlagt å nytte SPS i eksperimenter der en lar to motgående stråler skjære hverandre slik at kollisjonsenergien blir meget høy. En har også antiproton stråler. Planlegging av eksperimenter tar lang tid, og gjennomføringen av dem også. CERNs budsjett er stadig blitt redusert som

følge av det økonomiske tilbakeslaget i verden, men en håper at en nå kan holde det fast og kanskje få litt penger til overs for planlegging av den nye maskinen etter SPS. Men SPS blir arbeidshesten 10-15 år framover.

Det er klart at mange fysikere vil ha stor interesse av eksperimenter ved DESY-maskinen for spesielle formål. Men det er ingen konkurranse med SPS. Det er stor internasjonal interesse for hva som foregår ved SPS. Bare USA har 100 forskere av ulike slag ved CERN. De er kommet dit pga. sin interesse for CERN-arbeidet og ikke fordi de er sendt ifølge noen slags avtale.

Når det gjelder den manglende Nobelprisen er det klart at CERN-arbeidet på nøytrale strømmer og svak vekselvirkning sikkert er verdig en slik utmerkelse, men gruppen vil ikke få prisen likevel fordi hovedmannen og drivkraften plutselig døde. Vi har hørt folk fra Stockholm ytre seg på liknende måte. Men en er kommet ut av perioden med skarp konkurranse mellom akseleratorlaboratoriene. Det er samarbeid og deling av utstyr som nå er ledetråden. USA, USSR og Europa er nå gått sammen om å planlegge den nye «verdensmaskinen». Det fins en internasjonal komité under IUPAP for slik planlegging.

I andre innlegg ble det sagt at det ikke måtte oppfattes som utidig at det ble satt spørsmålstegn ved CERN-bidragene, og at fysikere burde være sjeleglade for at det ble ytt penger til fysisk forskning av rene utenrikspolitiske grunner. Det ble satt spørsmålstegn ved utviklingshastigheten innen denne fagdelen. Hvorfor skal alt som er mulig og tenkbart å gjennomføre gjøres så snart? Kunne en ikke dempe ned takten og heller la andre deler av fysikken få utvikle seg. Det måtte være alle slags prestisjehensyn som drev forskning fram på denne måten. Høyenergifysikerne mente en måtte merke seg Kjelbergs kommentar at pengene til CERN ikke er øremerket for fysikk, så hvis forbindelsen brytes, er det ingen garanti at pengene vil fordeles på andre fysikkretninger. Innen høyenergifysikk må en tross alt streve hardt for å få endene til å møtes. Løsningen må være at det i Norge må bevilges mye mer til naturvitenskap generelt, og dermed vil også fysikken få sin del øket.

Noen kom inn på Norges generelle kulturelle gjeld til resten av Europa. Vi har gjennom hundrer av år trukket store veksler på europeisk kultur, vitenskap og teknikk. Etter siste verdenskrig har tusenvis av norske studenter fått sin utdannelse ved europeiske læresteder uten at det er krevd motytelser. Etterhvert har vi fått bedre råd, levestandarden vår er en av de høyeste i Europa. Vi er nå økonomiske likemenn med de andre nasjoner, og tida burde være kommet for at vi tar våre økonomiske løft for den felles europeiske kultur.

I panelets sluttkommentar sa *Henriksen* at CERN-prosjektet kunne sammenlignes med NASA-prosjektet der det med store omkostninger ble plassert en mann på månen. Føler ikke CERN-forkjemperne et ansvar for de kummerlige forhold for resten av fysikken i Norge? *Ravndal* betonte at SPS er en god maskin og at en kan vente seg store resultater. Ved lepton-lepton kollisjoner kan en produsere eksotiske partikeler, men ved proton-antiproton kollisjoner vil en forvente enda større utvalg av eksotiske partikler som resultat. *Kjelberg* innrømmer at forskningsmidlene i Norge er små sammenlignet med det som er vanlig i andre land. KUD har vansker med å utrette det som det ønsker å gjøre. Hvis en skal endre prioriteringer innen faget må det komme sterke signaler fra en samlet fysikeropinion. *Skjeggestad* understreket at elementærpartikkelfysikken i Norge står og faller med CERN-medlemskap.

Vi kan ikke bare gå rundt og høste kunnskap som andre har utviklet; vi må også være med på prosessen som *leder fram* til kunnskapen. *Hemmer* var enig i at de totale bevilgninger til naturvitenskapen i Norge absolutt måtte økes. I rådet måtte de nå ta stilling til norsk deltaking i Heidelberglaboratoriet og det er også spørsmål om å være med på et laboratorium for synkrotronstråling. I slike tilfeller er det ikke nok å henvise til at det skjer spennende ting i faget genetikk eller faststoff fysikk; det samme gjelder elementærpartikkelfysikk.

Mange sprikende meninger kom til uttrykk i debatten, men den dannet sikkert et utmerket utgangspunkt for Fysikkrådets behandling av samme sak under Fysikermøtet.

O. Steinsvoll

(Fortsatt fra side 95)

ved våre universiteter og høyskoler er fremdeles populære møteplasser, og det fins klubbstasjoner ved de fleste større læresteder. I våre dager griper feltet elektronikk inn på alle livets områder og det er vel kanskje datateknikken som mest fanger ungdommens interesse. Det er likevel hundretusenvis av radioamatører over hele verden som fremdeles sverger til sin enkle morsenøkkel og som knytter vennskap over landegrenser uten hensyn til politikk, religion eller rase. Det er en hobby som passer for alle aldre, og hvis en vil ha trim kan en ta del i radiopeileorienteringsløp som kombinerer friluftsliv og radio på en ypperlig måte.

Vi ønsker NRRL til lykke med jubileet!

OSt

Fagpriser

Norsk Data's fagpris for kjernefysikk, partikkelfysikk og kjernekjemi skal deles ut på Fysikermøtet i Bergen 1979 sammen med Simrad's fagpris i elektrooptikk. Nærmere opplysninger om prisene fås ved henvendelse til norske institusjoner innen fysikk og NFS sekretariat. Forslag om kandidater bes sendt NFS sekretariat innen 15. mars.

Kjernefysiske perspektiver ved syklotronen i Oslo

John Rekstad og Eivind Osnes)*

Få grener av moderne naturvitenskap har engasjert allmennheten så sterkt som kjernefysikk. Dette skyldes kanskje først og fremst at forskning og utvikling innen dette fagområde har satt menneskeheten i stand til å beherske naturkrefter som er så enorme at den på et øyeblikk kan utslette seg selv. Kjernefysikk identifiseres derfor ofte med destruktive våpen og radioaktiv stråling. Men dette har ikke noe å gjøre med kjernefysisk grunnforskning, som er opptatt av å studere atomkjernenes oppbygning og egenskaper uten tanke på resultatenes praktiske nytteverdi. På dette område skjer det for tiden mye interessant, som også vil kunne studeres ved det nye akseleratorlaboratorium som er under bygging ved Universitetet i Oslo. Vi skal her diskutere noen av disse problemstillinger.

Hvorfor akselerator?

Kjernefysikerne betrakter atomkjernen som et lite laboratorium i seg selv, hvor viktige kvantefysiske fenomener og lover kan studeres. For å kunne gjøre slike studier, må en forstyrre atomkjernen ved å bombardere den med partikler som har tilstrekkelig høy energi. Kjernefysikerens viktigste verktøy er derfor *partikkel-akseleratoren,* som kan akselerere atomære partikler opp til enorme hastigheter. Det virker nærmest paradoksalt at jo mindre gjenstanden er som en vil studere, jo større må verktøyet være (se Tabell 1). Dette skyldes selvsagt at studiet av små objekter krever høy energi (svarende til liten bølgelengde i en bølgemekanisk beskrivelse), som bare kan produseres ved hjelp av komplisert og kostbart maskineri. Det kan i denne forbindelse bemerkes at de stadig økte krav moderne kjernefysikk har stilt til måleteknikk og databehandling, har påskyndet utviklingen av avansert elektronisk industri, som igjen har hatt betydning for andre grener av naturvitenskapen og for samfunnslivet generelt.

Kjernefysikk i Norge

De første partikkel-akseleratorer så dagens lys i begynnelsen av 1930-årene. Bare få år senere fikk Norge sin første akselerator. Det var en Van de Graaff akselerator for 0,5 MeV protoner, som ble bygd ved Norges Tekniske Høyskole av bl.a Odd Dahl, Roald Tangen, Harald Wergeland og Sverre Westin under ledelse av professor Johan Holtsmark og overflyttet til Universitetet i Oslo i 1942. I begynnelsen av 1950-årene bygde professor Tangen opp et kjernefysisk laboratorium av internasjonal standard ved Universitetet i Oslo. Her var virksomheten knyttet til en Van de Graaff akselerator som kunne gi protoner og deuteroner med en maksimal energi på 3 MeV. Dette instrument har vært brukt til kjernefysisk forskning helt fram til i dag og er den eneste akselerator som fremdeles er i drift her i landet, idet akseleratorene i Bergen og Trondheim forlengst er nedlagt. Dette er en imponerende - men dessverre altfor lang - levetid for en kjernefysisk ak-

Tabell 1. «Akseleratorer» som benyttes til å studere små gjenstander

	«AKSELERATOR»				
Gjenstandens størrelse (m)	Type	Prosjektil	Energi (eV)	Dimensjon (m)	Pris (kr)
10^{-6}	Mikroskop	Synlig lys	1	10^{-1}	10^{3}
10^{-8}	Elektron-mikroskop	Elektroner	10^{3}	1	10^{5}
10^{-14}	Kjernefysisk akselerator	Atomkjerner	10^{7}	10^{1}-10^{2}	10^{7}-10^{8}
10^{-15}	Høyenergi akselerator	Protoner	10^{10}	10^{3}	10^{9}

Tabell 2. Partikkelstråle og energi for syklotronen MC 35

Stråle (Prosjektil)	ENERGI (MeV)	
	Minimum	Maksimum
^{1}H (Proton)	2	36
^{2}H (Deuteron)	4	18
^{3}He	5,6	48
^{4}He (Alfa)	7,5	36

*) Fysisk Institutt Universitetet i Oslo

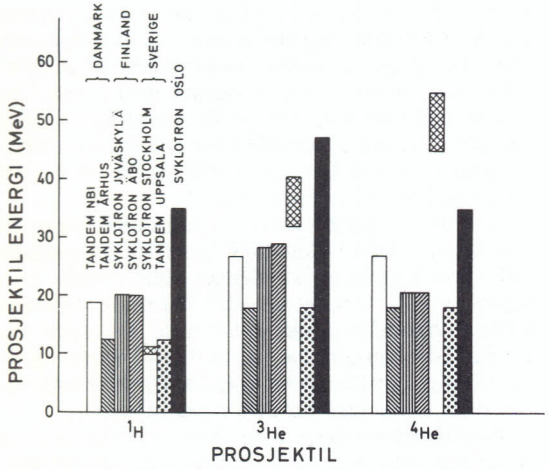


Fig. 1. Prosjektilenergier for ^{1}H (protoner), ^{3}He og ^{4}He(alfa-partikler) ved kjernefysiske akseleratorer i Skandinavia.

selerator. I løpet av disse 25 år har problemstillingene innen faget forandret seg så mye at akseleratoren er blitt uaktuell. Norske kjernefysikere har således i lang tid vært nødt til å utføre en del av sine eksperimenter ved større akseleratorer i utlandet. I det lange løp ville det imidlertid være vanskelig for oss å opprettholde en eksperimentell virksomhet i kjernefysikk uten en akselerator her hjemme. Det ble derfor for noen år siden besluttet å gå til anskaffelse av en ny kjernefysisk akselerator ved Universitetet i Oslo. Den gamle akselerator vil fremdeles kunne holdes i drift noen tid fremover, men vil bli brukt til andre formål, f.eks. materialstudier innenfor fysikalsk elektronikk.

Syklotronen i Oslo

Den nye akselerator er en syklotron som for tiden er under bygging av firmaet Scanditronix i Uppsala. Den vil bli installert i et nytt kjernefysisk laboratorium ved Fysisk Institutt i Oslo i løpet av høsten 1978 og vil ventelig være klar til de første eksperimenter en gang i første halvdel av 1979. Syklotronen vil kunne akselerere protoner, deuteroner, ^{3}He-kjerner og alfa-partikler til energier som kan varieres innenfor store intervall, som vist i Tabell 2. Protonstrålens maksimalenergi er godt og vel 35 MeV, herav følger navnet MC 35 (Minicyclotron 35 MeV).

Syklotronen vil tjene tre viktige funksjoner - undervisning, forskning og produksjon av radioaktive isotoper (radionuklider) til medisinsk bruk. Det ble tatt hensyn til alle disse oppgaver ved valget av akseleratortype. Av vesentlig betydning var det at maskinen kunne gi høy nok energi til å sikre rimelig utbytte og renhet av den viktige radionukliden ^{123}I som brukes til undersøkelse av skjoldbruskkjertelen. For forskningsoppgavene var det viktig at maskinen kunne bli et supplement til de allerede eksisterende akseleratorressurser i Skandinavia. Som vist i Fig. 1 representerer syklotronen et tilbud som vil kunne bringe kjernefysikere fra våre naboland til Oslo for å gjøre eksperimenter, og den vil dermed bidra til å fremme det internasjonale samarbeid som allerede har lange tradisjoner på dette område.

Vi skal ikke her gå nærmere inn på virkemåten til syklotronen, som skulle være kjent fra lærebøker i elektromagnetisme, men heller konsentrere oppmerksomheten om noen av de forskningsoppgaver en ønsker å ta opp ved syklotronlaboratoriet. Før vi gjør rede for disse, kan det være nyttig å summere opp noen hovedpunkter i vår kunnskap om atomkjernenes egenskaper og oppbygning.

Litt elementær kjernefysikk

Atomkjernen består av protoner og nøytroner (nukleoner) som er begrenset til et lite område i rommet ($\sim 10^{-14}$ m). Kjernen er et kvantisert system, som bare kan opptre i tilstander med visse verdier for energi, spinn og paritet, svarende til bestemte bevegelsesformer for nukleonene. I mange tilfelle er disse bestemt av noen ganske få nukleoner, vi taler da om *partikkel*bevegelse. I andre tilfelle deltar mange nukleoner i en *kollektiv* bevegelse som svarer til rotasjon eller vibrasjon av kjernen som helhet. Samspillet mellom disse (og andre) bevegelsesformer bestemmer egenskapene til kjernen.

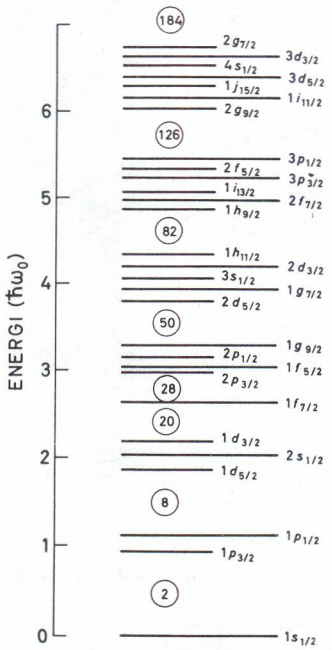


Fig. 2. En-partikkel tilstander i et harmonisk oscillator potensial. Energien er angitt i oscillatorenheten $\hbar\omega_0$ ($\simeq$ 50 MeV). Hver tilstand er karakterisert ved kvantetallene nl_j, hvor n = 1, 2, 3, ... er oscillatorkvantetallet, l er banespinnet (s, p, d, f, g, h, står for henholdsvis l = 0, 1, 2, 3, 4, 5) og j er det totale partikkelspinn.

Til tross for at kjernen er et kompakt byggverk av protoner og nøytroner (tettehet $\sim 10^{17}$ kg/m^3) som holdes sammen av sterke kjernekrefter, viser det seg at de enkelte nukleoner beveger seg nesten uavhengig av hverandre. Dette skyldes at vekselvirkningen mellom det enkelte nukleon og de øvrige nukleoner med rimelig tilnærmelse kan erstattes av et potensial som er felles for alle nukleonene. Dette har den samme form som kjernen. Vi kan få en enkel modell for et nukleons bevegelse i en kuleformet (sfærisk) kjerne ved å plassere det i et harmonisk oscillator-potensial med spinn-bane kopling og sentrifugalledd

$$V(r) = \tfrac{1}{2} m\omega^2 r^2 + A\vec{l}\cdot\vec{s} + B\vec{l}^2 \qquad (1)$$

der m, $\vec{l}$ og $\vec{s}$ er nukleonets masse, banespinn og egenspinn. Ved passende valg av konstantene ω, A og B får vi et nivåskjema for partikkelenergiene som vist i Fig. 2.

Den laveste energitilstand i en kjerne med et gitt antall protoner og nøytroner oppnås ved å plassere partiklene så lavt som mulig i nivåskjemaet. Pauliprinsippet forbyr oss å plassere mer enn 2j + 1 partikler av samme slag i en tilstand med totalt partikkelspinn j. Vi får dermed en karakteristisk skallstruktur med store energiintervall ved partikkeltallene 8, 20, 28, 50, 82 og 126, de såkalte magiske tall. Kjerner med magiske proton- og nøytrontall er sfæriske og ekstra stabile. Disse svarer til edelgassene blant atomene. Også kjerner med proton- og nøytrontall som ikke avviker for sterkt fra de magiske tall, viser seg å være sfæriske i de laveste energitilstander og kan langt på vei beskrives ut fra det enkle skallmodellskjema i Fig. 2.

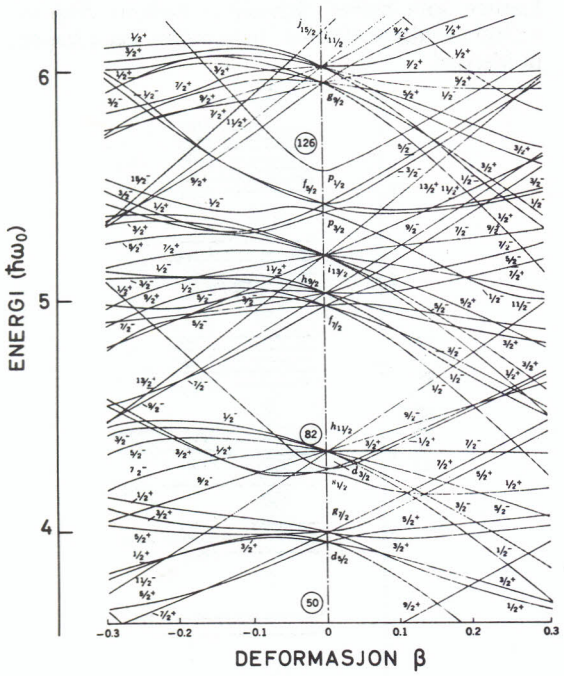


Fig. 3. En-partikkel tilstander i deformerte kjerner. Når deformasjonsparameteren β er lik null, er skjemaet identisk med Fig. 2. Hver sfærisk tilstand splittes opp i j + 1/2 deformerte tilstander, hvor det er plass til to protoner og to nøytroner i hver. Tilstandene er karakterisert ved kvantetallene Ω^{π}, der Ω er projeksjonen av det totale partikkelspinn på kjernens symmetriakse og π er pariteten.

Helt andre karakteristiske egenskaper finner en hos kjerner med nukleontall langt fra de magiske tall. Disse kjerner er ikke lenger kuleformede, men sigarformede (prolate) eller pannekakeformede (oblate), og kalles derfor *deformerte*. De skiller seg fra sfæriske kjerner bl.a. ved at de kan rotere, og viser således karakteristiske rotasjonsspektre som likner dem vi kjenner fra diatomige molekyler.

Partikkeltilstandene i en deformert kjerne kan beskrives ved å addere inn et deformasjonsavhengig ledd i potensialet (1), f.eks. av formen $-m\omega^2 r^2 \beta Y_{20}(\hat{r})$, der β er en deformasjonsparameter og Y_{20} er en kulefunksjon (sfærisk harmonisk). Dette fører til at en sfærisk skallmodelltilstand med spinn j splittes opp i (2j + 1)/2 tilstander med plass til to nukleoner av hvert slag. Disse tilstander er karakterisert ved projeksjonen Ω av j langs symmetriakse (Y_{20} har aksial symmetri). I Fig. 3 har vi vist hvorledes energiene av partikkeltilstandene i en deformert skallmodell av denne type varierer med deformasjonsparameteren β.

Både sfæriske og deformerte en-partikkeltilstander kan studeres eksperimentelt ved hjelp av kjernereaksjoner hvor det utveksles ett enkelt nukleon mellom prosjektil og targetkjerne (en-partikkel overføringsreaksjoner). Forat det skal kunne overføres en partikkel fra prosjektil til targetkjerne (stripping reaksjon), må det finnes ledige partikkeltilstander i targetkjernen. Omvendt vil en partikkel

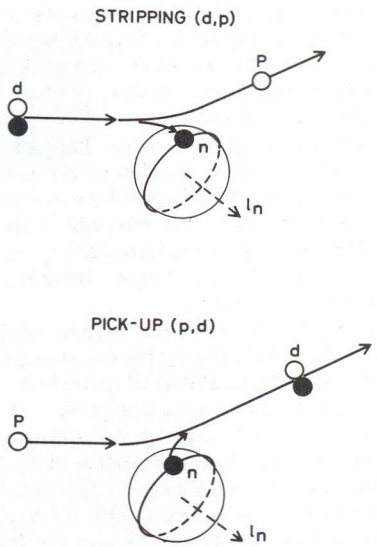


Fig. 4. Skjematisk bilde av en-partikkel overføringsreaksjoner.

kunne overføres fra en besatt tilstand i targetkjernen til prosjektilet (pick-up reaksjon). Et skjematisk bilde av disse prosesser er vist i Fig. 4. Slike reaksjoner har vist seg å være meget anvendelige redskap til å utforske partikkelstrukturen i atomkjernene. En har vært i stand til å kartlegge både beliggenheten og befolkningen av en-partikkel tilstander i en rekke kjerner, og har således fått bekreftet partikkelnivåskjemaene i Fig. 2 og 3.

Selv om overføringsreaksjoner har vært flittig benyttet til kjernestrukturstudier i løpet av de siste 20 år, kan de fremdeles gi oss mye nyttig informasjon. Men det er klart at de enkleste anvendelser forlengst er gjort, slik at den videre utnyttelse av denne reaksjonstype krever større eksperimentell (og teoretisk) oppfinnsomhet og presisjon. Slike overføringsreaksjoner vil også bli meget nyttige redskap i flere av de prosjekter som er planlagt ved syklotronen, og som vi nå er i stand til å omtale litt nærmere.

Overføringsreaksjoner i sfæriske kjerner

Som eksempel på overføringsreaksjoner i sfæriske kjerner kan vi betrakte reaksjonen $^{40}Ca(d,p)^{41}Ca$ som er illustrert i Fig. 5. I følge skallmodellskjemaet i Fig. 2 har ^{40}Ca både magiske proton- og nøytrontall, og har derfor spinn lik null i grunntilstanden og er dessuten ekstra stabil. I reaksjonen (d,p) på ^{40}Ca overføres et nøytron fra det innkommende deuteron til ^{40}Ca, slik at det dannes tilstander i ^{41}Ca. Det overførte nøytron skulle i følge Fig. 2 gå inn i de ledige partikkeltilstander $f_{7/2}$, $p_{3/2}$, ..., svarende til tilstander i ^{41}Ca med spinn og paritet lik $7/2^-$, $3/2^-$, ..., siden grunntilstanden i ^{40}Ca har spinn og paritet lik 0^+. Ved å måle energien av de unnslupne protoner fra reaksjonen (d,p) kan en finne ut hvilke tilstander som er dannet i ^{41}Ca. F.eks. svarer de mest energetiske protoner til den laveste tilstand i ^{41}Ca som nås gjennom reaksjonen, i dette tilfelle grunntilstanden. Ved å måle protonenes vinkelfordeling, d.v.s. utbyttet av protonene som funksjon av retningen de unnslipper i, får en opplysning om banespinnet til det innfangne nøytron. For grunntilstanden er dette $l = 3$, svarende til innfangning av et nøytron i den ledige $f_{7/2}$ tilstand. I første eksiterte tilstand svarer protonenes vinkelfordeling til $l = 1$ for nøytronet, som bekrefter at dette går inn i den ledige $p_{3/2}$ tilstand. Imidlertid nås også $3/2^+$ nivået ved 2,0 MeV, i strid med det enkle skallmodellbildet i Fig. 2. Dette kan for det første skyldes at ^{40}Ca ikke består av fullstendig lukkede skall, slik at det er en liten sannsynlighet for ledighet i $d_{3/2}$ tilstanden som normalt skulle være fylt.

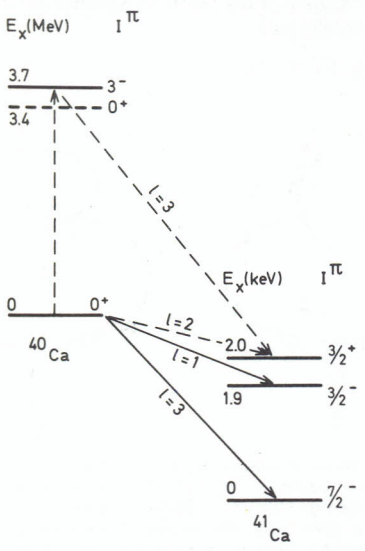


Fig. 5. Mulige reaksjonsveier for reaksjonen $^{40}Ca(d,p)^{41}Ca$. Tilstandene i de to kjerner er angitt ved eksitasjonsenergi (E_x) og spinn og paritet (I^π). Se forøvrig teksten.

Dermed kan det innfangne nøytron gå inn her, svarende til en vinkelfordeling karakterisert ved $l = 2$. En annen mulighet er at ^{40}Ca-kjernen, som er svært stabil, først eksiteres, f.eks. til 3^- tilstanden ved 3,7 MeV. Deretter kan et nøytron innfanges i $f_{7/2}$ tilstanden, slik at det dannes en $3/2^+$ tilstand i ^{41}Ca. Indirekte eksitasjoner av denne type bidrar ved de fleste partikkeloverføringer, men maskeres lett av de sterke direkte eksitasjoner. Det er derfor hensiktmessig å studere de indirekte eksitasjoner i reaksjonskanaler der de direkte eksitasjoner er sterkt redusert eller forbudt på grunn av utvalgsregler begrunnet i symmetriforhold. Slike studier er meget nyttige for forståelsen av selve reaksjonsmekanismen ved slike prosesser, og det gjenstår mye arbeid både eksperimentelt og teoretisk for å gi en kvantitativt mer tilfredsstillende beskrivelse av denne type kjernereaksjoner.

En kan også ha reaksjoner hvor det overføres flere enn en partikkel mellom prosjektil og targetkjerne. Slike reaksjoner vil kunne gi mer detaljert informasjon om kjernestrukturen enn en-partikkel reaksjoner. Men de er langt mer kompliserte, idet en bl.a. må ta hensyn til korrelasjoner mellom de overførte partikler. Også disse reaksjoner vil kunne foregå i flere trinn. F.eks. vil overføring av to nukleoner kunne skje ved at begge nukleonene overføres på én gang eller ved at ett nukleon overføres om gangen. Overføring kan også skje via en inelastisk eksitasjon på samme måte som ved en-partikkel overføring. Fler-partikkel reaksjoner viser således et sterkt samspill mellom effekterk som skyldes reaksjonsmekanismen på den ene side og kjernestrukturen på den annen side, og vil gi anledning til en rekke utfordrende forskningsoppgaver ved syklotronlaboratoriet, som det vil føre for langt å gå nærmere inn på her.

Partikkeltilstander med høye spinn i kjerner med liten deformasjon

Også i deformerte kjerner har overføringsreaksjoner vært et særdeles nyttig redskap i studiet av

partikkeltilstandenes egenskaper. Hvis en f.eks. overfører et nøytron til en targetkjerne med spinn lik null slik at spinnet av sluttilstanden er I, vil nøytronet ha tatt med seg et spinn j = I. For at dette skal være mulig, må nøytronet gå inn i en deformert partikkeltilstand som inneholder en sfærisk komponent med spinn lik j. Nå vil en deformert partikkeltilstand i alminnelighet inneholde mange forskjellige j-verdier (svarende til at j ikke er et godt kvantetall), og sannsynligheten for å befolke nivået er da proporsjonal med sannsynligheten for at tilstanden skal inneholde den gitte j-verdi.

For 5-10 år siden pågikk et intenst forskningsarbeid med deltagelse av bl.a. norske grupper for å kartlegge partikkelstrukturen i deformerte kjerner ved hjelp av en-partikkel overføringsreaksjoner. I de senere år har slike reaksjoner fått fornyet aktualitet, som verktøy til å studere partikkeltilstander i de såkalte overgangskjerner. Vi finner her en annen naturlig og aktuell forskningsoppgave for syklotronlaboratoriet.

Med overgangskjerner menes kjerner som ligger i området mellom sfæriske og vel deformerte kjerner. De har liten deformasjon, men er fremdeles preget av kollektive frihetsgrader. I overgangskjerner knytter det seg spesiell interesse til partikkeltilstander med høye spinn (j = $l + 1/2$, stor l) som på grunn av den sterke spinn-bane kopling blir presset ned i oscillatorskallet under, der tilstandene har motsatt paritet. Dette gjelder f.eks. for $h_{11/2}$ og $i_{13/2}$ tilstandene i Fig. 3. Slike tilstander vil ikke kunne blande seg med nærliggende tilstander med andre j-verdier og får dermed tilnærmet godt totalspinn j. Disse tilstander tillegges avgjørende betydning for overgangskjernenes deformasjon og treghetsmoment.

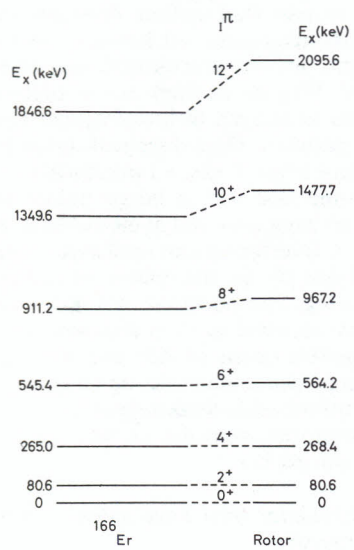


Fig. 6. Grunntilstandsbåndet i ^{166}Er er et godt rotasjonsbånd. Symbolene er definert i Fig. 5.

En har i dag svært liten informasjon om såvel beliggenheten som befolkningen av partikkeltilstander med høye spinn både i overgangskjerner og mer deformerte kjerner. Dette skyldes at en hittil har studert partikkeltilstander ved hjelp av overføringsreaksjoner indusert ved lette prosjektiler (protoner og deutroner) som overfører lite spinn til targetkjernen og dermed fortrinnsvis eksiterer tilstander med lave spinn ($l \leqslant 3$). For å befolke tilstander med høye spinn ($l \geqslant 4$), er det nødvendig å bruke tyngre prosjektiler som ^{3}He-kjerner eller α-partikler. Særlig synes stripping reaksjonen (α,^{3}He), hvor det overføres et nøytron fra α-prosjektilet til targetkjernen, å være velegnet til å studere tomme partikkeltilstander med høye spinn. Til dette kreves α-partikkel energier opp mot 35 MeV. Samtidig må strålekvaliteten være god nok til å muliggjøre presise målinger av partikkelenergier. Syklotronen som skal installeres i Oslo vil i flere år fremover være den eneste akselerator i Skandinavia som både tilfredsstiller kravene til prosjektilenergi og strålekvalitet for slike undersøkelser.

Kollektive frihetsgrader i kjerner med liten deformasjon

Også de kollektive frihetsgrader i overgangskjerner representerer et interessant forskningsprosjekt ved syklotronlaboratoriet.

I en vel deformert kjerne med like massetall vil de laveste energinivåene ha spinn og paritet $I^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+, \ldots$ Spinnet I karakteriserer rotasjonen av kjernen som helhet. Den indre struktur av kjernen er irrelevant her, idet nukleonene på grunn av parkraften er koplet sammen i par av like nukleoner til spinn lik null. Energiene av rotasjonstilstandene følger med god tilnærmelse energiene til en kvantemekanisk rotor (som vi kjenner godt fra diatomige molekyler)

$$E(I) = \frac{\hbar^2}{2j} I(I + 1),$$

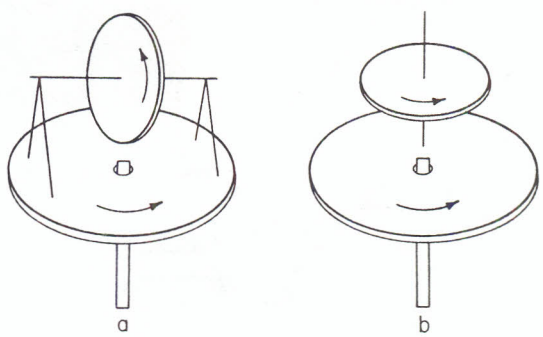


Fig. 7. Klassisk modell for koplingen mellom en enkelt partikels bevegelse og kjernens rotasjonsbevegelse. Ved langsom rotasjon av kjernen (a) kan de to bevegelser betraktes som uavhengige. Partikkelen er da sterkt koplet til kjernen. Når kjernen roterer hurtig (b), søker Coriolis-kraften å opplinjere partikkelens spinn og kjernens totale spinn. Partikkelen blir dermed koplet ifra kjernen.

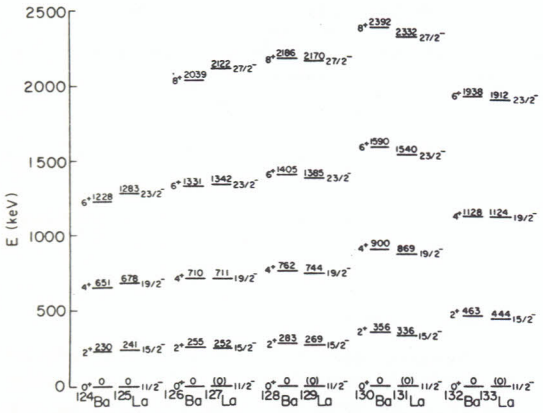


Fig. 8. Observerte dekoplede bånd i Lanthan-kjernene. Energiene svarer godt energiene i de like-like nabokjerner (Barium).

der ħ er Plancks konstant h dividert med 2π og j er treghetsmoment om rotasjonsaksen. Et godt eksempel på et rotasjonsspektrum i en vel deformert kjerne er vist i Fig. 6.

Når deformasjonen av kjernen avtar, vil energispektret avvike fra det rene rotasjonsspektrum i likn. (2), først og fremst på grunn av kopling mellom partikkelbevegelse og rotasjon. Denne kopling skyldes Coriolisvekselvirkningen, som er vel kjent fra klassisk mekanikk. Den er proporsjonal med skalarproduktet $-\vec{I}\cdot\vec{J}$ og søker å opplinjere partikkelspinn og totalt spinn. Denne effekt kan demonstreres ved hjelp av en enkel klassisk modell som vist i Fig. 7. Særlig fremtredende er Corioliskoplingen når partikkelens spinn er høyt (som f.eks. for $h_{11/2}$ og $i_{13/2}$ tilstandene i Fig. 3). Her kan opplinjeringen bli fullstendig, slik at partikkelen beveger seg i kjernens ekvitorialplan. Rotasjonsbåndet for den odde kjerne kan da konstrueres ved å addere partikkelens spinn direkte til spinnene for rotasjonstilstandene i den like-like nabokjerne, som vist i Fig. 8. Partikkelbevegelsen er således i realiteten frakoplet rotasjonsbevegelsen, idet økningen i det totale spinn oppover i båndet utelukkende skyldes rotasjonsbevegelsen av den like-like nabokjerne. Vi taler derfor om *dekoplede* bånd. Disse har vært gjenstand for stor interesse siden begynnelsen av 1970-årene, og det gjenstår i denne forbindelse en rekke ubesvarte spørsmål, f.eks. når det gjelder størrelsen av Corioliskraften som teorien synes å overestimere.

Så langt er det særlig høy-spinn medlemmene av de dekoplede bånd ($I \gg j$) som er studert. Det finnes imidlertid tilsvarende bånd der spinnet $\vec{R}$ for kjernens rotasjon og partikkelspinnet j er motsatt rettet, slik at det totale spinn er gitt ved $I = \vec{j} - \vec{R}$. Ved overgangen fra $R < |j$ til $R| > j$ inneholder dette båndet en diskontinuitet (spinn flipp) som svarer til en forskjell i det totale spinn på 1 ħ, mens nabonivåer ellers har en spinnforskjell på 2 ħ. Studiet av disse båndene vil ventelig gi mer detaljert informasjon om vekselvirkningen mellom partikkelbevegelse og rotasjon enn de dekoplede bånd med $I = j + R$. De eksperimentelle vanskene vil imidlertid være store og utfordrende. Tilstander med motsatt rettede $\vec{j}$ og $\vec{R}$ vil kunne dannes ved hjelp av mellomkjernereaksjoner (se nedenfor) med lette prosjektiler, slik at det overføres lavt spinn til mellomkjernen.

(forts. neste hefte)

Nye vegar i fusjonsforskinga - tunge ionar

Referat av foredrag av K. Johnsen (CERN) ved O. Steinsvoll.

Skorten på energi vil verta eit stort problem i slutten av dette hundreåret eller i neste. Ein må etterkvart ta i bruk alternative energikjelder avdi olja vil ta slutt, men det er berre fusjonsenergien som verkeleg kan ta over etter olja; dei andre alternativ, kjernekraft eller solenergi kan berre levera brøkdelar av energien som trengst. Ein har prøvd å temja fusjonsenergien heilt sidan hydrogenbomba vart utvikla. Forskinga har serleg gått i retning av magnetisk innestenging av plasma, og dette er ein metode ein ikkje må gje opp å prøva ut. Det felles-europeiske prosjektet JET som endeleg er kome i gang, vil gå etter denne lina.

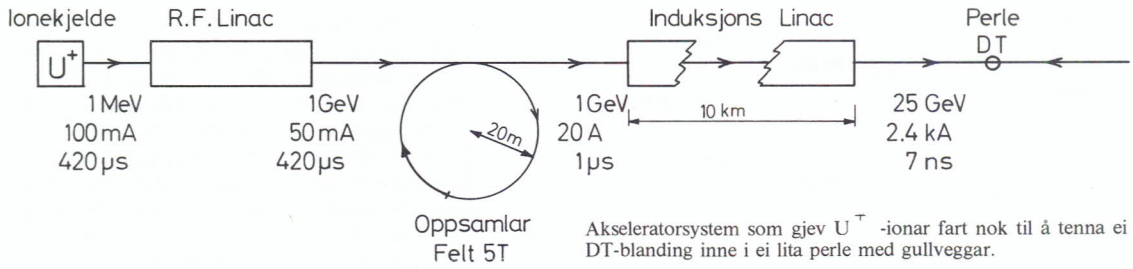
I dei siste åra har ei anna forskingsline, nemleg tråleiksinnestenging ved hjelp av laserar synt framsteg. Både i USA og USSR har ein satsa stort, men ein har ikkje noko gjennombrot enno. Euratom har hatt ei studiegruppe i sving i over eit år, og K. Johnsen har vori medlem der. Innstillinga frå gruppa er no på vandring mellom medlemsblanda. CERN er ikkje innblanda i dette arbeidet, men det var som akselerator- og høgenergifysikar at Johnsen tok del i studiegruppa.

Det er serleg deuterium-tritium reaksjonen som er av interesse avdi energiutbyttet er stort og kollisjonsenergien er munaleg mindre enn for andre reaksjonar.

$$D + T \longrightarrow He^4 + n + 17.6\ MeV$$

Tenntemperaturen er omlag 10^8 K. Skal ein få ein fusjonsreaktor til å gå, må ein oppfylla Lawson kriteriet. Det gjev ein samanheng mellom plasmatettleiken n og innestengingstida t:

$$(nt)_{DT} \gtrapprox 3 \times 10_{20}\ s/m^3$$



Akseleratorsystem som gjev U^+ -ionar fart nok til å tenna ei DT-blanding inne i ei lita perle med gullveggar.

For magnetisk plasmainnestenging har ein enno ikkje stetta Lawson kriteriet, men ein nærmar seg langsomt. Vanskane er ustabilitetar i plasma, korleis ein skal varma det opp og korleis energien skal takast ut (om det vert noko til overs!)

Alternative metodar

Dei nye metodane går ut på å pressa ei lita perle med ei blanding av deuteriumtritium saman slik at kjernene brenn i hop etter formelen ovanfor. Perla er av glas eller metall, og samanpressinga skjer ved å skyta pulsa laserstrålar mot perla frå mange kantar. Tråleiken held massen saman slik at både tettleiken og temperaturen aukar medan laserstrålen avgjev energi. Slike perler har radius på ein millimeter og inneheld 100 µg DT-blanding. Med ein stråleenergi på omlag ein megajoule (effekt 120 Tw!) vonar amerikanerane å få ut ein energi på 13 megajoule. Dette er alt ein veit om dette arbeidet avdi forskinga er klassifisert på linje med hudrogenbomba. Ein veit likevel at denne forskinga er høgt prioritert i både USA og USSR.

Vanskane er store avdi lasereffektiviteten er låg. Når ein skal handtera energiar rundt 1 MJ og effektar på 100 TW vil ein óg få tekniske vanskar med laserane. Overføringa av energi til DT-blandinga er eit stort problem avdi energien vert avgjeven på overflata av perla.

Nye vegar

Ein kunne tenkja seg både å nytta elektronstrålar eller protonstrålar til oppvarminga, men det beste ser ut til å vera tunge ionar. Ein har alt ein god teknikk på dette området og kan gje dei høg energi i akseleratorar.

Perla

Veggen i perla er av gull og omlag 0,22 mm tjukk med radius 1 mm. Energien vert avgjeven i eit skal ved ei inntrengingsdjupn på 0,17 mm. Indre delen av veggen verkar då som en «pusher» som pressar DT-gassen mot sentret. Dette vil teoretisk kunne gå dersom ein nyttar ioniserte og akselererte urankjerner. Dei bør då ha energi på 25 GeV og utgjera ein straum på 4 kA. Slike energiar og straumar set store krav til fartsaukarane. Ei mogeleg løysing er synt i figur 1.

Akseleratorsystemet

I ionekjelda lagar ein U^+ ionar. Dei får auka farten i ein høgfrekvens Linac og går så inn i ein oppsamlarring der fleire ionepulsar vert lagra og trykt saman, inntil ein kraftig puls vert skoten inn i ein induksjons Linac. Der vert energien auka frå 1 GeV til 25 GeV og ionane treff til slutt perla. Ein må ha eit liknande system på den andre sida slik at perla vert jamt samanpressa.

Heile vegen misser ein ionar og ein har stråletap. Med «multiturn injection» kan ein samla opp ionar frå 100 pulsar, eller omlag 20 A straum. Romladningseffekter avgjer kor mykje ein kan trykka saman pulsen. Oppsamlaren vil måtte ha ein radius på 20 m og eit magnetfelt på 5 T. Opninga er 6 cm.

Induksjonslinacen er bygd av celler som kvar verkar som ein lineær motor: ein ringforma magnetvikling rundt akselerasjonsrøyret er primærvikлinga, medan ionestrålen er sekundær«viklinga». Ein må ha tusenvis av slike trinn, og Linacen vert difor omlag 10 km lang. Prinsippet er enkelt og Linac lett å byggja. Han har høg verknadsgrad, og ionepulsen frå oppsamlaren vert endå meir samantrykt under fartsauken gjennom maskinen. Vansken er romladningseffekter, ikkje berre transverselt, men også longitudinelt, langs stråleretninga.

Liknande system er planlagde av ei gruppe i Berkeley og ved Argonne. Skilnadene frå det europeiske utkastet ligg hovudsakeleg i plasseringa av oppsamlarringen (før eller etter ind.linacen).

Vanskar

Det vil melda seg både tekniske og fysiske problem heile vegen langsmed systemet. Ei høgeffektiv ionekjelde for tunge ionar er ikkje lett å laga, og det gjeld og for RF Linacen. Ein må sikra seg mot å missa ionar ved mating av oppsamlarringen. Romladningseffektene er nemde før, og dei vil setja grenser for kor stutte pulsar ein kan forma både i ringen og i ind.linacen. Perlene vert heller ikkje lette å masseprodusera, og ein må skaffa seg både deuterium og tritium.

Framtidsvoner

Systemet som er teikna ovanfor bør få sjanse til å verta realisert om nokre år når ein veit meir om resultata frå laserfusjonseksperimenta.

Direkte innfanging av ladde partikler, reaksjoner i stjerner som også tester skallmodellen for atomkjernen

Finn Ingebretsen)*

Universets viktigste kjernereaksjon — ?

Innfangingsreaksjoner mellom ladde kjernepartikler ved lave (termiske) energier står for så vel energiproduksjon som oppbyggingen av elementene i stjerner. Det er videre mange som mener at reaksjonene:

$$^2H + {}^3H = {}^4He + n \qquad \text{(deuterium-tritium fusjon)}$$

og forhåpentlig også

$$^2H + {}^2H = \begin{matrix}\text{enten } {}^3He + n \text{ (deuterium-}\\ \text{eller } {}^3H + H \text{ deuterium fusjon)}\end{matrix}$$

om ikke så alt for lenge vil mette våre og alle kommende slekters energibehov. Få kan derfor bestride at disse reaksjonene er viktige. De er da også blitt hyppig studert i laboratorier verden over.

I astrofysikken er det først og fremst sannsynligheten, eller virkningstverrsnittet, for slike reaksjoner som er av interesse. Den største eksperimentelle vanskeligheten ved slike målinger er imidlertid at virkningstverrsnittene ved termiske energier er så små at de med få unntak ikke lar seg måle direkte. Målingene må derfor utføres ved høyere energier, og resultatene ekstrapoleres til termisk energiområde.

Imidlertid er det blitt en fornyet interesse i de kjerneteoretiske aspekter ved slike eksperimenter. Dette skyldes først og fremst forbedret måleteknikk, som bruk av små akseleratorer med intens stråle og bruk av halvledertellere med høy energioppløsning. Vel så viktig er utviklingen av en teori innenfor hvilken målingene kan interpreteres. I det følgende skal vi derfor skissere den kjernespektroskopiske informasjon slike målinger kan gi.

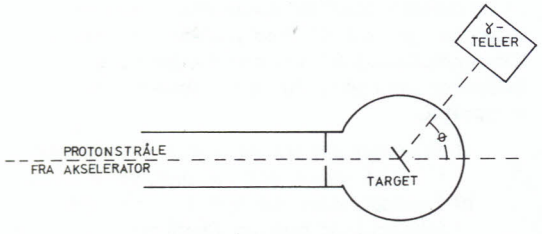


Fig. 1. Skjematisk fremstilling av måleoppstillingen for måling av gammastråling fra innfangingsreaksjon.

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Studiet av reaksjonen i historisk perspektiv.

Vi skal her ta for oss reaksjoner der en lett partikkel fanges inn i en kjerne med utsendelse av ett eller flere gammakvant. Slike reaksjoner har vært studert siden 1940-årene, og vi kan slå fast at viktige bidrag til dette feltet ble gitt også i Norge. Det er vel heller ikke for mye sagt at professor Roald Tangen ved Universitetet i Oslo var en av de ledende pionerer. Det kan derfor være av interesse å se på noen av hans data fra 1947[1)] for å illustrere hva som observeres i slike forsøk. Måleoppstillingen er skissert skjematisk på fig. 1. Apparaturen kan forøvrig beskues på Teknisk museum i Oslo.

Kjernen som skal bombarderes, i dette eksemplet ^7Li, plasseres i protonstrålen fra en Van de Graaff-akselerator. Gammastrålingen fra reaksjonen går gjennom vakuumkammerets vegger (se fig. 1) og registreres i en teller. I dette forsøket ble det brukt Geiger-Müller tellere som i praksis bare målte intensiteten. I dag brukes scintillasjons- eller halvleder-tellere, der også gamma-energien måles. Reaksjonen vi får er:

$$^7Li + H = {}^8Be + h\nu$$

eller slik den vanligvis noteres,

$$^7Li(p,\gamma)^8Be$$

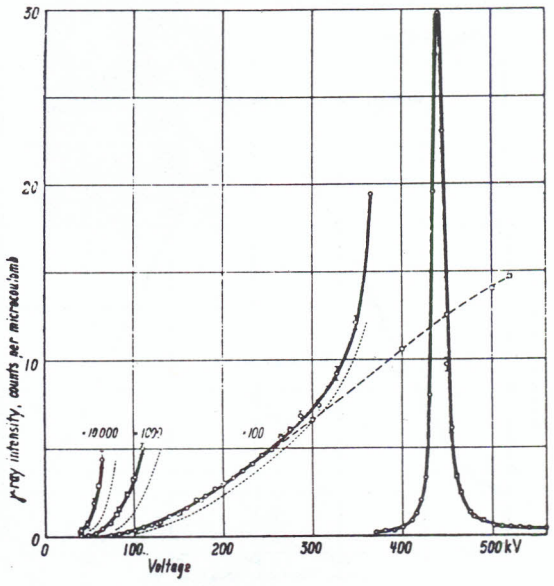


Fig. 2. Gamma-utbytte målt som funksjon av protonenergien i reaksjonen $^7Li(p,\gamma)^8Be$. Fra Tangen[1)].

(der ^{8}Be går over til 2 ^{4}He).

Varieres bombarderingsenergien i små trinn, vil gammaintensiteten variere som vist på fig. 2. Denne kurven kalles gjerne reaksjonens utbyttekurve. Rundt ca. 440 keV bombarderingsenergi finner vi her en resonans med høyt gammautbytte. Resonansen tilsvarer en ubundet, høyt eksitert tilstand i «mellomkjernen» (compound-kjernen) ^{8}Be, og det var naturlig nok studiet av resonanser og deres desintegrasjon som kom til å prege denne forskningen i mange år. Resonans-fenomenet som ble beskrevet av Bohrs mellomkjerneteori, var den gang det nye og uventede. Som en digresjon kan nevnes at det er en sterk, bred resonans rundt 100 keV som gjør deuterium-tritium fusjon attraktiv som brensel i den første fremtidige fusjonsreaktor.

Imidlertid er det en liten «bakgrunn» i gammautbyttet i fig. 2, en faktor 100—1000 lavere enn resonansen i intensitet. Tangens avhandling fra 1947[1], som forøvrig betraktes som forbilledlig av fysikere innen dette felt, beskriver også denne bakgrunn nøye:

> «The yield curve consist of two superimposed parts, the well-known resonance curve, and a continously rising curve of small intensity. Indications of sharp resonances are not to be found in the latter curve».

Det er denne svake bakgrunnen som i 1954 ble kalt direkte innfanging av Warren og medarbeidere[2], en reaksjonsmekanisme som er svært forskjellig fra resonansinnfanging. La oss imidlertid ta med ennå et eksperimentelt kjennetegn ved direkte innfanging. I 1949 rapporterte Fowler og medarbeidere[3] ved Caltec om sine resultater fra studier av protoninnfanging i deuterium:

^{2}H(p,γ)^{3}He.

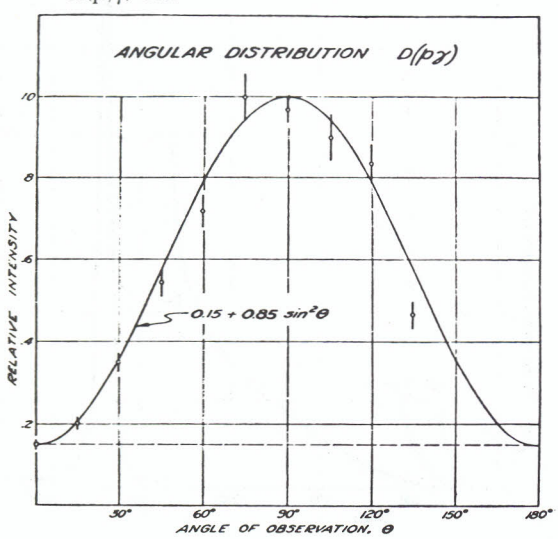


Fig. 3. Vinkelfordeling av gamma-stråling fra reaksjonen ^{2}H(p,γ)^{3}He. Fra Warren[2].

De kunne fremvise en for datiden imponerende god måling av gammastrålens retnings-intensitetsfordeling (i det følgende kalt vinkelfordeling) relativt til protonstrålens retning. Resultatet, vist i fig. 3, viser at reaksjonen sender ut gammastråler etter en ren $\sin^2\theta$-lov, avvikene skyldes instrumentelle effekter. Det viste seg at denne vinkelfordelingen ikke lar seg beskrive ved Bohrs mellomkjerneteori.

Vi har derfor funnet to karakteristiske trekk ved direkte innfanging. Virkningstverrsnittet er svakt (størrelsen mikrobarn) sammenliknet med resonansinnfanging, og øker monotont med bombarderingsenergien. Videre har gammastrålen en karakteristisk vinkelfordeling. På grunnlag av dette kan vi danne oss et fysikalsk bilde av reaksjonen[2,4,5].

Reaksjonsmekanismen.

Vekselvirkningen mellom målkjerne og innkommende partikkel foregår både via kjernekreftene og via coulombkreftene som skyldes de involverte partiklers ladning. Kjernekreftene er sterke, men har kort rekkevidde, mens coulombkreftene er svakere og har lang rekkevidde. Ved lave energier vil som regel innkommende partikkel føle kjernekreftene fra mange nukleoner i målkjernen. Dersom energien passer, vil vi derfor få en mellomkjerne i et mulig energinivå for systemet. Dette observeres som en resonans i utbyttekurven (se fig. 1). Resonansinnfanging vil altså bare finne sted rundt diskrete energier.

Coulombvekselvirkningen vil derimot ikke gi resonansstruktur i utbyttekurven. Partiklene vil enten spres elastisk, eller de vil eksitere målkjernen (coulombeksitasjon). Det finnes også en tredje mulighet. Prosjektilet kan «falle» ned i en bundet tilstand i sluttkjernen ved at energidifferansen utsendes som en gammakvant. Det er dette som skjer ved direkte innfanging. Kjernekreftene er ikke involvert i denne prosessen, et faktum som gammastrålens vinkelfordeling indikerer.

Vinkelfordelingen i fig. 3, som er proporsjonal med $\sin^2\theta$, er tegnet i polarkoordinater i fig. 4. De fleste vil her dra kjensel på strålingsmønsteret fra en klassisk elektrisk dipol. Imidlertid studerer vi et kvantemekanisk system, der gammastrålingen er en (eventuell) elektrisk dipolstråling som skyldes at systemet går fra en energitilstand til en annen. Kvantemekanisk får vi en vinkelfordeling som den heltrukne kurven på fig. 4 når følgende betingelser er oppfylt:

a) Systemet går fra en relativ p-(banespinn er 1) til en relativ s-(banespinn er 0) tilstand.
b) Fotonet, som har spinn 1, har spinn-projeksjon 0 på z-aksen. Dette betyr at det strålende systems totale spinn j har en z-komponent J_z som er uforandret etter gammautsendelsen.

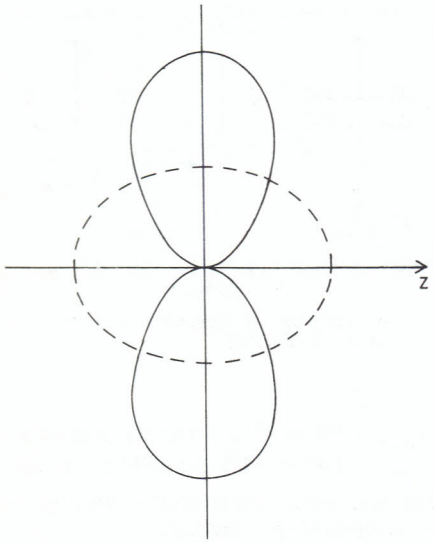


Fig. 4. Vinkelfordeling av klassisk elektrisk dipolstråling (heltrukken kurve). Stiplet kurve er forklart i teksten.

Ut fra rent kinematiske betraktninger kunne J_z blitt forandret med 1, dette ville gi en vinkelfordeling som antydet med den stiplete kurven i fig. 4. Siden det bare er protonets egenspinn og målkjernens (her deuteronets) spinn som har projeksjoner forskjellig fra null på z-aksen (z-aksen er valgt loddrett på banespinnet), indikerer vinkelfordelingen at de involverte egenspinn ikke forandres i størrelse eller retning ved reaksjonen. Det er bare banespinnet som forandres, og siden kjernekreftene generelt vil gi en kopling mellom banespinn og egenspinn, er dette forsøket så vel som en rekke andre forsøk i overensstemmelse med antakelsen at kjernekreftene ikke deltar i prosessen. Reaksjonen skjer ved at innkommende partikkel vekselvirker med målkjernen via elektromagnetiske krefter, og partikkelen «faller» ned i en mulig bundet tilstand uten at egenspinn forandres. Begynnelsestilstanden er i eksemplet et deuteron i grunntilstanden og et proton i en plan (coulombforstyrret) bølge. Denne tilstanden kan vi studere ved elastisk spredning ved de samme bombarderingsenergier. Sluttilstanden består av det samme proton bundet til det samme uforstyrrede deuteron, i en relativ s-tilstand.

Virkningstverrsnittet

Under forutsetning av at det enkle fysikalske bildet av reaksjonen er godt, kan vi nå sette opp et teoretisk uttrykk for virkningstverrsnittet. Vi kjenner begynnelsestilstanden, og vi kjenner vekselvirkningen. Videre er reaksjonen så svak at første ordens perturbasjonsteori er god nok. Endelig er problemet et to-legeme problem, og kan derfor i prinsippet løses uten tilnærmelser. Det eneste ukjente er slutt-tilstanden. Vi har sett at den må inneholde en vesentlig (les målbar) komponent som består av et proton og et nøytron i en s-tilstand. Målingene kan derfor gi størrelsen av denne komponenten. Med andre ord, reaksjonen forteller oss hvor stor én-partikkelkomponent vi finner i slutt-tilstanden. Disse resultater kan derfor teste skallmodellen, som jo nettopp uttrykker tilstandenes bølgefunksjon utviklet i én-partikkelkomponenter.

Kaller vi begynnelsestilstanden og slutt-tilstanden h.h.v. $|\phi_i>$ og $|\phi_f>$, og vekselvirkningsoperatoren for H_{el}, er virkningstverrsnittet gitt ved

$$\sigma = A \cdot |<\phi_f|H_{el}|\phi_i>|^2$$

A er her en konstant vi kan beregne.
Skriver vi $|\phi_f>$ som:

$$|\phi_f> = a|\text{proton} + \text{deuteron}> + \sqrt{1-a^2}|\text{andre konfig.}>$$

får vi:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot a^2$$

der σ_0 beregnes fra kjente størrelser. Ved å måle σ finner vi derfor amplituden a^2.

Det finnes andre reaksjoner der en måler én-partikkel komponenter i bølgefunksjonen, nemlig såkalte «stripping» reaksjoner, (se f.eks. ref. [6]). Direkte innfanging av et proton skal derfor gi de samme slutt-tilstander som reaksjonen (d,n). I stripping er imidlertid kjernekreftene involvert, noe som introduserer ukjente faktorer. I tillegg er (d,n) reaksjonen et tre-legeme problem, og langt vanskeligere å beregne. Direkte innfanging er derfor et supplement og et korrektiv til stripping reaksjoner.

Eksempel på anvendelse

Direkte innfanging kan også skje via andre typer elektromagnetiske overganger, som magnetisk di-

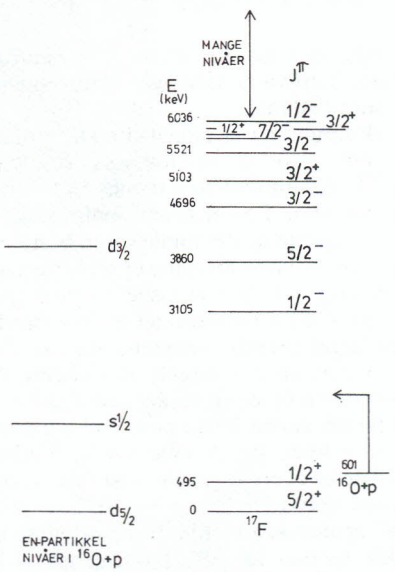


Fig. 5. Energinivåer i ^{17}F, med teoretiske nivåer fra én-partikkel modellen til venstre.

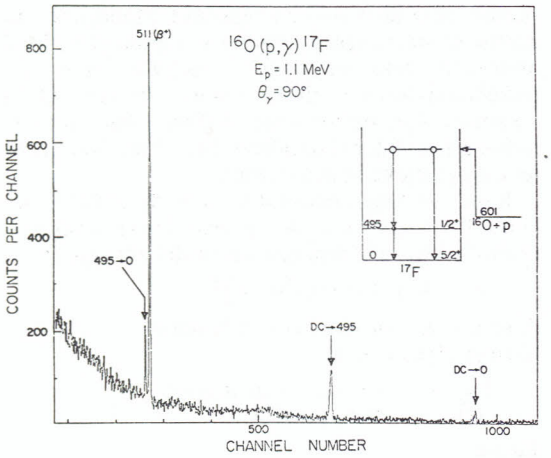


Fig. 6. Gamma-spektrum fra direkte innfanging av protoner i ^{16}O målt med Ge(Li) teller. Fra Rolfs[7].

pol, elektrisk kvadrupol etc. Disse vil imidlertid som regel være flere størrelsesordener svakere enn elektrisk dipol. Videre er reaksjonen ikke begrenset til p ⟶ s overganger, men andre banespinn kan også være involvert. Typisk for alle mulige overganger er imidlertid at vinkelfordelingen av gammastrålen og eventuelt påfølgende stråling er karakteristisk for de involverte banespinn. Teorien gir følgende vinkelfordelinger:

$$I(\theta) = \text{konstant} \qquad \text{for } s \longrightarrow p$$

$$I(\theta) = \sin^2\theta \qquad \text{for } p \longrightarrow s$$

$$I(\theta) = 1 + \tfrac{1}{6}\sin^2\theta \qquad \text{for } p \longrightarrow d$$

$$I(\theta) = 1 + \tfrac{3}{7}\sin^2\theta \qquad \text{for } f \longrightarrow d$$

Tilsvarende vil vinkelfordelingen av neutronet fra reaksjonen (d,n) være avhengig av protonets banespinn i slutt-tilstanden.

Som eksempel på et enkelt direkte innfangingseksperiment skal vi ta for oss resultater fra $^{16}O(p,\gamma)^{17}F$. I skallmodellen regnes ^{16}O som en stabil konfigurasjon. I en ekstrem skallmodell, der eksitasjonsenergiene og det totale spinn bestemmes av det siste proton, vil vi forvente et spektrum som vist til venstre i fig. 5. I fig. 6 er vist et gamma-spektrum tatt med en Ge(Li) halvlederteller, bombarderingsenergien ligger utenfor resonansområdet. Spektret har to topper, en for direkte innfanging (DC) til grunntilstanden og en til nivået ved 495 keV. Disse to nivåene må derfor ha én-partikkel komponenter, hvilket vi i følge fig. 5 ville vente. Vinkelfordelingen av de to overgangene er vist i fig. 7, og resultatene viser entydig h.h.v. p ⟶ s (DC ⟶ 495) og p ⟶ d (DC grunntilstanden) i overensstemmelse med den enkle teorien for ^{17}F. I tillegg gir virkningstverrsnittene følgende verdier for én-partikkel komponentene:

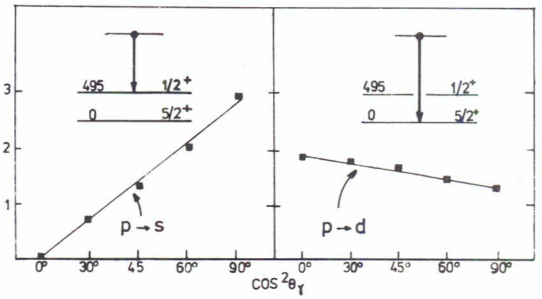


Fig. 7. Vinkelfordeling av gamma-stråling fra reaksjonen $^{16}O(p,\gamma)^{17}F$. Fra Rolfs[7].

$$a_{d_{5/2}} = 90 \pm 15\% \text{ for grunntilstanden}$$

$$a_{s_{1/2}} = 100 \pm 14\% \text{ for 494 keV nivået}$$

Dette er også i god overensstemmelse med resultater fra strippingeksperimenter.

Metoden er begrenset til områder med få eller ingen resonanser, i praksis til relativt lette kjerner. På den annen side har målinger som i eksemplet ovenfor kunnet verifisere resultater fra stripping reaksjoner, og underbygger derved indirekte de fysikalske forestillinger som ligger til grunn for interpretasjonen av mer kompliserte reaksjoner.

Nyere detaljerte målinger av denne type har også konsekvenser for teoretisk astrofysikk. Et eksempel fra senere litteratur er måling av virkningstverrsnittet for reaksjonen $^{15}N(p,\gamma)^{16}O$, som skjer i annengenerasjons stjerner. I disse stjerner, hvis energiproduksjon går via CNO-syklusen, er siste ledd i syklusen reaksjonen $^{15}N(p,\alpha)^{12}S$. Reaksjonen $^{15}N(p,\gamma)^{16}O$ er en konkurrent til siste ledd, og har konsekvenser for oksygen-forekomsten i slike stjerner. Nøyaktige målinger har vist at denne konkurrerende reaksjon forekommer nesten 3 ganger så hyppig som tidligere antatt. [8]. Det er først og fremst forbedret måleteknologi som har ført til dette resultatet, og det er rimelig at denne teknologi, som stadig er i utvikling, vil føre til nye og interessante resultater også i astrofysisk sammenheng.

Referanser

1) R. Tangen: Experimental Investigation of Proton Capture Processes in Light Elements. Kgl. Norske Vid. Selsk. Skr. No. 1 (1946)
2) J. B. Warren, K. A. Laurie, D. B. James and K. L. Erdman: Can. J. Phys. **32** (1954) 563
3) W. A. Fowler, C. C. Lauritsen and A. V. Tollestrup: Phys. Rev. **76** (1949) 1767.
4. A. M. Lane: Nucl. Phys. **11** (1959) 625. Se også andre referanser i ref.
5. R. F. Christy and I. Duck: Nucl. Phys. **24** (1961) 89.
6. P. O. Tjøm: En-partikkeltilstander i deformerte kjerner ... F.F.V. nr. 4 (1970) 77.
7. C. Rolfs: Nucl Phys. **A217** (1973) 29.
8. C. Rolfs and W. S. Rodney: Nucl Phys. **A235** (1974) 450

Metalliske glass - egenskaper
Del 2

Ola Hunderi)*

I. Sammenfatning.

I forrige artikkel ga vi en oversikt over framstilling av metalliske glass, samt en kort diskusjon av struktur og termisk stabilitet til disse materialene. Her skal vi kort gjennomgå en del av de mer interessante egenskapene til metalliske glass framstilt både ved fordamping på avkjølte substrater, og ved bråkjøling av væsken. Vi inkluderer både mekaniske og fysiske egenskaper i denne oversikten, men framhever da spesielt de egenskapene til metalliske glass som skiller seg markant fra de tilsvarende krystallinske egenskapene.

II. Mekaniske egenskaper.

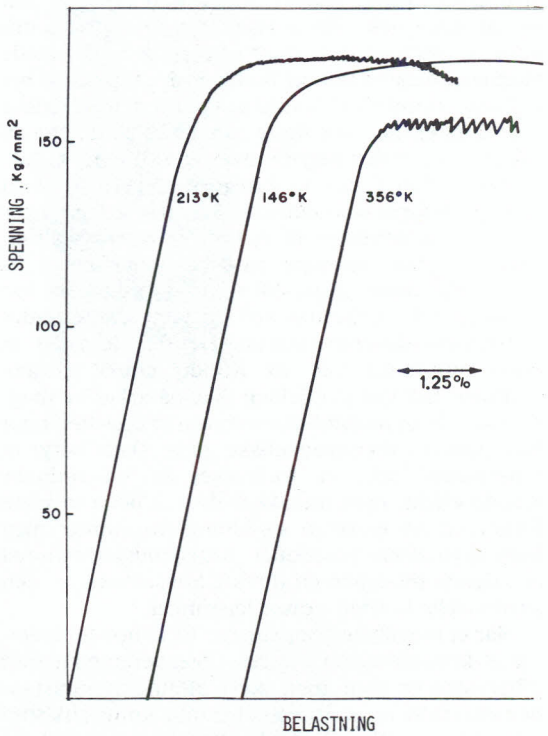
Nesten alle metalliske glass er ekstremt harde og tåler store strekk-krefter. Verdiene ligger som regel godt over verdiene for tilsvarende dimensjoner av rustfritt stål av god kvalitet. Enkelte har ved strekkforsøk vist seg å ha en styrke på mer enn fire ganger styrken til rustfritt stål, $Fe_{80}B_{20}$ har i amorf tilstand en strekk-fasthet på 380 kg/mm^2 . Til tross for hardheten er de også seige, fibre av metallglass kan bøyes adskillig mer enn rustfritt stål. Ikke varmebehandlet materiale kan godt kaldvalses, og dermed kan det oppnås eksakte dimensjoner. Strekkforsøk viser at styrken til metalliske glass er lite avhengige av temperaturen som vist i figur 1 [1]. Figuren viser $Pd_{77.8}Si_{16}Cu_6$, og det sees at flytespenningen er på vel 150 kg/mm^2 . Den viser også at deformasjon er meget liten før flyting inntrer, og etterpå skal det omtrent ingen økning til for å frambringe brudd. Dette skyldes at metalliske glass ikke inneholder dislokasjoner, hvilket medfører en enorm strekkfasthet. Det ses videre at flyting ved lave temperaturer er meget jevn, mens den blir mer «sagtakket» ved høyere temperaturer. Flyting inntrer når spenningene i materialet er blitt så store at lokal ordning oppstår og de første «dislokasjonene» blir dannet. Disse mangfoldiggjør seg i løpet av kort tid, og vil ved flyting ha et antall av 10^8 til 10^{12} pr. cm^3 . Ved de høye temperaturer i figur 1 flyter materialet heterogent. Materialet flyter litt for så å fastne, og deretter må strekket økes før et nytt flytesteg inntrer.

Metalliske glass oppviser ekstremt høy hardhet, H ~1100 kg/mm^2 for $Fe_{80}B_{20}$. Metalliske glass oppviser ingen statisk utmatting slik som silikat glass. På grunn av deres høye elastisitet, vil metalliske glass tåle et eksepsjonelt høyt antall spenningssykler ved høy belasting, men for midlere spenning er utmattingslevetiden noe mindre enn for tilsvarende krystallinske materialer.

III. Elektroniske egenskaper.

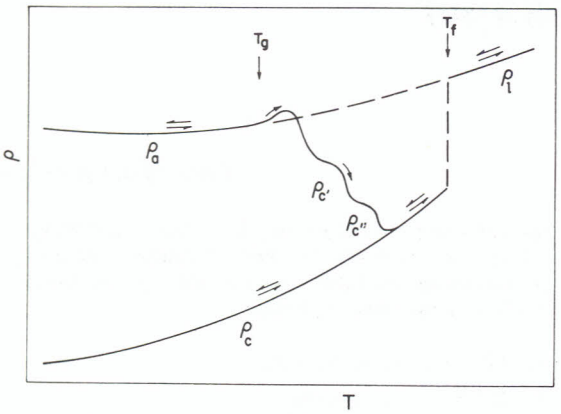
A. Elektrisk ledningsevne.

Den elektriske ledningsevne, og da spesielt de supraledende egenskaper til amorfe metaller og legeringer har vært studert i detalj siden 1954. Buckel [2] påviste da at amorfe metaller framstilt ved fordampning på underlag avkjølt til flytende helium temperatur viser særdeles interessante supraledende egenskaper. Man observerer for eksempel en sterk økning av overgangstemperaturen i mange amorfe materialer sammenlignet med de tilsvarende krystallinske materialer på grunn av den sterke elektron-fonon vekselvirkningen i de amorfe stoffene. Dette er forårsaket av en forandring i fononspektret som medfører en økning av overgangs-



Figur 1. Strekk-spenningskurver for $Pd_{77.8}Si_{16}Cu_6$ glass (Ref. 1).

*) Institutt for Fysikalsk Metallurgi, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim



Figur 2. Variasjon av den elektriske motstand ρ i en del legeringer for væsketilstanden (ρ_l), krystallinsk likevekt (ρ_c), i amorf tilstand (ρ_a) og under krystallisasjonsprosessen ($\rho_{c'}$, $\rho_{c''}$).

temperaturen. Som eksempel kan nevnes at krystallinsk Be har en overgangstemperatur på 26 mK, mens overgangstemperaturen for amorf Be er hele 8K. Krystallinsk Bi oppviser ikke supraledning, mens amorfe filmer av Bi er supraledende under 6K, hvilket må sies å være en dramatisk økning av overgangstemperaturen i begge tilfeller.

Den normale motstanden til amorfe rene metaller og legeringer er nokså stor, ofte større enn 100 μ Ω cm ved romtemperatur, og skiller seg selv ved lave temperaturer relativt lite fra motstanden i den tilsvarende smelte. Dette viser at motstanden domineres av spredning av elektronene fra de uordnede atomene; elektronfonon bidraget er av mindre betydning. Temperaturkoeffisienten for den elektriske motstand er liten i de fleste metalliske glass, og i en rekke glass er den negativ over et vidt temperaturområde. Man finner to kategorier legeringer med negativ temperaturkoeffisient. I noen legeringer minsker motstanden monotont inntil krystallisasjon inntreffer, eksempel på dette finner man i Pt-Ni-P glass, andre glass slik som Pd-Fe-Si glass har et motstands minimum ved en temperatur under krystallisasjonstemperaturen. Det ble foreslått at dette minimum var en Kondo effekt. Senere målinger har vist at effekten ikke påvirkes av magnetiske felt, et motstandsminimum er dessuten også blitt funnet i ikke-magnetiske glass. Dette betyr at minimumet ikke er forårsaket av en ordinær Kondo-effekt, men utelukker ikke at det kan være forårsaket av elektron spredning fra atomer med flere *ekvivalente* posisjoner. Motstandsminimumet er i denne modellen en direkte konsekvens av den strukturelle uorden i disse legeringer.

Når et metallglass oppvarmes til så høy temperatur at krystallisasjon inntrer, observerer man som oftest først en liten, men skarp økning av motstanden etterfulgt av en irreversibel minskning slik som vist i figur 2. Økning ved begynnelsen av krystallisasjonsprosessen henger sannsynligvis sammen med at mikrokrystallitter dannes. Disse vil først opptre som ekstra spredningssentra og motstanden øker først, ved kornvekst forsvinner denne spredningsmekanismen, og motstanden minsker til den krystallinske verdi slik som vist i figur 2.

Temperaturfølsomheten til vanlige metalliske motstandtermometer minsker sterkt under 70 K, og de er helt ubrukbare når T går mot lave temperaturer. Ti-Be-Zr baserte metalliske glass har en stor negativ, og nesten konstant temperaturkoeffisient over hele intervallet 1-300 K, og disse vil derfor egne seg godt som termometer over et bredt temperaturintervall [3].

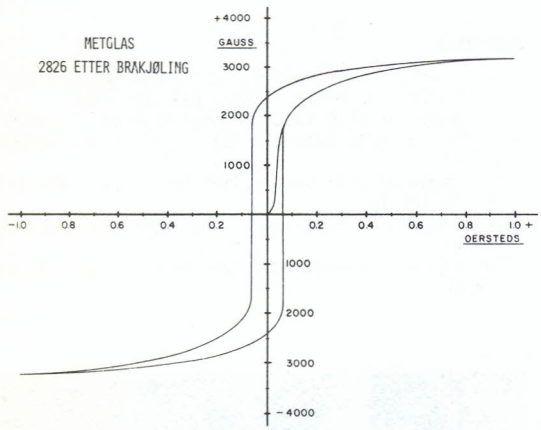
B. Optiske egenskaper og fotoemisjonsstudier.

De optiske egenskapene til metalliske glass har bare vært studert for tynne filmer fordampet på substrater avkjølt til flytende helium temperatur. Uordningen av gitteret har en dramatisk effekt på de strukturer i det optiske spektret som er nøye knyttet sammen med orden over lange avstander i gitteret. Et eksempel på dette finner man hos metallene aluminium og gallium. Det optiske spektret hos disse er karakterisert av et enormt sterk absorpsjons maximum ved 1.55 eV i aluminium, og 2.2 eV i gallium. Dette er en såkalt parallell band topp, og den forsvinner helt i amorft gallium [4]. Aluminium har bare vært framstilt i mikrokrystallinsk form (korndiameter ~50Å), men selv da forsvinner parallell band toppen i aluminium [5]. Som kontrast til disse fri-elektron metallene har man metaller der den optiske absorpsjon er dominert av d-bandet. Den relativt høye lokalisering av d-elektronene gjør at disse er mye mindre følsomme for uorden i gitteret. De fleste metalliske glass framstilt ved bråkjøling fra væskefasen inneholder overgangsmetaller. Hittil har ingen optiske studier av de elektroniske egenskapene til disse vært foretatt, men man forventer at forskjellen mellom krystallinske og amorfe spektra vil være liten. Som et eksempel for å underbygge dette kan nevnes at det optiske spektret til smeltet kopper skiller seg relativt lite fra fast kopper like under smeltepunktet.

Røntgen og UV fotoemisjonsmålinger av Pd-Cu-Si metalliske glass har vært foretatt av Nagel og medarbeidere [6]. De finner nesten identiske spektra for fotoemisjon fra 3-d nivåene i rent palladium, i krystallinske Pd-Cu-Si legeringer og amorfe Pd-Cu-Si legeringer. Konklusjon de dro fra disse målingene var at sterke kjemiske bindinger ikke var involvert i stabiliseringen av metalliske glass.

C. Magnetiske egenskaper.

De metalliske glass viser alle typer magnetisme alt etter legeringssammensetningen. De mest interessante i denne sammenheng er de ferromagnetiske. Det viser seg nemlig at de ferromagnetiske metalliske glass er ekstremt bløte ferromagneter



Figur 3. Hysteresekurve for Metglas 2826 ($Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$).

samtidig som de oppviser høy permeabilitet og stor mekaniske styrke. (Se figur 3.) Dette betyr at glassene kan ommagnetiseres uten nevneverdig energitap. Man kan nok lage krystallinske materialer med omtrent tilsvarende magnetiske egenskaper, men disse har dårlige mekaniske egenskaper og er dessuten dyre å framstille. Ommagnetiseringen er i visse metalliske glass lettere enn i noen andre kjente materialer, og dette åpner opp for en rekke interessante anvendelsesmuligheter. Det lave hysteresetap i glassene henger sannsynligvis sammen med deres homogene struktur. Dette fører til at det er få steder hvor domenevegger kan få feste, og vi får liten eller ingen motstand mot en bevegelse av domeneveggene. Det bør her også nevnes at permeabiliteten ikke forringes ved plastisk deformasjon slik som i visse krystallinske materialer. Ferromagnetiske metalliske glass egner seg derfor utmerket for skjermings formål, og et kommersielt produkt for dette formål er i dag tilgjengelig på markedet. Dette er en Fe-Ni-P-B legering med en permeabilitet på 65000.

IV. Korrosjonsegenskaper.

Korrosjonsegenskapene til visse metalliske glass har også blitt gjenstand for stor oppmerksomhet. Det viser seg nemlig at glass på Fe-Cr-P-C og Fe-Cr-Ni-P-C basis er mye mer motstandsdyktige mot våtkorrosjon enn tilsvarende krystallinske materialer. Man har for eksempel studert «pitting» korrosjonen i disse ved å holde dem neddykket i 1N NaCl i 168 timer [7].

Det amorfe materialet viste ikke noe målbart vekttap for et krominnhold over 8 at%, mens det samme materialet etter krystallisasjon viste et vekttap som tilsvarer en korrosjonshastighet på 0.6 mm/år. Flere lignende forsøk viser at metallinske glass vanligvis er mer korrosjonsresistente i aggressive miljøer enn de tilsvarende krystallinske materialer. Av flere årsaker er krystallinske materialer spesielt utsatt for angrep langs korngrensene, og mangelen på slike i amorf tilstand er en av årsakene til resistensen. Videre vil de metalliske Fe-baserte glass ofte ha en ytre film bestående av $FeO_x(OH)_y$, bundet vann og litt oksydert fosfor. Så snart de kommer i et surt miljø viser ESCA studier at $FeO_x(OH)_y$-filmen blir løst opp og erstattet av en film bestående av $CrO_x(OH)_y$, og denne er meget motstandsdyktig mot korrosjonsangrep.

V. Teknologisk anvendelse.

Hvorfor vies så metalliske glass så stor oppmerksomhet i USA og Japan i dag? Her er det to faktorer som kommer inn. Når det gjelder **enkelte** fysikalske egenskaper så kan disse ofte gjøres like gode i krystallinske materialer, men da på bekostning av andre egenskaper. Det som gjør metalliske glass spesielt attraktive er at de viser *kombinasjoner av mange positive egenskaper samtidig,* og dette kan ikke kopieres av krystallinske materialer. Man kan for eksempel lage krystallinsk tråd av stål med en strekkfasthet på opptil 500 kg/mm^2 , men denne er dyr å framstille og dessuten svært sprø.

Siden formingen av de metalliske glass skjer i væsketilstand trengs ikke tungt utstyr. Man sparer ca. 80% i energi i framstilling sammenlignet med framstillingen av tilsvarende dimensjon av ståltråd produsert ad konvensjonell vei. En forskergruppe i Japan tror at produksjonsomkostningene kan reduseres til 20% av omkostningene for framstilling av tilsvarende dimensjoner av ståltråd på vanlig måte. Metalliske glass vil derfor være spesielt tiltrekkende på grunn av sitt utmerkede kost/effektivitetsforhold.

Hvilke planer foreligger så i dag i utenlandsk industri for å utnytte mulighetene til metalliske glass? I Europa er ICI, British Steel, Tube Investments og Sandviken AB alle interesserte i å ta opp produksjon. Allied Chemical Corporation produserer i dag filamenter av metallisk glass. Den store styrke kombinert med seighet gjør at Allied Chemical har planer om å bruke metallisk glass som cord i bildekk, i transportbånd og i høytrykksrør. Den store hårdhet gjør at metallisk glass kan brukes til skjæreverktøy, i form som for eksempel barberbladet Gilette GII.

De magnetiske egenskapene til metalliske glass åpner også en rekke interessante perspektiver. På grunn av stor permeabilitet og lite hysteresetap er de godt egnet til miniatyrtransformatorer, til mikrofoner og båndopptakerhoder. Den firkantede form på magnetiseringskurven og det lave hysteresetap gjør at de kan benyttes til bistabile brytere og i magnetiske hukommelser.

Den elektriske motstand for en del metalliske glass er omtrent den samme som i vanlige motstandslegeringer slik som Nichrome. Metallisk glass kan derfor brukes som elektrisk motstand i lavtemperatur oppvarming.

Korrosjonsresistensen er også av interesse. Skal denne egenskap utnyttes helt forutsettes dog at man kan gå over til å produsere metallisk glass i store

bredder, men allerede i dag kan man tenke seg å utnytte korrosjonsresistensen i visse kabler i for eksempel sjøvann. En annen interessant utvikling her er den tidligere omtalte laser glasurteknikken. Denne kan forhåpentligvis gjøre det mulig å belegge metalliske materialer med korrosjonsresistente amorfe belegg. Den seneste utvikling på dette felt er så lovende at det er viktig at Norge deltar i forskning på dette feltet slik at man har forutsetning for å bedømme den utvikling som skjer i utlandet. Samtidig er feltet i dag så åpent at går man inn på et tidlig tidspunkt kan Norge bidra til utviklingen på området.

Referanser

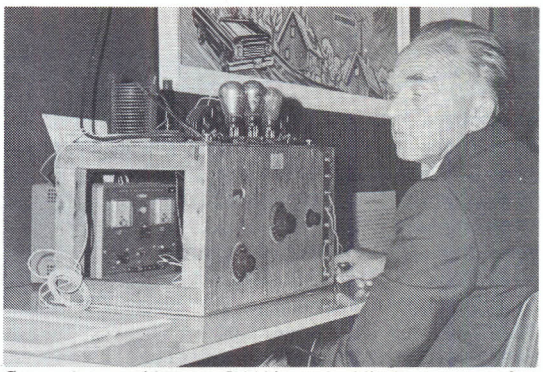
1. C.A. Pampillo og H.S. Chen. Mat. Sci. Eng. **13,** 181 (1974).
2. W. Buckel og R. Hilsch, Z. Phys. **138,** 109 (1954).
3. R. Hasegawa og L.E. Tanner, J. Appl. Phys. **48,** 3211 (1977).
4. O. Hunderi og R. Ryberg, J. Phys. F: Metal Phys. **4,** 2096 (1974).
5. L.G. Bernland, O. Hunderi og H.P. Meyers, Phys. Rev. Lett. **31,** 363 (1973).
6. S.R. Nagel, G.B. Fisher og J. Tauc, Phys. Rev. **B13,** 3284 (1976).
7. M. Naka, K. Hashimoto og T. Masamuto, Corrosion **32,** 146 (1976).

NRRL 50 år

Norsk Radio Relæ Liga (NRRL) fylte 50 år i høst. Foreningen ble stiftet etter mønster av den amerikanske ARRL av eksperimenterende norske radioamatører i 1928. Teknisk interesserte og fingerferdige folk hadde allerede i mange år bygd seg både mottakere og sendere og prøvd seg på radioforbindelser på kortbølge. Dette var et bølgebånd som til dels var oversett eller kastet vrak på av de kommersielle selskapene, men radioamatørene kunne etterhvert vise til forbausende langdistanse kontakter oppnådd med ganske liten effekt. Det viste seg at dette skyldtes refleksjoner i ioniserte lag i atmosfæren, flere hundre kilometer over jordoverflaten. Resultatene vakte stor oppmerksomhet, og det ble f.eks. etterhvert en sport å få flest mulig kontakter med flest mulig verdensdeler med de tildels primitive apparatene som fantes den gangnen.

Den tekniske utviklingen som radioamatørene i begynnelsen hadde gitt opptakten til, ble etterhvert overtatt av de kommersielle firmaene, og det ble så mye trafikk på disse båndene at radioamatørene måtte forene seg for å forsvare sine interesser og danne klubber for å dyrke sin hobby. Nasjonale foreninger oppsto i de fleste vestlige land, og de sluttet seg igjen sammen i et verdensomspennende selskap, IARU. Store internasjonale konferanser ble holdt for å tildele forskjellig trafikk bestemte frekvensområder. Radioamatørene kunne vise til sitt pionerarbeid, ble respektert og fikk seg tildelt de såkalte amatørbånd på 10, 20, 40 og 80 meter. De fleste med gode kortbølgemottakere har vel av og til sveipet bortom disse båndene og hørt amatører prate radioteknikk. De siste åra er det forresten blitt ganske vanskelig å få noe ut av talen på disse båndene med vanlig mottakere pga. den nye modulasjonsteknikken som er gjennomført, såkalt «single side band», SSB.

I anledning av jubileet arrangerer Teknisk Museum i Oslo en spesialutstilling som viser utviklingen av radioamatørutstyret fra den første stasjon LA1A fram til våre dagers transistorutstyr. Tyskernes konfiskering og ødeleggelse av utstyr under krigen har forårsaket hull i samlingen, men det er mye interessant å se. For en fysiker er det moro å se en autentisk modell av H. Hertz enkle utstyr som han brukte for å påvise de elektromagnetiske svingninger. Det ble først fart over sakene etter at radiorøret ble tatt i bruk og en kunne lage oscillatorer og forsterkere. Avstemte kretser hadde ført til forbedringer på de første gnistsendere som G. Marconi fant opp, men radiorøret var en forutsetning for at tale og musikk kunne bli overført trådløst. De såkalte rettmottakere med mange kretser som måtte avstemmes for hånd, ble utkonkurrert av superheterodynene («superne») som også er det prinsippet de fleste mottakere er bygd etter i våre dager. Derved var det mulig å redusere antall variable kretser, og utstyret ble mer stabilt og lettere å betjene. De siste trinn i utviklingen representerer de krystallstyrte dobbelsupere med spesialfiltre for å skille stasjoner fra hverandre. Disse er ofte kombinerte mottakere og sendere der mange av kretsene blir brukt både under mottaking og sending («transceivere»). Når så disse lages med transistorer og minikomponenter som pakkes tett sammen, blir utstyret lite. Før hadde gjerne en amatør utstyr som fylte et helt rom, nå kan han klare seg med et hjørne i stua.



Gammel og ny tid møtes. LA1A's sender blir demonstrert på utstillingen i Norges Tekniske Museum sommeren 1978.

Før var det vanlig at en radioamatør satte sin ære i å ha bygd alt utstyret sitt sjøl, særlig da senderen. Kravene til frekvensstabilitet og høy kvalitet på ut-

(Forts side 95)

Baryonium, to nukleoner, fire kvarker eller...

F. Myhrer)*

1. *Hva er baryonium.*

I de siste år har interessen for antiproton ($\bar{p}$)-proton (p) spredning ved lave energier vært økende. Teoretiske betraktninger av I. S. Shapiro et al. 1) påpekte allerede i 1969 muligheten av å danne kvasistasjonære tilstander av et nukleon (N) og et antinukleon ($\bar{N}$) analogt til positronium som består av e^+ og e^- i bundne tilstander. De duale kvarkmodellene krever også at $N\bar{N}$-lignende tilstander skal eksistere. De sistnevnte skulle bestå av 2 kvarker og 2 antikvarker 2). Etter G. Chew's foredrag på $N\bar{N}$ møtet i Stockholm 3) ble det for alvor fart i denne utviklingen. Men en vesentlig grunn til interessen for $N\bar{N}$ tilstandene, kalt baryonium, er at minst en av disse ser ut til å være observert eksperimentelt. En av disse $N\bar{N}$ tilstandene har blitt sett i tre forskjellige eksperimenter ved ca. 60 MeV$\bar{p}$ kinetisk energi dvs. $N\bar{N}$ resonansens masse er på 1.94 GeV 4)[x], og dens halvverdibredde er $\Gamma \lesssim 4$ MeV,*) se fig. 1. Denne tunge «partiklen» er således usedvanlig langlivet når en sammenligner med vanlige mesoner med samme masse. Hva som videre gjør det meget interessant er at Γ(elastisk)/Γ(total) er av størrelsesorden 50%, dvs. henfallet av resonansen er vesentlig til nukleon og antinukleon kanalen. Normalt venter en at $N\bar{N}$-resonansen annihilerer til mesoner p.g.a. den eksperimentelt bestemt tverrsnittsrelasjonen σ (annihilasjon) $\simeq 2 \times \sigma$ (elastisk), og fordi mesonene er meget lettere enn nukleonene så de har et større faserom å bevege seg i. Derfor må det være noe spesielt som forhindrer at denne tilstanden henfaller til mesoner. Mange andre kandidater for $N\bar{N}$ lignende tilstander har blitt sett 5), men det følgende vil kun være en kort beskrivelse av hva de teoretiske spekulasjonene går ut på og vi vil påpeke teoretiske problemer.

*) $\Gamma \lesssim 4$ MeV tilsvarer en levetid på 10^{-22} sek.
x) 1 GeV = 10^3 MeV = 10^9 eV.

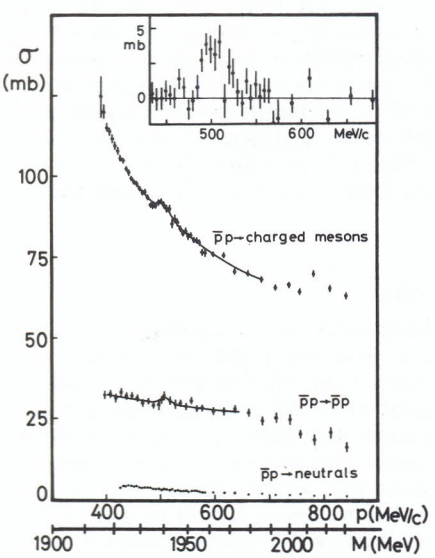


Fig. 1: Data fra ref. 4 (Brückner et al.)

**) NORDITA*

2. *Nukleon-Nukleon potensialet.*

Shapiro et al. 1) brukte det kjente NN potensialet med bosonutvekslinger (OBEP)*) til å generere et (nesten) parameterfritt $N\bar{N}$ potensial. OBEP er i det vesentlige en sum av pion, skalar σ-meson og ω-meson utveksling. Det skalare σ-mesonet simulerer en utveksling av to pioner med totalt angulært moment lik null som beregnes via dispersjonsteori for πN og $\pi\pi$. I OBEP har ω-mesonet en meget stor kopling til nukleonene med typisk koplingskonstant $G_\omega^2/4\pi \sim 10$—12. Dette er et resultat av at i OBEP beskriver ω en effektiv utveksling som ifølge ref. 6 består av diagrammene 2a og 2b i fig. 2. Av denne grunn mener forfatterne av ref. 6 en kan forstå hvorfor ωNN koplingen er så meget større i OBEP enn hva en forventer fra den «kjente» ρNN koplingen som via gruppeteoretiske betraktninger (SU(6)) gir $G_\omega^2/4\pi \sim 4{,}5$.

Den store ωNN koplingen i OBEP er nødvendig for å beskrive de eksperimentelle NN faseforskyvningene. Disse krever en frastøtning ved ca. 1 fm[x]), så selv om ω-utvekslingen har kort rekkevidde

*) OBEP = One boson-exchange potential
x) 1 fm = 10^{-15} m. Her benyttes de naturlige enheter $\hbar = c = 1$.

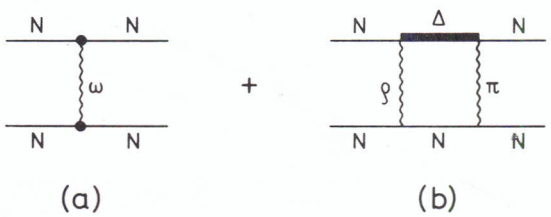


Fig. 2: Nukleon-nukleon utvekslings diagram. I 2a utveksles et ω-meson og i b et ρ - og et π-meson med en eksitasjon til en Δ-resonans i mellomtilstanden.

($m_\omega^{-1} \sim m_N^{-1} \sim 0.2$ fm)[x]) er koplingen så sterk at ω-utvekslingen virker helt ut til 1 fm.

3. *Nukleon-Antinukleon Potensialet.*

Ved hjelp av invarians-betraktninger (G = paritet = ladningskonjugering ganger isospinrotasjon) kan dette potensialet overføres til et potensial for $N\bar{N}$ for store relative avstander ($r \gtrsim 1$ fm) som bortsett fra en vilkårlig konvergens («cut-off») prosedyre ved korte distanser er parameterfritt. Når vi går fra NN til $N\bar{N}$ OBEP brukes følgende regel: π og ω-mesonene har begge odde G-paritet og gir hvert et potensial med motsatt fortegn for NN og $N\bar{N}$, mens σ-mesonet har like G-paritet og forblir attraktivt både i NN og $N\bar{N}$ systemene. Siden ω-mesonet genererer en sterk kraft mellom de to nukleoner (NN) betyr dette at ω-utvekslingsdelen av OBEP blir attraktiv i $N\bar{N}$systemet. Generelt er OBEP for $N\bar{N}$ meget mer attraktivt enn OBEP for NN, som kun er dypt nok til å binde deuteronet. Dessuten p.g.a. de sterke spin-bane ($L \cdot S$) kreftene i OBEP for $N\bar{N}$ forventer vi mange $N\bar{N}$ bundne tilstander og lav-energi resonanser. Det må her understrekes at de tilstandene som fremkommer er potensial-tilstander bestående av et nukleon og et antinukleon og tilstandene har en radius på ca. 1 fm. Denne potensial-beskrivelse av baryonium kan derfor kun være rimelig nær $N\bar{N}$ terskelen (totalenergien = $2\,m_N$ = 1.88 GeV) hvor relativistiske effekter er små. Resultatet av en beregning av $N\bar{N}$ tilstander med et OBEP er tegnet opp i fig. 3 som såkalte Regge trajektorier (kun isospin null) hvor det totale spin J er ordinat.

4. *Baryonium fra Kvarkmodeller*

Også i de duale kvark modellene hvor baryonium antas å bestå av i) 2 kvarker og 2 antikvarker ($qq\bar{q}\bar{q}$), ii) en kvark og en antikvark ($q\bar{q}$) eller iii) en gluonball 7), finner en ved generelle argumenter Regge-trajektorier (her tegnes rette linjer). Den ledende trajektorie fra disse modellene er tegnet inn i fig. 3. Som en ser fra figuren sammenfaller trajektoriene fra de to teoriene ved masser på ca. 2 GeV. Siden det ikke er plass til å gå inn på de duale kvark-

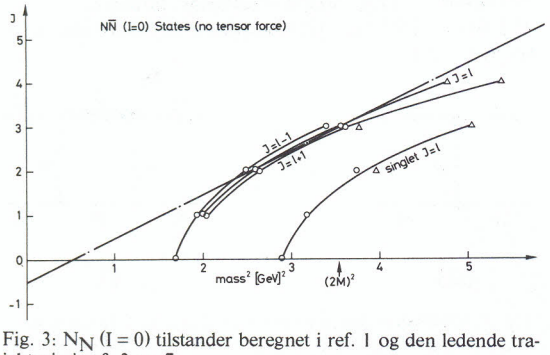


Fig. 3: N_N (I = 0) tilstander beregnet i ref. 1 og den ledende trajektorie i ref. 3 og 7.

teorier her henvises det til litteraturen 7). I denne forbindelse skal det bare understrekes at de duale modellene gir degenererte trajektorier, mens potensial-modellene generelt gir forskjellige trajektorier for isospin 0 og 1 p.g.a. π-meson utvekslingen.

5. *Annihilasjon, det store ukjente.*

Men hva med annihilasjon? Vi vet at $N\bar{N}$ annihilerer meget lett til mesoner. Som tidligere sagt er $\sigma(\text{ann.}) \simeq 2\sigma(\text{el.})$, som er sammenlignbart med spredning fra en svart kule hvor $\sigma(\text{absorpsjon}) = \sigma(\text{elastisk})$. Hvordan forklares denne sterke annihilasjonen og hvordan påvirkes $N\bar{N}$ tilstandene av den? Kun meget enkle modeller for annihilasjonen eksisterer, se 8) for referenser. Rekkevidden av annihilasjonskreftene ventes å være meget kort ($(2m_N)^{-1} \simeq 0.1$ fm), men igjen p.g.a. meget sterk kopling finner en at i gjennomsnitt må annihilasjonskreftene være virksomme fra 0,6 fm til 1 fm for å beskrive data. De $N\bar{N}$ tilstandene vi diskuterte tidligere har en radius på ca. 1 fm, men hvis annihilasjonen er virksom ved 0,6 til 1 fm vil denne ødelegge alle disse tilstandene. Spørsmålet er da om annihilasjonsmodellene som er brukt hittil er altfor enkle. Dette er sannsynlig, men de $N\bar{N}$ spredningsdata som eksisterer i dag er ikke gode nok til å skille mellom mer avanserte annihilasjonsmodeller. I de duale kvarkmodeller tales det om en ny utvalgsregel (Zweig-regel) 7). Shapiro et al. 1), Jaffe eller Chan Hong-Mo og Høgaasen 9) antar at $N\bar{N}$ eller $q\bar{q}$ og qq har et høyt relativt dreiemoment, L, som forhindrer at disse baryonium tilstandene henfaller til vanlige mesoner ($q\bar{q}$). Men hvor stor må L være for at dette skal være realistisk? En pekpinn om størrelsen på dreiemomentets størrelse kan en få fra potensial-modellen. Skal $p\bar{p}$ resonansen ved 1.94 GeV i masse være en $N\bar{N}$ potensial tilstand må L være lik 2 for å kunne forstå en elastisk bredde $\Gamma \sim 4$ MeV og da neglisjerer vi annihilasjonens bidrag til Γ. Men er $L \simeq 2$ stort nok til å forhindre annihilasjon? Dette spørsmål er hittil ubesvart.

6. *Epilog*

Heldigvis er annihilasjonskreftene så ukjente at en kan tillate seg å spekulere og håpe at noen av $N\bar{N}$ tilstandene vil overleve. Både ved CERN og Brookhaven er det flere eksperimenter der en leter etter disse tilstandene og eventuelt bestemme deres kvantetall. Det morsomme er at mange av de tilstandene som kreves av de duale kvark-teoriene rundt $N\bar{N}$ terskelen, kan til en viss grad beskrives av god gammeldags potensialteori. Men det er opp til eksperimentatorene å endelig avgjøre om det virkelig er noe reell fysikk eller ikke i disse teoretiske spekulasjonene.

Referenser:

1) 1) O.D. Dalkarov, V.B. Mandelzweig and I.S. Shapiro; JETP Lett. **10,** 257 (1967), Nucl. Phys. **B21,** 88, (1970); I.S. Shapiro, Sov. Phys. Usp. **16,** 173 (1973); L.N. Bogdanova et al., Ann. Phys. **84,** 261 (1974).
2) J.L. Rosner, Phys. Rev. Lett. **21,** 950 (1968).
3) G.F. Chew, in Proc. 3rd European Symposium on $N\bar{N}$ Interactions, Stockholm, July 1976 (eds. G. Ekspang and S. Nilsson) (Pergamon Press, New York, 1977) p. 515.
4) A.S. Carrol et al., Phys. Rev. Lett. **32,** 247 (1974). V. Chalouplea et al., Phys. Lett. **61b,** 487 (1976). W. Brückner et al., Phys. Lett. **67B,** 222 (1977).
5) L. Montanet, in Proc. 5th International Conference on Experimental Meson Spectroscopy, Boston 1977.
6) J.W. Durso et al., Nucl. Phys. **A278,** (1977) 445.
7) G.C. Rossi and G. Veneziano, Nucl. Phys. **B123,** 507, (1977).
8) F. Myhrer, preprint CERN TH-2348, Invited talk at the 2nd International Conference on Nucleon-Nucleon Interactions, Vancouver, June 1977. To be published in AIP-Conf.-Proceedings.
9) Chan Hong-Mo and H. Høgaasen, Phys. Lett. **72B,** 121 (1977). R.L. Jaffe, Phys. Rev. **D17,** 1444 (1978).

«Nordic Spring Symposium on Atomic Inner Shell Phenomena» på Geilo i april 1978.

Konferansen «Nordic Spring Symposium on Atomic Inner Shell Phenomena» ble avholdt i tiden 17.-21. april 1978 på Geilo Sportell. Oppslutningen om symposiet var en klar indikasjon på det sterke behovet for et slikt møte. Det deltok i alt 61 fysikere fra 11 forskjellige land, hovedtyngden fra de skandinaviske.

Under møtet ble det holdt 30 foredrag samt oppsummering og konklusjon. Av foredragene ble 17 gitt av personer knyttet til skandinaviske institusjoner. Av de resterende foredragsholdere var tre fra U.S.A, én fra USSR, én fra Storbritannia, to fra Vest-Tyskland, én fra Sveits, én fra Frankrike og én fra Nederland. Det ble dessuten holdt flere uformelle gruppesesjoner og en «poster session».

Både i foredrag og diskusjoner ble det søkt å belyse flest mulige aspekter ved de prosesser som innbefatter de indre elektronskall. Vekselspillet mellom de sterkest bundne elektroner og de forskjellige kjernefysiske, atomære og molekylære fenomener er et meget omfattende felt. I en viss forstand har man her for seg en brodannelse mellom flere områder innen meget aktuell fysikk. Symposiet bød på en sjelden anledning for spesialister fra de forskjellige felter til å komme sammen og utveksle informasjon og erfaring.

Det er grunn til å karakterisere møtet som vellykket. En indikasjon på dette er at symposiedeltagerne i plenum anbefalte utgitt kongressens forhandlinger. Man regnet på denne måten med å samle adskillig verdifull informasjon og referansemateriale som ellers lett ville bli vanskelig tilgjengelig. I løpet av senhøsten 1978 vil derfor følgende bokverk bli utsendt:

Notes from the
Nordic Spring Symposium on
Atomic Inner Shell Phenomena
Geilo, Norway 1978.
Volume I: Extended Résumés
Volume II: Lecture Notes.
Department of Physics, University of Bergen, Norway.

Fra flere hold er det blitt understreket betydningen av denne type skandinaviske møter, hvor man tar for seg aktuelle grenseområder mellom flere spesialgrener innen fysikken. De positive erfaringer fra Geilosymposiet 1978 tilsier at lignende symposier fra nå av bør arrangeres med jevne mellomrom i ett av de nordiske land.

Johannes M. Hansteen

(fortsatt fra side 92)

sendingene for ikke å forstyrre andre radiotjenester har likevel ført til at amatørene nå vesentlig bruker topptrimmet fabrikknytt utstyr. Men de som likevel ønsker å bygge utstyret sitt, har full anledning til å skaffe seg byggesett av forskjellig vanskelighetsgrad. Det ferdige apparatet kan fullt ut måle seg med de som kan kjøpes ferdig. Men det er ennå mange områder der en amatør kan eksperimentere, både teknisk og ved å forsøke seg på forskjellig typer samband. Mange har hatt moro med å forsøke forskjellige antenner. De karakteristiske TV-antennene med retningseffekt var det forresten en japansk radioamatør ved navn Yagi som fant på. Slike antenner både i større og mindre utførelser brukes for kortbølgesamband.

I de siste åra er det også blitt populært å forsøke seg på satelittsamband. Det fins nå flere satelitter med navnene «Oscar» for amatørbruk. De er sendt opp som ekstralast i forbindelse med andre satelittoppskytinger. Disse satelittene tar imot svake meterbølgesignaler, forsterker og videresender dem. På denne måten kan meterbølgene (2m eller 70cm) også nyttes til interkontinentalt samband. Mange amatører eksperimenterer med forskjellige retningsantenner som ved enkle drivenheter kan følge satelittene når de passerer over landet.

Foruten å gi avløp for trang til fysiske eksperimenter gir hobbyen hundrevis av handicappede anledning til kontakt og adspredelse i en ellers isolert tilværelse. Et bestemt fond oppkalt etter LA5LG finansierer innkjøp av stasjoner og opplæring slik at blinde, lamme og andre funksjonshemmede kan «komme på lufta».

Det er vel mange fysikere som har fått sin interesse for fysikk vakt ved å eksperimentere med radio eller elektronikk av forskjellig slag. Radioklubbene

(fortsettes side 77)

KVELDSKURS I SKOLEFYSIKK

FYS 010 - Apparater i fysikkundervisningen - et brukerkurs.

Kurset er myntet på lærere i både grunnskole og videregående skole, som har minst 2 års praksis som fysikklærere. Kurset blir satt i gang hvis et tilstrekkelig antall melder seg.

Kurset holdes hver mandag kl. 16-20, første gang mandag 15. januar 1979 og strekker seg over 15 ganger. Deltakere som er immatrikulerte får 3 vekttall for godkjent gjennomføring av kurset, andre får et tilsvarende vitnemål. Kurset er eksamensfritt.

Skriv til FYSISK INSTITUTT, Postboks 1048, Blindern, Oslo 3 eller telefoner 02-46 68 00, linje 9423 og be om å få tilsendt opplysninger.

Påmeldingsfrist 15. desember 1978.

Teorikursene FYS 001 og FYS 002 - Allmenn fysikk I og II.

Undervisning i FYS 001 vil starte høsten 1979 og strekke seg over to semestre, mens FYS 002 starter høsten 1980. Nærmere opplysninger om kurset og påmeldingsfrist vil komme i egen utlysning til våren.

NYE MEDLEMMER 4/9 1978

Cand. real. Hans H. Grelland, Kjemisk Institutt, Blindern.

Siviling. Erling Ildstad, Inst. for Høyspenningsteknologi, NTH, Trondheim.

Cand.real. Knut Are Mjaavatten, Forskningssenteret, Norsk Hydro a.s., Porsgrunn.

Studentmedlem
Cand.mag. Rolf Åsbø, Fysisk Institutt, Blindern.

NFS FORSØKER Å HJELPE RUSSISK FORSKER

Formannen i Norsk Fysisk Selskap har 14. september vendt seg til rektor Anatoly Logunov ved Moskva Universitetet og bedt ham om å gripe inn og hjelpe Irina Brailovskaya og hennes familie til å få utreisetillatelse til Israel. I årene 1958-1972 arbeidet hun ved regnesentret ved Universitetet, men ble oppsagt etter at hun ba om visum for å kunne emigrere til Israel. Myndighetene nektet å la henne reise med den begrunnelse at hun angivelig skulle være i besittelse av hemmelige opplysninger som følge av arbeidet ved regnesentret. Hun benekter selv dette. Nå er det også gått så lang tid at eventuelle hemmeligheter burde være uaktuelle.

Formannen har også sendt brev med henstilling om hjelp til presidenten i det sovjetiske vitenskapsakademi og den sovjetiske ambassadør i Norge.

J.D.Bernal Vitenskapens historie

PAX

Et verk i 4 bind om vitenskapens utvikling gjennom menneskehetens historie

- Verket omfatter i alt 1.300 sider inklusive bibliografi. I tillegg kommer en omfattende emneindeks med sidehenvisninger som øker bruksverdien betydelig.
- Verket er gjennomillustrert med tilsammen 400 tegninger, kart og fotos.
- Bøkene er gitt en stiv og slitesterk paper-innbinding med preget plastoverflate.

Bøkene kan bestilles i bokhandelen, eller direkte fra forlaget. Ved å sende inn kupongen, får du tilsendt gratis brosjyre hvor verket gis en bred presentasjon, og som kan brukes til bestilling av verket. kr. 350,-

JA! Send gratis brosjyre

Navn: _____

Adr.: _____

Sendes: Salgsavd. Pax forlag, Gøteborggt. 8, Oslo 5.

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for Atomenergi, Kjeller

KURS I DATABEHANDLING VÅREN 1979

22/1—26/1	GRUNNKURS
29/1—16/2	FORTRAN
7/5—11/5	Videregående programmeringsmetodikk i FORTRAN

Disse kursene er gratis for personell i offentlige institusjoner.

KURS I ISOTOPANVENDELSER

Mai-juni — Kurs i målemetoder for radioaktivitet. (Nøyaktig dato vil bli annonsert senere.)

ANDRE KURS

16/4—27/4 — NATO Advanced Study Institute on «Ordering in Strongly-Fluctuating Condensed-Matter Systems». (Phase transitions in the presence of strong fluctuations, new concepts of order and dynamics. Low-dimensional order in magnetic systems, at surfaces and in three-dimensional liquids and solids.)

Kurset vil bli holdt på Bardøla Høyfjellshotell, Geilo.

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

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim — NTH

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dr.philos, Tormod Riste, Inst. for Atomenergi, Keller.

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

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett, Nøytronfysikkavdelingen,
Institutt for Atomenergi, Boks 40, 2007 Kjeller.

Postgirokonto: 5 88 38 89 Bankgirokonto: 5102.20.16001

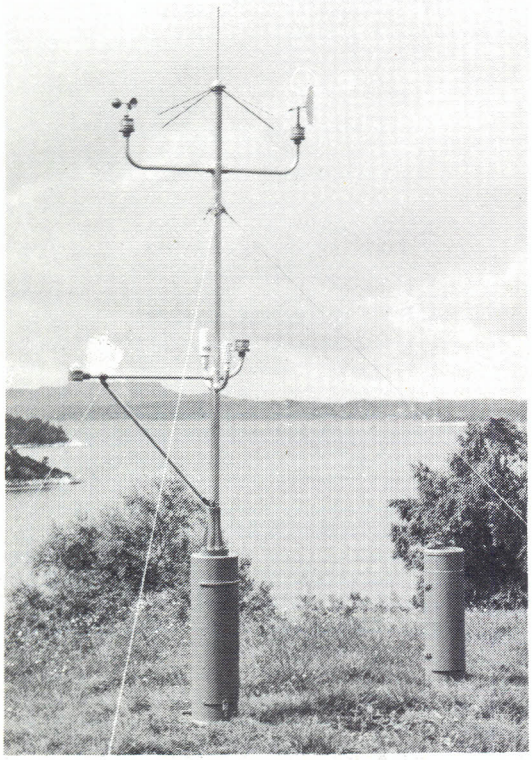
Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Forsker Olav Steinsvoll,
Institutt for Atomenergi, 2007 Kjeller.
Redaksjonssekretær:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole.
Redaksjonskomité:
Førsteamanuensis Tryggve Grotdal,
Fysisk Institutt,Universitetet i Bergen,
5014 Bergen.
Forsker Jan Myrheim,
EP Division, CERN CH-1211-Geneve 23,
Sveits.
Førstelektor Øivin Holter,
Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo,
Blindern, Oslo 3.
Lektor K. Jostein Knutsen,
Luftkrigsskolen, 7000 Trondheim.
Fagsekretær Helge Klemsdal,
Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 30.00. Årsabonnenment for studenter og skoleelever kr. 15.00.

Sekretær: Gudrun Græsmann.
Ekspedisjonens adresse: Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Trondheim,
Norges lærerhøgskole,
7000 Trondheim.

Postgirokonto: 5 10 47 24 Bankgirokonto: 8601.36.12279



AUTOMATISK VÆRSTASJON 2346

er bygget opp omkring datalogger DL-1 som har samme måleprinsipp og registrering som den velkjente Aanderaa strømmåler RCM4. Dataloggen og de flest følere har vært produsert og brukt i en årrekke til forskjellige måleprosjekter.

STRØMMÅLERE

For registrering av styrke, retning og temperatur av havstrømmer. Instrumentene kan også utstyres med følere for registrering av dybde og ledningsevne.

TEMPERATUR MÅLERE

For registrering av vertikale temperatur profiler i sjø og vann.

VANNSTANDSMÅLERE

For nøyaktig registrering av vann-nivå.

AUTOMATISKE VÆRSTASJONER

For montasje på land eller bøye.

DATALESINGSUTSTYR

For oversetting av registrerte data til EDB media.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR

Fanaveien 13, 5050 Nesttun, Tel. (05) 27 40 30, Telex 40049aan

NTH-Trykk
Trondheim