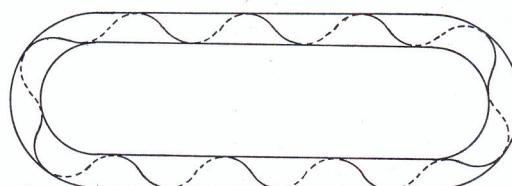
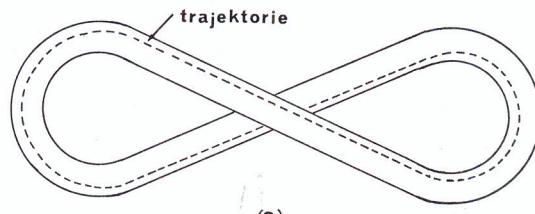


Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Norsk forskningspolitikk	41
Statisk og dynamisk plasmalikevekt	44
Internasjonale konferanser	53
Moderne fysikk-undervisning (II)	54
Årsmøtet i N.F.S. 1970	57
Fisjonsisomeri	58
Nye medlemmer 1970	62
Bøker	63

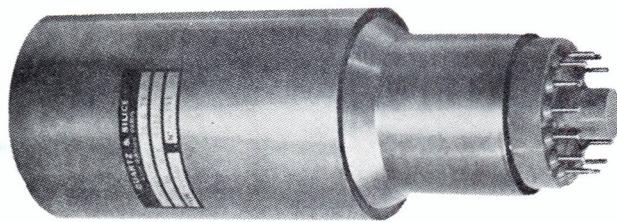


Stellerator-konfigurasjonar 8-tal og «skøytebane».

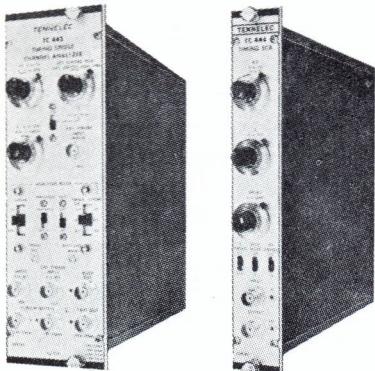
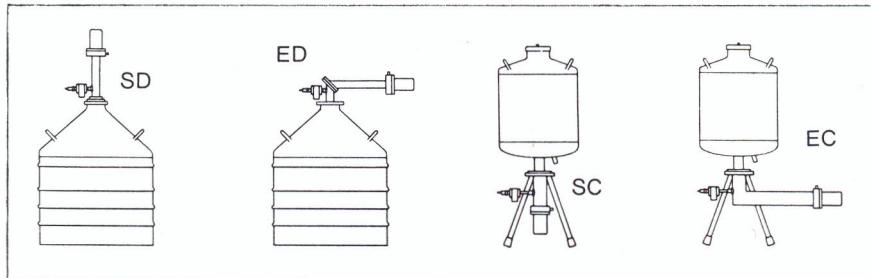
(Sjå side 44)

Nr. 3 - 1970
32. årgang

Nal (Ti) scintillation detectors fra QUARTS & SILICE

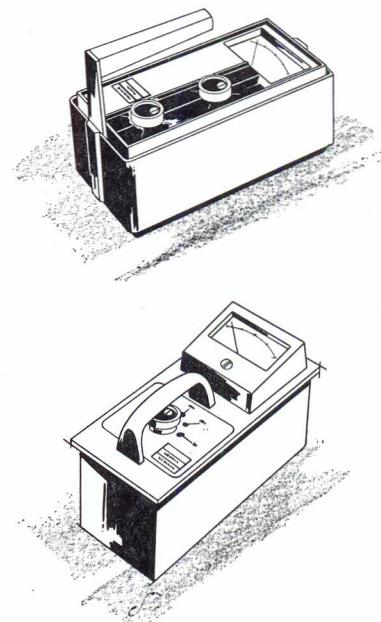


Ge (Li) drifted detectors fra PRINCETON GAMMA-TECH



Dessuten:
Pulshøydeanalytorer,
Si (Li) detektorer,
monitoreringssystemer,
scalers,
timers,
precision pulsers,
håndmåleinstrumenter
fra

**LEDENDE
NUKLEÆRLEVERANDØRER**



**Full service og veiledning
ytes ved kjøp av NUKLEÆRUTSTYR fra oss!**



RØDLAND & RELLSMO A.S.
Forskningsinstrumenter

ADR.: LØRENVN. 6, OSLO 5

TLF.: 15 03 90

TELEGRAMADRESSE: DAVINOR

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 3 - 1970

Redaktør: HAAKON OLSEN

32. årgang

Norsk forskningspolitikk

E. Fjellbirkeland

Foredrag i Norsk Fysisk Selskap,
Fysikermøte 18.6. 1970.

Finansieringsmåten for forskning ved universiteter og høgskoler.

Det faller ofte kritiske uttalelser om norsk forskningspolitikk. Ikke sjeldent etterlyses en slik forskningspolitikk ut fra en oppfatning som synes å være, at noen norsk forskningspolitikk ikke eksisterer, og at forskningens vilkår er resultatet av tilfeldigheter.

Det er selvsagt ikke riktig at det ikke eksisterer noen forskningspolitikk i Norge. Tross alt brukes det adskillige hundrer av millioner pr. år av offentlige midler til forskning og beslutningene om å stille disse midler til disposisjon, bygger på en vurdering og avveining mot andre oppgaver, — her som på andre områder.

Spørsmålet er om den forskningspolitikk vi har er en god forskningspolitikk. Om den er konsekvent og om den er dekkende for de samfunnsoppgaver som den har betydning for, f. eks.

Forskningspolitikk omfatter samspill mellom interessegrupper, institusjoner og myndigheter. Målsettingen hos disse kan være forskjellig — og hva verre er, den kan være uklar.

For å ta interessegruppene først. To venslige interessegrupper er forskerne selv og brukerne av forskningsresultater. For forskerne selv er målsettingen for en forskningspolitikk, — kanskje noe forenklet —, at de får tilstrekkelige ressurser for å arbeide med de oppgaver som de selv er interesserte i å arbeide med.

For brukerne vil målsettingen være å få

materiale som kan brukes i en eller annen form for nyttebetont virksomhet. I undervisning, produksjon, planlegging, osv.

Fra myndighetenes side vil målet for en forskningspolitikk være å se til at brukernes behov dekkes på best mulig måte samtidig som forskernes ønsker søkes imøtekommet, både som et mål i seg selv og som et middel til å imøtekommne brukerbehovet.

En forskningspolitikk ut fra rent forskersynspunkt kan legges opp for et enkelt fagområde. Fra et brukersynspunkt er dette vanskeligere, og fra myndighetenes synspunkter er det umulig å legge opp en spesiell forskningspolitikk for hvert fagområde uten å ta hensyn til andre fagområder og andre samfunnsoppgaver.

Det dreier seg ofte om avveiing mellom størrelser som synes inkommensurable. Det er det som er politikkens oppgave og dens problem, også forskningspolitikkens. Og det er en vanskelig oppgave.

Hvilke retningslinjer skal så et lite land følge for sin forskningspolitikk og hvilke virkninger har dette for fysikken.

For det første må en uten videre gå ut fra at ressursene er begrenset, sterkere enn forskerne ønsker. Alle ønsker kan ikke imøtekommes. Prioritering er nødvendig og noen må foreta den, innenfor det enkelte fag, fagene imellom og overfor andre samfunnsoppgaver eller virkemidler.

For det enkelte fagområde er det egentlig bare to kriterier å handle ut fra. Det ene er forskningen som grunnlag for og ledd i utdanningssystemet. Det andre er forskningen som virkemiddel i løsningen av oppgaver, innenfor næringslivet, offentlig forvaltning, eller i samfundet ellers.

Forskningen som ledd i undervisningen er i første rekke en sak for universitetene og høgskolene. Det dreier seg om hva som er nødvendig for å holde undervisningen, medregnet forskerskoleringen, på et forsvarlig nivå. Det å søkes fastlagt både et minimumsgrunnlag og hvilke muligheter som bør foreligge for den enkelte forsker til å skaffe midler ut over dette minimum. Organisatorisk er dette spørsmål løst gjennom en kombinasjon av de enkelte institusjoners budsjetter og forskningsrådene virksomhet. Om systemet fungerer og ressursene er store nok, er naturligvis et spørsmål, men selve systemet burde gi et brukbart organisatorisk opplegg for en forskningspolitikk ut fra forskernes synspunkt.

For forskningen som virkemiddel i løsningen av oppgaver sett fra brukernes synspunkt er det spørsmål om muligheter for å ta opp til vitenskapelig analyse problemer som de søker løsning på. Det kan dreie seg om industriell innovasjon. Det kan dreie seg om samfunnsplanlegging, for å nevne noe. En forskningspolitikk må ut fra dette synspunkt ta sikte på å legge forholdene til rette for å kunne ta opp slike problemer på forsvarlig måte og innenfor rimelig tid.

Disse oppgaver søkes løst dels gjennom forskningsrådene, dels gjennom organisering av egne forskningsinstitusjoner i direkte tilknytning til brukerne, f. eks. departementene eller de offentlige etater (forsvarets forskningsinstitutt, veglaboratoriet, osv.)

Også her skulle organisasjonsmønsteret være brukbart så mye mere som finansieringen kan ordnes fra brukerne selv, som dermed har hånd om prioriteringen.

Dette betyr ikke at det organisasjonsmønster vi har ikke kan gjøres bedre, men problemet er ikke i første rekke det apparat som skal sette en forskningspolitikk ut i livet. Det er å skaffe fram motiveringer for en forskningspolitikk. Hva slags forskning vi skal drive med i Norge og hvilket omfang den bør ha.

Det er dette som er vanskelig. På hvilket grunnlag skal størrelsen av forskningsbevilningene avgjøres. For den anvendte forskning burde brukernes vurdering av den nytte de kan ha av forskningen kunne danne grunnlaget. For den forskning som ikke kan motiveres med en umiddelbar nyttevirkning, kan heller ikke en slik nyttevirkning danne grunnlaget for størrelsen av bevilningene. De må fastlegges ut fra mere generelle, langsiktige mål.

Hvilket grunnlag er det så myndighetene har for å fastlegge de beløp som skal brukes til denne forskning?

Det er i første rekke de budsjetter som legges fram av de vitenskapelige institusjoner. Disse budsjetter bygger på oppgaver fra de enkelte forskere over hva de mener å trenge. Forskerenes oppgaver vurderes skjønnsmessig ut fra hva som synes mulig å oppnå, og hva som er nødvendig for å løse nærliggende konkrete oppgaver, først av institusjonene, deretter av fagdepartementet, Finansdepartementet, Regeringen og Stortinget.

Det danner seg under denne prosess visse normer for hva som er rimelig eller mulig å få til i forhold til tidligere bevilgninger og den utviklingen som ventes. Og utviklingen er i denne sammenheng i første rekke bestemt av tallet på studenter. Temmelig direkte er summen av de midler som stilles til disposisjon for universiteter og høgskoler en enkel funksjon av studenttallet. Forskningsmidler er igjen en del av dette beløp, til stillinger, driftsutgifter, instrumenter og nybygg.

Forskningspolitikken for universiteter og høgskoler er faktisk bestemt av tilgangen av studenter. Det gjør det mulig å holde forskning i gang og ekspandere etterhvert som studenttallet øker, men det gir liten og ingen mulighet for en fri disponering av forskningsmidler fra år til år.

Er dette en god forskningspolitikk? — eller bør bevilgninger til forskning ved universiteter og høgskoler gis på grunnlag av en vurdering av selve forskningen, ikke av tallet på studenter?

I praksis har dette vist seg ytterligere vanskelig, bl. a. fordi det ikke synes å eksistere brukbare generelle kriterier for hvor langt et aktivt forskningsmiljø bør få utvikle seg.

Den innebygde dynamikk i et aktivt miljø gjør det nemlig nærmest praktisk umulig å følge opp med bevilgninger som miljøet selv vil betrakte som tilstrekkelige, og det er de aktive forskningsmiljøer som det er aktuelt å støtte.

Det er imidlertid erkjent at en forskningspolitikk for universiteter og høgskoler som en lineær funksjon av studenttallet, ikke er tilfredsstillende. Bl. a. for å rå bot på dette er forskningsrådene opprettet. De forvalter penger som fordeles utekkende med forskningen som vurderingsgrunnlag.

Kombinasjon av ordinære universitets- og høgskolebudsjetter, fastsatt vesentlig på grunnlag av studenttall, og tilleggsressurser gjen-

nom forskningsrådene burde gi muligheter for en fornuftig forskningspolitikk for universiteter og høgskoler.

Spørsmålet er om dette apparat eller system fungerer tilfredsstillende, dvs. om norsk forskning kan sies å ha arbeidsvilkår som tåler sammenlikning med andre land, f. eks.

Mange vil si at det har den ikke. For fysikken vil antakelig dette være en nokså alminnelig oppfatning.

Vi står her overfor det lille lands problemer. Vi kan ganske enkelt ikke makte et internasjonalt nivå på alle områder, kanskje bare på noen få. Her oppstår også en kollisjon med undervisningens problemer. En betydelig bredde er nødvendig av den grunn, større bredde, jo flere undervisningsinstitusjoner.

Spørsmålet blir da hvordan en med begrenseide midler og med dels kryssende interesser skal kunne avgjøre hvor og når et miljø skal få adgang til en større vekst og hvilken vekst som bør være mulig.

På dette spørsmål har jeg faktisk ikke kunnet finne generelt svar noe sted. Ut fra erfaringer gjennom forskningsrådene, og en rent skjønnsmessig sammenlikning mellom forskjellige lands forskningsutgifter, kunne jeg tenke meg at de midler som sto til disposisjon som et rent forskningsbudsjett eller et budsjett II som det også kalles, idag burde ha en størrelsesorden på minst 100 mill. kr. I forhold

til universitetenes og høiskolenes budsjetter unntatt nybygg, utgjør dette ca. 20%. Det beløp som idag er tilgjengelig er anslagsvis halvparten av dette.

Innenfor en slik sum måtte både de nasjonale forskningsoppgaver og deltakelsen i internasjonalt samarbeid dekkes, f. eks. CERN, akselleratorproblemene, internasjonale dekker, forskningskongresser, osv.

Dersom et slikt prinsipp kunne bli fastsatt, ville det gi grunnlag for en mere planmessig utvikling, både hva angår rekruttering og langsiktige investeringer.

Kunne fysikerne og andre faggrupper skaffe materiale til underbygging av en slik tanke, ville det kanskje med tid og stunder være mulig å få den knesatt. Det er foreløpig et løst grunnlag, men jeg tror det er bedre enn tipping, i enhver henseende.

De tanker jeg har vært inne på her, er selv sagt ikke noe forsøk på å behandle alle aspekter i en forskningspolitikk. Jeg har bare villet peke på hvilke problemer som knytter seg til vurderingen av forskningen som ledd i Universitetenes og høgskolenes utdanningsfunksjon. Det går mange tråder fram og tilbake mellom denne funksjon og samfunnets brukerinteresser. Jeg har bare sporadisk berørt slike ting som bakgrunn for det problem jeg har forsøkt å belyse.

ISO utgir trespråkig ordbok for atomenergi

Når en atomfysiker snakker om et «blanket», refererer han til et materiale som er lagt rundt eller inni kjernen av en atom-reaktor for konvertering til fissérbart materiale. Det er viktig at han og hans kolleger mener det samme når de bruker faguttrykk, særlig hvis disse også oversettes til andre språk.

For å redusere risikoen for misforståelse og å spare tid og krefter, har den internasjonale standardiseringsorganisasjon ISO utgitt en ordbok over atomenergi-faguttrykk på engelsk, fransk og russisk. Ordboken er utgitt i form av ISO-rekommandasjon 921 og inneholder 243 internasjonalt vedtatte definisjoner. Den er den første av en serie slike ordbøker. Den neste kommer ut i 1971. ISO-komiteen som har utarbeidet bøkene består av atomfysikere fra en rekke land.

Melding fra ICSU:

SURVEY of ICSU ACTIVITIES

Scientists wishing to be briefed on the work of the International Unions in the field of information will be well served by the «Survey of the Activities of the ICSU Scientific Unions, Special and Scientific Committees and Commissions of ICSU in the Field of Scientific Information during the Year 1969» just published.

(ICSU AB Secretariat, 17, Rue Mirabeau, Paris 16e, France; 365 pp., May 1970, \$12.U.S. plus mailing).

This is the fifth such annual report which summarizes the publishing and conference activities of over 170 Commissions, about which general information is also given .

Statisk og dynamisk likevekt av eit plasma i toroidal geometri

Gerhard Berge

Innleidningsvis vert dei mest sentrale metodane for å løysa det toroidale likevektsproblemet for eit plasma drøfta. Eit nytt prinsipp, dynamisk likevekt, vert så introdusert og drøfta utfrå eit par enkle eksempel. Til slutt vert dynamisk likevekt drofta i samanheng med toroidal likevekt av eit plasma.

I. INNLEIING

a) Innleidande merknader.

Vi skal i det følgjande vesentleg konsentrera oss om toroidale system og leggja spesiell vekt på dynamisk likevekt. Innleidningsvis skal vi prøva og setja det heile inn i ein større samanheng, og først skal vi gje ei stutt drøfting av nokre sentrale omgrep.

I b. Sentrale omgrep.

(i) *Opne og lukka system.*

Innesperring av eit termonukleært plasma ved hjelp av sterke magnetfelt ser ut til å vera det einaste realistiske alternativet for den framtidige fusjonsreaktoren. Dette er difor det sentrale problemet innanfor fusjonsforskning.

Det er vanleg å dela dei aktuelle magnetfeltkonfigurasjonane opp i to grupper, opne og lukka system, karakterisert ved topologien til magnetfeltet.

Definisjon: Eit system er lukka dersom det eksisterer eit avgrensa plasmavakuum område som er slik at ingen magnetiske feltlinjer fører ut or dette området. Dersom systemet ikkje er lukka er det ope.

For lukka system kan vi ha to tilfelle:

- (1) magnetfeltlinene lukkar seg i seg sjølve i det aktuelle området,
- (2) dersom ein føl ei magnetisk feltline uende-

langt, så vil den dekkja ei fluksflate som lukkar seg i det aktuelle området.

Mange konfigurasjonar spesielt opne er lett å klassifisera. Men lukka system kan by på større problem. Her kan det også ha reint praktisk interesse å vita til kva approksimasjon systemet er lukka. Eksempel på opne system er: mirror, cusp, theta-pinch. Eitt eksempel på lukka system er stelleratoren.

Alle opne system har eit unngåeleg tap av partiklar langs dei magnetiske feltlinene som forlet plasmaområdet. Dette tapet er av mikroskopisk karakter og kan lettast forklarast ved å studera rørsla av einskildpartiklar. I tillegg til det reine tapet sjølv, så har den også den sekundære effekten at fartsfordelingsfunksjonen vert anisotrop i fartstrommet. Det fører med seg at systemet kjem ut av termodynamisk likevekt. Og det er ei kjelde til instabilitetar på det mikroskopiske plan, dei såkalla mikroinstabilitetane. Mikroinstabilitetane har i sin tur inverknad på diffusjonen på tvers av magnetfeltet.

Det er difor god grunn til å prøva å unngå desse problema ved å gå over til lukka system. Når det gjeld å analysera eit lukka system utan plasma dvs. eit vakuummagnetfelt, så er det eit overkomleg problem ved hjelp av moderne reknemaskiner. Men straks ein tek til å fylla plasma inn i eit slikt system aukar vanskegraden, og det er difor mykje u gjort arbeid her.

(ii) *Tette og tynne plasma, parameteren β .*

Parameteren β definerer vi slik,

$$\beta = \frac{p}{\frac{B^2}{2\mu_0}}, \quad (1)$$

der p er det kinetiske plasma trykket, B magnetfeltet, μ_0 permeabiliteten i vakuumm slik at $B^2/2\mu_0$ er det «magnetiske trykket». For eit endeleg trykk p varierer altså β mellom 0 og 1 når B varierer mellom 0 og ∞ . Inndelinga i

* Prøveforelesning for den filosofiske doktorgraden ved Universitetet i Bergen 24/10-69, sjølvvalgt emne.

høgt og lågt β plasma er noko vilkårleg. Men om vi seier at lågt β plasma har $\beta \sim 10^{-4}-10^{-1}$ og høgt β plasma har $\beta \sim 0.3-1$, så er det nokolunde innanfor vanleg terminologi.

(iii) Minimum B og midlare minimum B konfigurasjonar.

Ein minimum B konfigurasjon er karakterisert ved to eigenskapar: (1) magnetfeltet $|B|$ er ulik null i plasmaområdet; (2) $|B|$ har eit ekte minimum i eit punkt eller langs ei lukka kurve i dette området. Flatene med konstant $|B|$ kallar ein gjerne isobarflater. Desse isobarflatene vert i dei to tilfella topologisk ekvivalente til kuleflater og toroidale flater. Det er vist teoretisk at ein minimum B konfigurasjon er ynskjeleg frå eit stabilitets synspunkt. Og det klassiske eksperimentelle eksemplet er kombinasjon av «Mirror» og «Cusp», (Ioffe 1961). Ein talar også om at ei magnetfeltline har god eller dårlig krumming ettersom den er konveks eller konkav mot plasmaområdet, sjå fig. 1.

Å kreyja at magnetfeltet skal ha «god» krumming i det aktuelle området er ein annan måte å karakterisera eigenskapen (2) på. Formulert på denne måten er det mest sjølvintlysande at ei lukka system ikkje kan vera ein minimum- B konfigurasjon. (Ei lukka flate generert av glatte kurver, dei magnetiske feltlinene, kan ikkje vera konkav mot det indre over alt).

Men det eksisterer lukka system som er det ein kallar midlare minimum- B konfigurasjonar. For slike system definerer ein midelkrumminga, der midlinga er gjort over ei feltline. Dersom den midlare krumminga er god, så har ein det ein kallar ein midlare minimum- B konfigurasjon.

(iv) Bohm diffusjon.

Alt i 1948 publiserte Bohm sin no legendariske formel for diffusjonen av eit plasma på tvers av eit magnetfelt. Opp til denne tid har korkje Bohm eller nokon annan gjeve ei tilfredsstillande teoretisk utleiding av formelen

$$D_{\perp} = \frac{1}{16} \frac{T}{B} 10^4 m^2 s^{-1}. \quad (2)$$

Her er D_{\perp} diffusjonskoeffisienten på tvers av magnetfeltet, T er temperaturen i eV og B magnetfeltet i Gauss. Dersom denne formelen skulle vera rett ville det i praksis

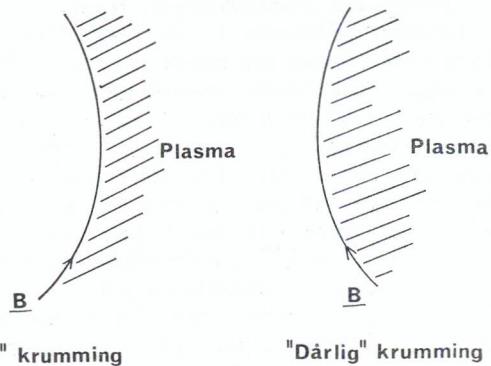


Fig. 1.

innebera at det var nyttelaust å prøva på å byggja ein økonomisk fusionsreaktor. For dette føremålet måtte diffusjonen reduserast med omlag ein faktor 10^{-2} , samanlikna med Bohms diffusjon. Det var difor eitt hardt slag for fusionsforskninga då den fyrste generasjonen av eksperiment alle meir eller mindre verifiserte Bohms formel. Dette har ført til at Bohms formel er blitt ei slags måleneining for diffusjon. Men ein bør her vera litt på vakt, så ein ikkje legg meir i omgrepet Bohm-diffusjon enn dette. For dersom ein spør om det eksisterer noko koherent fysikalisk bilet som gjev denne formelen mening, så må svaret bli nei. Dette gjer at ein utan å vera inkonsekvent kan seia at: dei fleste plasmafysikarar veit kva Bohm diffusjon er. Men det er også rett å seia at ingen veit presist kva Bohm diffusjon er.

Med andre ord innsikt og forståing av dei prosessane som får plasmaet til å diffundera på tvers av magnetfeltet er enno mangefull. På den andre sida har det dei siste år blitt ytt vesentlege bidrag til forståing av dette problemet. Fyrst og framst er det mikrostabilitetane som spelar ei stor rolle i denne sammenhengen. Dessutan kan fenomen assosiert med mangel på likevekt også spela ei vesentleg rolle.

Med den teoretiske kunnskapen ein etter kvart har tileigna seg når det gjeld desse problema, så har dei siste generasjonane av eksperiment synt at diffusjonen kan reduserast vesentleg samanlikna med Bohms diffusjon.

Når ein idag talar om innesperringstider som er 10-20 ja opp til 100 gonger Bohms tid så må ein seia at stoda på langt nær ser så mørk ut som for nokre år sidan, jamvel om det enno er langt att mot målet.

(v) *Rotasjonell transformasjon, skjær.*

Dersom feltlinene i ein magnetfelt konfigurasjon tvinnar seg rundt ei sentral feltline, så kallar ein denne eigenskapen ved feltet for rotasjonell transformasjon. Dersom feltlinene tvinnar seg hardare og hardare etter som ein går utetter frå, eller innetter mot den sentrale feltina, så seier ein at magnetfeltet har skjær. Teoretisk kan ein visa at skjær har ein stabiliseringseffekt. Og når det gjeld rotasjonell transformasjon, så er det brukt t. d. i Stelleratoren for å skapa ein likevekts konfigurasjon. Desse omgrepa er serleg aktuelle i sylinder og toroidal geometri.

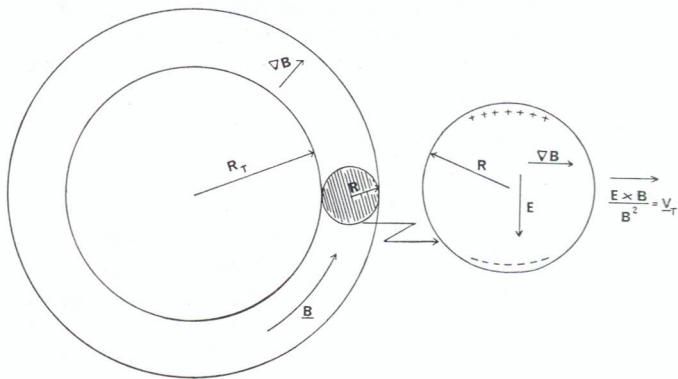


Fig. 2.
Toroidal geometri, sirkulære feltlinjer.

II. TOROIDAL STATISK LIKEVEKT

a. Innleidande merknader.

Den enklaste lukka geometrien er ein toroidal geometri der feltlinene er sirklar. Det har lenge vore kjent at denne geometrien ikkje er brukande til å sperre inne eit plasma med. Denne konfigurasjonen kan nemleg ikkje halda eit plasma i likevekt. Sett frå eit partikkel synspunkt vil ein på grunn av gradienten i magnetfeltet, ∇B , (som er uunn-gåeleg), få ein driftfart som gjev ladningsseparasjon og eit elektrisk felt E . Koplinga mellom dette elektriske feltet og magnetfeltet resulterer i den toroidale driftfarten v_T , og plasmaet går tapt. Sjå også Junker (1968).

b) Stelleratoren.

Det var før å eliminera den toroidale driftfarten at stelleratoren vart konstruert, Spitzer (1950) og Arzimovich (1955)*. Som nemnt var det rotasjonell transformasjon som vart nytta til å oppnå dette. Opphaveleg vart dette oppnådd ved å vri ein torus til ein 8-tals figur, Fig. 3a. Seinare fann ein ut at rotasjonell transformasjon kunne også produserast ved å leggja dei straumførande vridingane på skrå langs ein vanleg torus eller skøytebane liknande konfigurasjon, fig. 2 og 3b.

For å oppnå stabilitet er stelleratormagnetfeltet også konstruert slik at det har skjær. Teknisk er stelleratoren svært komplisert og

krev eit presisjonsbygd vindingssystem. Men teoretisk er det ein ideell konfigurasjon, i alle høve for einskildpartiklar. Dette har også blitt påvist eksperimentelt av A. Gibson et. al. (1968). I dette eksperimentet vert det nemleg påvist at elektronar distribuerte over ein vesentleg del av fartrommet, kan gjev meir enn 10^7 rundar i maskinen før dei går tapte. Det er fullt tilfredsstellande for ein fusjonsreaktor. Men ser ein på ein stellerator med eit plasma inni, så er ikkje resultata så optimistiske og eintydige. Jamvel om diffusjonen no er redusert vesentleg samanlikna med Bohm diffusjon, så er den enno vesentleg større for dei fleste maskiner enn det ein kan tolerera for ein fusjonsreaktor. Kva slag prosessar som er dominerande når det gjeld diffusjonen i stellerator geometrien er enno ikkje klårlagt. Men eksperimentet til A. Gibson et. al. synet

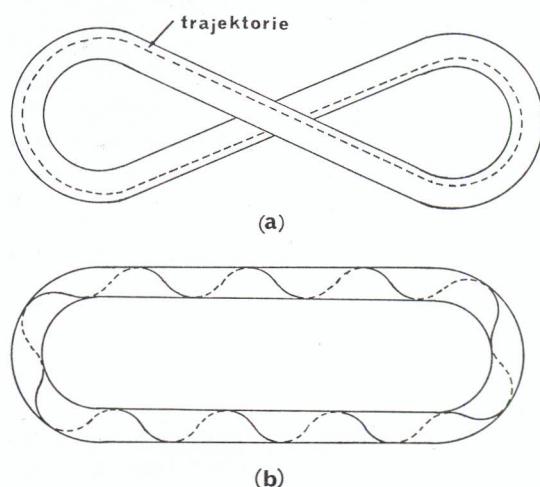


Fig. 3.
Stellerator geometriar.

* Forskningsresultat på dette området vart ikkje utveksla mellom USA og USSR på denne tid.

at det må vera kollektive plasmaprosessar som er årsaka. Sidan β er liten for alle eksisterande stellerator eksperiment, så er det rimeleg å gå utfrå at dei perturbasjonane plasmaet påføre vakuummagnetfeltet ikkje er store nok til å gje topologiske forandringar i magnetfeltet. Men dette er nokså uvisst, og det kan henda at dei lukka magnetiske fluksflatane bryt opp med tilsvarande lekkasje av partiklar. Stellerator geometrien er særskilte komplisert, også sett frå eit teoretisk sysnspunkt, og det vanskeliggjer ei fullstendig teoretisk handsaming. Dette skapar også store problem når det gjeld tolkning og samanlikning av teoretiske og eksperimentelle resultat. Av nyare interessante arbeid når det gjeld diffusjon i stellerator geometri kan ein nemna Stringer (1969) og Rosenbluth & Taylor (1969).

Stort sett kan ein sei at stelleratorene som dei fleste andre maskiner ikkje har gjeve dei resultata ein frå først av hadde venta på. Status ved den tredje internasjonale konferansen i Plasma fysikk og kontrollert fusjon, hausten 1969 er vist i tabell I, etter R. J. Bickerton og A. Gibson (1968).

b) Tokamak.

Eit alternativ til toroidal likevekt er den såkalla Tokamak maskinen som er utvikla ved Kurchatov instituttet i Moskva.

Tokamak konfigurasjonen skil seg frå Stelleratorene vesentleg ved at den poloidale komponenten i magnetfeltet er produsert av sterke toroidale straumar (100 kA) som er drivne av induserte elektromotoriske krefter. På mange måtar minner denne maskinen om den britiske maskinen Zeta.

Russarane har oppnådd oppsiktsvekkjande resultat på denne maskintypen med inne-sperringstider på 50–70 T_B. Det er difor ikkje utan grunn at land som USA m. a. tek til å interessera seg sterkt for Tokamakkonfigurasjonen. Når det gjeld resultata som er oppnådde, så tyder dei på at det eksisterer ein samanheng med resultat oppnådde på Zeta. I denne maskinen starta ein opp med ein nokså ustabil fase som gjekk over i ein relativt stabil fase, den såkalla «period of improved stability». Men uheldigvis så gjekk mesteparten av plasmaet tapt i denne ustabile fasen. Likevel så peikar også resultata frå Zeta mot eksistensen av ein stabil toroidal konfigurasjon av denne typen.

c) Levitron og multipolmaskiner.

Det er også mogeleg å la den straumen,

som i Tokamak og Zeta flyt i sjølve plasmaet, gå i ein sentral leidar; som såleis vert omgjeven av eit plasma, men utan at plasmaet er i kontakt med leidaren. Denne konfigurasjonen er ein midlare minimum-B konfigurasjon, og skjær i magnetfeltet kan produserast av solenoidale viklingar rundt torusen. Eit slikt eksperiment med supraleidar er under konstruksjon ved Culham Laboratory. Det er venta at dette eksperimentet skal gje eit avgjerande svar på den rollen skjær spelar for stabiliteten.

Ein kan også byggja andre typar av slike system der ein har to eller fleire straumførande leidrarar, omgjevne av plasma. Alle slike system er bygde etter prinsippet om midlare minimum-B for å oppnå likevekt. Desse maskinane går gjerne under namn av multipol maskiner. Dei fekk stor popularitet etter at teorien for minimum-B prinsippet vart utvikla teoretisk av Taylor (1963), Andreoletti (1963) og andre. Det såg no ut til å vera innan rekkevidde å byggja eksperiment der ein kunne gjera avgjerande samanlikningar mellom teori og eksperiment. Og dette var hovudmotivet for desse maskinene. For det er få som meiner at dei representerer ein brukande kandidat til den framtidige fusjonsreaktoren. Dette er vesentleg på grunn av dei enorme tekniske problema ein møter når ein skal ha supraleidrarar nedkjølte mot det absolute nullpunktet og omgjevne av eit termo-nuclært plasma med temperaturar av storleiksorden 100 mill. grader.

Men sidan det er vesentleg for plasma å ha eit solid fundament å stå på, med god forankring i eksperimentelle resultat, så var det motivering god nok. I kor stor mon dette skal lukkast med Levitron og multipol eksperimenta er det enno tidleg å uttala seg om. Men det er mykje som tyder på at dei eksperimentelle resultata ikkje vil gje så overtydande resultat som ein frå først av venta på. Den første generasjonen av multipol eksperiment har hatt vesentlege problem i samband med oppstötting av leidarsystemet. Desse støttene eller hengjarane må nødvendigvis koma i kontakt med plasmaet og dette gjev ein stor ukjend faktor i desse eksperimenta. Stor teknisk insats med forsök på å skjerma desse støttene magnetisk har ikkje gjeve noko overtydande resultat. Ein del eksperiment spesielt med Levitron har vore utførde utan støtter, men det er mykje som tyder på at støttene eller hengjarane ikkje forklarer alt når det gjeld diffusjonen i desse maskinene. Karak-

teristisk levetid for plasmaet i desse maskinene $10\text{--}30T_B$ (Bohms tid), utan omsyn til kva måte som er brukt for å halda dei straumførande ringane på plass. Samanliknar ein dette resultatet med det som er oppnådd for Stellarator konfigurasjonen, så er det karakteristisk for alle desse konfigurasjonane at den sterke diffusjonen ikkje kan forklarast ut frå dei fluktuasjonane i tettleik og elektriske felt som er observerte. Dette tyder på at det enno eksisterer ukjendte mekanismer, som er tilstrekkeleg dominante til å framkalla denne sterke diffusjonen. I denne samanheng har det vorte vanleg å tala om såkalla konvektive celler, men vi skal ikkje gå nærmare inn på det her.

d) Theta-pinch.

Ein teknikk som har vist seg å vera effektiv når det gjeld å produsera eit høgt β , høgtemperatur plasma er den såkalla theta-pinch konfigurasjonen. Til vanleg har ein sylinder geometri og plasmaet vert komprimert og halde på plass av eit sterkt aksialt magnetfelt. Dette magnetfeltet vert produsert av sterke asimuthale straumar i θ -retningen.

Desse resultata er oppnådde for theta-pinch (Andelfinger et. al. 1965): Tettleik: $2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, ionetemperatur 3.7 keV , levetid $5 \mu\text{s}$. $n\tau = 2 \cdot 10^{16} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \sim 10^{11}$. Theta-pinch ligg difor relativt godt an når det gjeld fusjonsparameteren $n\tau$.

Det vesentlegaste problemet på dette stadiet er å eliminera endetapet i den lineære theta-pinchen. For det syner seg at det er vesentleg lekkasjen ut av endane som set grense for levetida. Det ein vonar på er at det skal late seg gjera og overföra theta-pinch teknologien til toroidal geometri. Som vi alt har sett nyttar det ikkje utan vidare å böya ein theta-pinch i saman til ein torus. Problemet er difor å finna dei nødvendige modifikasjonane ein må gjera for å lage ein likevektskonfigurasjon. Det synest her å vera fleire vegar å gå.

(i) Den såkalla programerte toroidale pinchen byggjer på føresetnaden om at ein toroidal likevekt eksisterer for eit høgt β plasma, dersom ein kan få til den rette megnetfeltkonfigurasjonen. Resultata som var nemnde frå Zeta og Tokamak tyder på at dette er rett. For den programmerte pinchen har ein ordna seg slik at ein skal kunna kontrollera θ -straumane og dei straumane som flyt rundt torusen. Det vil seia at ein kan innafor visse grenser byggja opp den magnetfeltkonfigura-

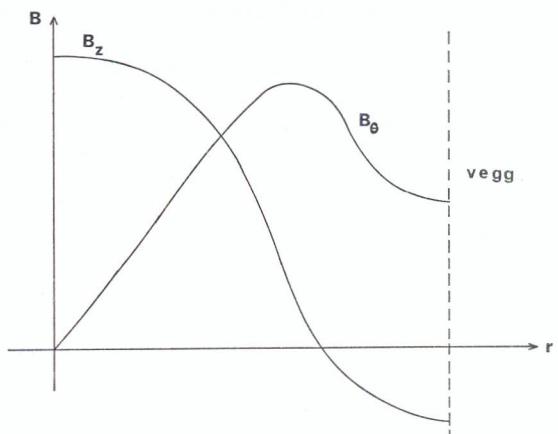


Fig. 4

sjonen ein ynskjer, ved å kombinera den toroidale og asimutale magnetfeltnormalen på beste måten. Eit slike eksperiment er straks ferdigbygd ved Culham Laboratory, England. Den magnetfeltkonfigurasjonen ein siktar mot vil gje sterkt skjær i magnetfeltet og ser om lag slik ut, Fig. 4.

Skjær i magnetfeltet er vesentleg produsert av at B_z er reversert.

(ii) Eit anna alternativ går ut på å skapa likevekt ved hjelp av ein såkalla M & S konfigurasjon. Namnet er etter F. Meyer og H. U. Schmith (1959). Desse forfattarane syntetiserte teoretisk at ein kunne få til ein toroidal likevekt utan eit asimuthalt magnetfelt ved å laga ein humpet toroidal konfigurasjon slik at feltlinene på ei fluksflate med konstant trykk alle hadde same lengde. Sjå Fig. 5.

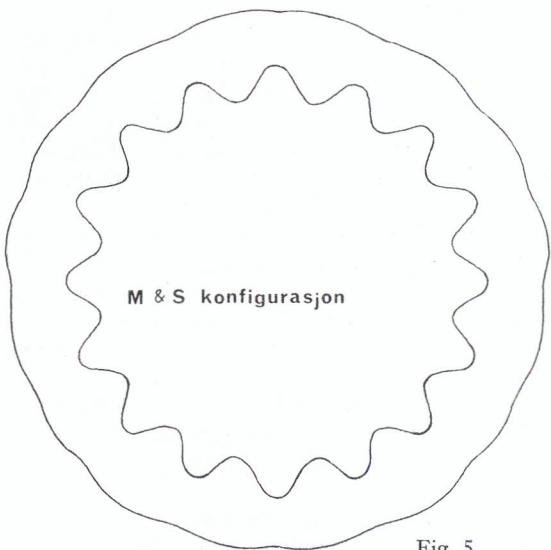


Fig. 5.

For å få ein slik konfigurasjon, så krev det eit presisjonsbygd vindingssystem. Dette er teknisk sett svært komplisert. I tillegg til dette, så er konfigurasjonen ustabil på grunn av «dårlig krumming» på feltlinene i visse område. Denne konfigurasjonen må difor stabilisera på ein annan måte. Og eitt alternativ her er dynamisk stabilisering. Boding et. al. (1969), Gribble et. al. (1969), Berge (1969). Lette vil naturlegvis komplisera ein slik maskin endå meir.

(iii) Eit tredje alternativ er å innføra eit nytt prinsipp, dynamisk likevekt (Wolf og Berge 1969). Vi skal før vi drøfter anvending av dette prinsippet på ein toroidal theta-pinch konfigurasjon, sjå litt på eit par enklare mekaniske system for å kasta lys over ideen som ligg bak.

(1) Den «omvendte pendelen».

Vi skal sjå på følgjande mekaniske problem. Ein pendel er opplagra i punktet O og kan røra seg fritt omkring dette punktet. Den masse m, lengde l og tyngda sin akselleraasjon er g, og verkar i negativ y-retning.

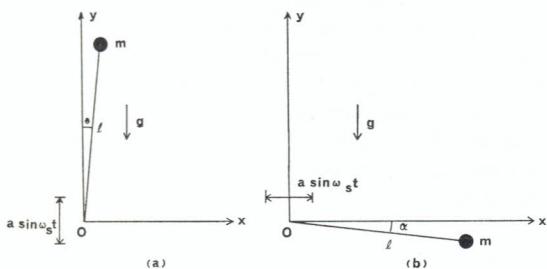


Fig. 6.

Det er klårt at pendelen i retning av positiv y-akse med opplagringspunktet O fast, er i ein ustabil likevektsstilling. Dersom ein grip inn i systemet og oscillerer opplagringspunktet vertikalt med amplituden a og frekvensen ω_s , så er det velkjendt at denne ustabile likevektsposisjonen vert stabil dersom

$$a^2 \omega_s^2 > 2gl \text{ eller } \frac{l^2}{a^2} \frac{\omega_0^2}{\omega_s^2} < \frac{1}{2}, \omega_0^2 = \frac{g}{l}. \quad (3)$$

Dersom vi no let heile situasjonsbiletet som er gjeve i fig. 6 (a) rotera 90°, så får vi den situasjonen vi har i Fig. 6 (b). Med opplagringspunktet O fast og pendelen langs x-aksen vil pendelen vera i ein posisjon som ikkje er likevekt, og vil naturlegvis falle ned påverka

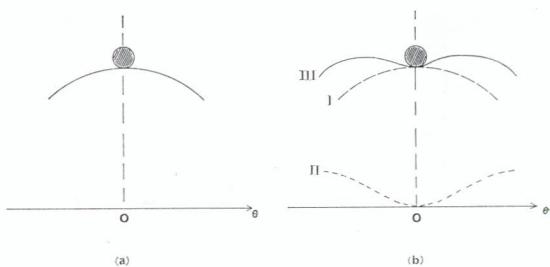


Fig. 7.

av tyngdekrafta. Men dersom vi no tek og oscillerer opplagringspunktet langs x-aksen finn vi at vi kan få til ein situasjon der pendelen fell ned ein vinkel α_0 og finn ein ny dynamisk likevektsposisjon, og α_0 er gjeven ved

$$\sin \alpha_0 = \frac{2gl}{a^2 \omega_s^2} = 2 \left(\frac{\omega_0}{\omega_s} \frac{l}{a} \right)^2 < 1. \quad (4)$$

For det fyrste må ein ha ulikskapen oppfylt for å få ein vinkel α mindre enn 90°. Men ved å velja parametrane ω_s og a tilstrekkeleg store, så kan ein gjeva vinkelen α_0 så liten ein vil. Dette er eit enkelt eksempel på dynamisk likevekt.

Fysisk kan det tolkast slik. Dei påvinga oscillasjonane verkar som om pendelen er plassert i ein potensiell brunn. Om vilkåret (3) er stetta, så vert denne brunnen djup nok til å stabilisera den omvendte pendelen. I dette tilfellet sit pendelen utan dynamisk stabilisering på ein potensiell topp, sjå Fig. 7 (a).

Fig. 7 (b) syner ein prinsipp skisse for den stabiliserte omvendte pendelen. Her er I potensialet utan dynamisk stabilisering, II er den delen av potensialet som er produsert av dynamisk stabilisering og III er det resulterende potensialet der $\theta = 0$ no er ein stabil posisjon.

Ser vi på problemet med dynamisk likevekt, så kan det illustrerast ved følgjande prinsippskisse.

På Fig. 8 (a) syner potensialet for pendelen i horisontal stilling dvs. ikkje likevekt. På Fig. 8 (b) representerer I same potensialet som i (a), II er potensialet p. g. a. dei påvinga oscillasjonane og III er det resulterande potensialet som viser ein ny stabil «dynamisk» likevektsposisjon for $\alpha = \alpha_0$.

(2) Eit hydrodynamisk problem.

Eit hydrodynamisk problem som er ana-

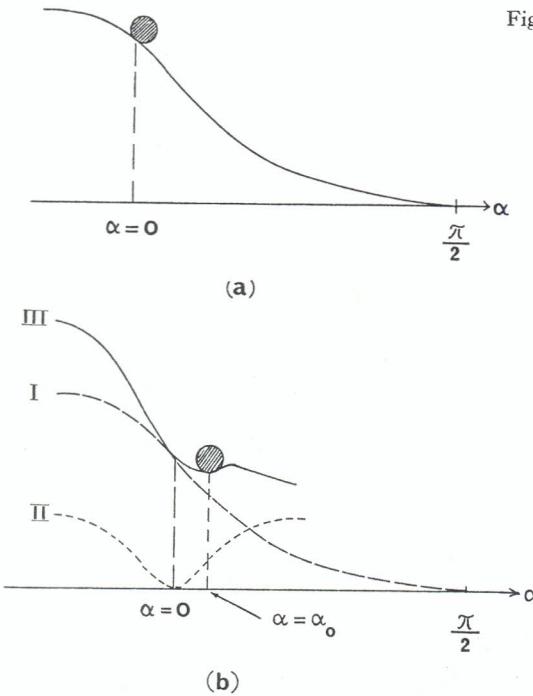


Fig. 8.

bak desse hydrodynamiske resultata er enno noko ufullstendig.

(3) Ein toroidal dynamisk likevektskonfigurasjon.

Etter at vi no har kasta lys over omgrepene «dynamisk likevekt» ved hjelp av dei eksempla som er gjennomgått under (1) og (2), så skal vi gje gjera sprangen over i plasma-fysikken og problemet toroidal likevekt.

Vi stiller spørsmålet: Let det seg gjera å oppnå toroidal likevekt ved å starta frå eit reitt toroidalt magnetfelt og modifisera det dynamisk?

Vi skal fyrst merka oss at den typen rørsla ein får i eit reitt toroidalt magnetfelt er at heile plasmasylinderen driv radialet utover som ein stiv lekam. Dersom vi no tek ut ein seksjon av ein slik torus med stort aspekt forhold $R_T/R \gg 1$, så vil ein slik seksjon avvika svært lite frå ein sylinder. Og den rørsla ein har vært analog til ein $m = 1$ perturbasjon i sylindergeometri, der perturbasjonane er av forma $e^{im\theta}$ og θ er den vanlege vinkelvariable i sylinderkoordinatar.

No kan ein syna at ein rett sylinder er marginalt stabil andsynes $m = 1$ perturbasjonar, dersom ein ser bort frå effekt frå grensene. Denne effekten er for eit sterkt komprimert plasma svært liten, men verkar naturlegvis stabilisende. Vi tek no å oscillerer magnetfeltet slik at overflata på plasmasylinderen rører seg i samsvar med likninga, (sjå Fig. 10).

$$R(z, t) = R_0 \left\{ 1 + \epsilon \sin \omega_s t \cos \frac{2\pi z}{L} \right\}.$$

logt til problemet under (1) er illustrert på Fig. 9.

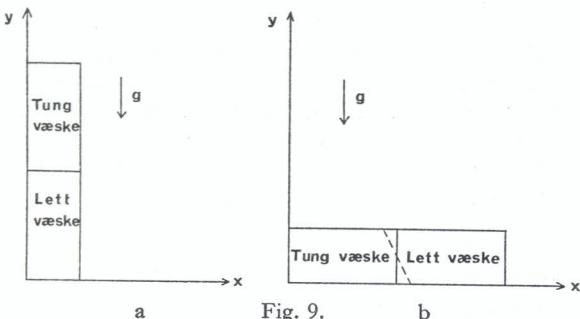


Fig. 9.

Fig. 9 (a) syner ein væskesylinder med ei tung væske over ei lett væske. Denne likevekt stillingen er naturlegvis ustabil, og den velkjende Rayleigh-Taylor ustabiliteten utviklar seg. Men dersom ein oscillerer denne væskesylinderen i vertikal retning analogt med den stabiliserte pendelen, så kan denne situasjonen også stabilisera (G. H. Wolf 1969). Det same gjeld det problemet som er skissert i Fig. 9 (b). Dette er ein situasjon der dei to væskene ikkje er i likevekt. Men ved å oscillera heile væskesylinderen langs x-aksen i analogi med Fig. 6 (b), så kan det etablerast ein situasjon med dynamisk likevekt der den nye dynamiske likevektsposisjonen er gjeven ved den stipla linea (G. H. Wolf 1969). Teorien

Her er ω_s sirkelfrekvensen for oscillasjonane og dei andre symbola er forklart på Fig. 9. Ein kan no syna at den marginalt stabile $m = 1$ perturbasjonen vert positivt stabil p. g. a. dynamisk stabilisering (Berge 1969). Tenkjer vi oss at vi let ei konstant kraft verka på plasma sylinderen, så vil det føra til at plasma sylinderen vert forskyvd i den potensielle brunnen som plasmaet er i på grunn av dynamisk stabilisering. Dette er under føresetnad av at denne krafta ikkje er sterkt nok til å dra

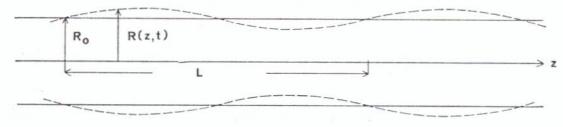


Fig. 10.

plasmasylinderen ut av den potensielle brunnen.

Ser vi så på eit plasma i eit reint toroidalt magnetfelt, så er plasmaet ikkje i likevekt fordi det verkar ei kraft, den toroidale krafta, i radiell retning utetter. Vi går no ut frå som arbeidshypotese at den stabiliseringa effekten frå eit dynamisk stabiliseringa program slik som vist i Fig. 10, ikkje forandrar seg vesentleg om vi tek og bøyjer sylinderen noko. Vi kan også sjå på dette som ei rekkeutvikling etter det inverse aspektet forholdet R/R_T . Sylinderen representerer då O-ordens bidraget og neste bidrag vil vera av storleiksorden som $R/R_T \ll 1$.

Den krafta som verkar på eit plasma i eit reint toroidalt magnetfelt er kjend (P. C. T. Van der Laan 1964, W. Lotz et. al. 1964, A. Schlüter 1965, og J. Junker 1968). Den kan skrivast som

$$F_T = \frac{2\pi}{\gamma} C_s^2 R \rho_0 \frac{R}{R_T} \quad (5)$$

der, C_s er lydfarten, ρ_0 er tettleiken, γ er adiabat eksponenten, R_T er store- og R vesle-radius i torusen.

Eit mål for den potensielle brunnen på grunn av dynamisk stabilisering kan ein også finna. Den potensielle energien som funksjon av ein sidevis forskyvning ξ er for ein rett sylinder gjeven ved (Berge 1969),

$$\rho \bar{W} \geq \frac{\varepsilon^2 \pi}{4} (Y^2 + 1) \left(\frac{2\pi R}{L} \right)^2 \frac{\rho_0 C_s^2}{\gamma \beta} \xi^2 \quad (6)$$

der

$$Y = \frac{x_0 J_0(x_0)}{J_1(x_0)} \left[1 - \beta_0 + \frac{\gamma \beta_0}{2} \frac{1}{1 - a^2} \right] \quad (7)$$

og

$$x_0 = \frac{\omega_s R}{C_s} \left[\frac{1 - a^2 b}{b + \frac{1}{1 - a^2}} \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$a = \frac{2\pi C_s}{L \omega_s}, \quad b = \frac{2}{\gamma} \frac{1 - \beta_0}{\beta_0}. \quad (8)$$

Her er J_0 og J_1 Besselfunksjoner av nullte og fyrste orden.

Ved den konstante toroidale krafta F_T kan vi assosiera eit potensial

$$\delta W_F = -\xi F. \quad (9)$$

Superponerer vi desse to potensiala (6) og (9), så får vi det totale potensial som gjev eit uttrykk for alle dei kreftene som verkar på systemet. Systemet vil då finna ein ny stabil likevektsposisjon $\xi = \xi_e$, som gjev minimum for dette potensialet $\delta \bar{W}_D$, sjå Fig. 11.

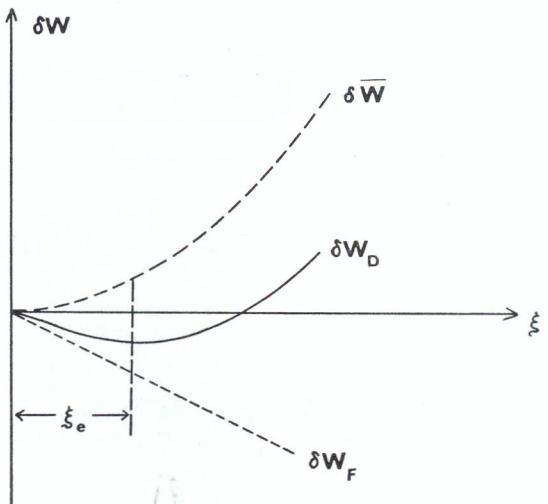


Fig. 11.

Den nye likevektsposisjonen er gjeven ved

$$\xi = \xi_e \leqq \frac{R}{R_T} \left(\frac{L}{2\pi r} \right)^2 \frac{4\beta_0 R}{\varepsilon^2 (Y^2 + 1)}. \quad (10)$$

No byggjer alle desse resultata på ein lineær teori i perturbasjonen ξ . Skal desse resultata vera relevante må ein difor ha $|\xi| \ll R$. Dessutan er effekten av dynamisk stabilisering ein midlare ikkje-lineær effekt i dei feltstørleikane ein oscillatorer. Metoden som er brukt i analysen byggjer på at den karakteristiske tida for evolusjonen av systemet utan dynamisk stabilisering er mykje lengre enn perioden for oscillasjonane.

Vi kan formulera dette vilkåret slik: Frå Newtons 2. lov har vi at

$$F_T = ma \quad (11)$$

eller

$$a = \frac{F_T}{m} = \frac{\frac{2\pi}{\gamma} C_s^2 R \rho_0}{\pi R^2 \rho_0} \frac{R}{R_T} = \frac{2}{\gamma} C_s^2 \frac{1}{R_T} \quad (12)$$

Vi går ut fra at den karakteristiske lengda i denne rørla er ξ_e og aksellerasjonen uttrykt i karakteristiske storleikar er då gjeven ved

$$a = \frac{2\xi_e}{T^2} = \frac{2}{\gamma} C_s^2 \frac{1}{R_T} \quad (13)$$

slik at den karakteristiske tida vert gjeven ved

$$\frac{1}{T^2} = \frac{1}{\gamma} \frac{C_s^2}{\xi_e R_T} \quad (14)$$

Den karakteriske tida for oscillasjonane er

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega_s} \quad (15)$$

Vi finn difor

$$\frac{T_s}{T} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \frac{C_s}{R \omega_s}} \sqrt{\frac{R}{\xi_e} \frac{R}{R_T}} \quad (16)$$

Vi kan såleis rekna med at teorien vår gjeld dersom

$$2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \frac{C_s}{R \omega_s}} \sqrt{\frac{R}{\xi_e} \frac{R}{R_T}} \ll 1 \quad (17)$$

Ved å velja eksperimentelt relevante parameterverde $a^2 \approx 1/10$, $b \approx 1$ og $\omega_s R / C_0 \approx 1$, så føl det at $Y \approx 2$.

Fra (10) finn vi at

$$\xi_e \leq 4 \left(\frac{R}{\varepsilon^2 R_T} \right) R \quad (18)$$

Med $\varepsilon = 0,2$ og $R/R_T = 3 \cdot 10^{-3}$ finn ein $\xi_e \leq 0,3 R$. Venstre side av ulikskapen (17) vert med $\xi_e = 0,3 R$ lik 0,5.

Desse parameterverda er alle innan ei råme som kan realisera eksperimentelt. Ein må naturlegvis stilla spørsmål om kor langt ein linearisert teori gjeld. Dette og dei andre

spørsmåla som er reiste her vil verta etterprøvd eksperimentelt i Garching, Tyskland av G. H. Wolf. Det planlagde eksperimentet tek sikte på å undersøkja ein theta-pinch konfigurasjon som er bøygd, og såleis svarar til ein sektor av ein toroidal konfigurasjon. Naturlegvis vil endetrap komplisera dette eksperimentet, i fyrste omgang. Men det har store fordeler på den måten at ein unngår mange av dei tekniske komplikasjonane ein M & S konfigurasjon byr på. Dessutan har eit slikt eksperiment stor fleksibilitet på den måten at ein lett kan forandre aspekt forholdet $(R/R_T)^{-1}$, og det er av stor interesse for eksperimentell etterprøving av denne teorien.

III. SLUTTORD

Vi har fyrst gjennomgått i grove trekk nokre alternativ som har vore på tale i toroidal geometri. Etter å ha sett litt på kva som er oppnådd og kva som er hovedproblema for desse, så har vi konsentrert oss om eit nytt alternativ, den dynamiske toroidale θ -pinch konfigurasjonen. Eitt vesentleg problem som ikkje er drøfta her er energibalansen. Det kan lett henda at det å skapa dynamisk likevekt vert for dyrt for ein økonomisk fusjonsreaktor. Men det kan også henda at denne metodikken kan brukast i eit kortare tidsrom under prosessen med å byggja opp ein ekte stabil likevektstilstand. Vi har nemnt Zeta, der ein eksperimentelt har påvist ein relativt stabil sluttfasa, medan plasmaet i stor mon gjekk tapt på grunn av mangel på likevekt og ustabilitetar på vegen mot denne sluttfasen. Det er difor mogeleg at ei eller annan form for dynamisk likevekt kan etablerast under oppbyggingsfasen.

Sjølv ideen med dynamisk likevekt er av stor prinsipiell interesse og kan dessutan bli av praktisk verd for ein kontrollert fusjonsreaktor. Det bør difor gjerast meir gransking både teoretisk og eksperimentelt på dette feltet. Og det burde også vera eit område der det let seg gjera å etterprøva teoretiske resultat eksperimentelt, som i seg sjølv er av stort verd for plasmafysikk og kontrollert fusjonsforskning.

REFERANSER:

- Andelfinger, C.; Decker, G.; Fünfer, E.; Heiss, A.; Keilhacker, M.; Sommer, J. and Ulrich, M.* in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research. Vol. 1, 249, I.A.E.A. Vienna 1966.
Andreotti, J., C. R. Acad. Sci. Paris 257, 1235, (1963).

TABELL I.

STELLERATOR resultat ved I.A.E.A. konferansen i Novosibirsk 1968.

Maskin	Geometri	n cm ⁻³	T _e (eV)	T _i (eV)	innesper- ringstid τ (s)	"Bohm" tid τ_B (s)	τ/τ_B
Lebedev U.S.S.R.	sirkulær	$5 \cdot 10^{10}$	5 - 10	5 - 50	$\leq 2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	~ 2
Princeton U.S.A.	skøyte- bane	10^{10}	5	10	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	~ 8
Novosibirsk U.S.S.R.	nær sirkulær	10^8	7	kaldt	$2 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	~ 20
Culham U.K.	sirkulær	10^{11}	5	?	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	~ 12
Karkov U.S.S.R.	skøyte- bane	$2 \cdot 10^{13}$ $5 \cdot 10^{14}$	10 - 60	50 ?	$\leq 1.5 \cdot 10^{-3}$	$\sim 10^{-4}$	~ 16
Garching F.D.R.	sirkulær	10^9	0.2	0.2	1.0 - 2.5	$2 \cdot 10^{-2}$	~ 100

Berge, G. in Third European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics p. 77, Wolters-Noordhoff Publishing — Groningen, The Netherlands. 1969.

Bodin, H. A. B.; Butt, E. P.; McCartan, J.; Wolf, G. H. in Third European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics p. 76, Wolters-Noordhoff Publishing — Groningen, The Netherlands. 1969.

Bohm, D. in The Characteristics of Electrical Discharge in Magnetic Fields, edited by A. Guthrie and R. K. Wakerling, Chapter 2, Section 5, McGraw-Hill, New York, 1949.

Gibson, A.; Hugill, J.; Reid, G. W.; Rowe, R. A.; Sanders, B. C. in Plasma Physics and Controlled Fusion Research, Vol. 1, p. 456, I.A.E.A. Vienna 1969.

Gribble, R. F.; Little, E. M.; Quinn, W. E.; Ribe, F. L.; Sawyer, G. A.; Thomas, K. S. and Weldon, D. M. in Third European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics p. 79, Wolters-Noordhoff Publishing — Groningen, The Netherlands. 1969.

Ioffe, M. S., Plasma Physics (Vienna; International Atomic Energy Agency) 1965, p. 421.

Junker, J., Phys. Fluids 11, 646 (1968).

Rosenbluth, M. N. and Taylor, J. B., Phys. Rev. Letters, 23, 367 (1969).

Stringer, T. E., Phys. Rev. Letters, 22, 770 (1969).

Taylor, J. B., Phys. Fluids, 6, 1529 (1963).

Wolff, G. H., Zeitschrift für Physik, 227, 291 (1969).

Wolff, G. H. and Berge, G., Phys. Rev. Letters, 22, 1096 (1969).

Internasjonale konferanser

1-3 October

5th Symposium on Thermophysical Properties. Newton, Massachusetts, USA

C.F. Bonilla, Engineering School, Columbia University, New York, N.Y. 10017

\$ 40

4 - 9 October

17th International Union of Biological Sciences, General Assembly

Washington, D.C., USA

F.A. Stafleu, Botanical Museum,
Lange Nieuwstr. 106, Utrecht,
The Netherlands

5 - 7 October

Gallium Arsenide and Related Compounds

Aachen, Federal Republic of Germany

The Meetings Officer, IPPS, 47,
Belgrave Square, London SW1

5 - 10 October

International Congress on Thin Films

Cannes, France

Mme J. Fauvet-Mainier, Société Française des Ingénieurs et Techniciens du Vide. 19, rue du Renard, F-75 Paris 4e 600 FF 200.- member SFITV, FF 250.- non-member SFITV

(forts. s. 64).

Moderne fysikkundervisning

— Prosjekter og meninger i U.S.A. og Europa

II. del.

Torstein Harbo

2. Fysikk og allmenndannelse

I det foregående har vi berørt forholdet mellom fysikk og allmenndannelse. Noen dyptgående analyse har det imidlertid ikke vært tale om. I dette kapitlet skal saken behandles mer systematisk: relasjonen fysikk-allmenndannelse skal fremstilles og drøftes på forskjellig nivå, alt etter hvor dyp og nyansett forståelsen av de impliserte enheter er.

Første nivå, den enkleste form for relasjon: Fysikk og allmenndannelse står i forbindelse med hverandre fordi fysikk inngår som fag i de allmenndannende skoler. Allmenndannende skoler behøver vi i denne forbindelse ikke bestemme mer nøyne enn som skoler for alle, obligatoriske skoler. Selv om reformvirksomheten til å begynne med satte inn så høyt opp (10.-12. klasse) at det på det trinnet ikke kan tales om skole og undervisning for alle, har det vært en markert tendens til å ta opp fysikk — og andre naturfag — på stadig lavere klassetrinn. I USA kommer denne tendens tydelig til uttrykk gjennom alle de prosjekter som i dag er i gang fra barnehage-trinnet til 6. klasse, (eksemplifisert med SCIS-prosjektet). I Europa ser vi det samme: Først bevisste bestrebeler på å bygge opp en bedre og mer planmessig naturfagsundervisning fra 11-12 års alderen av — jfr. Nuffield-prosjektene i England og reformarbeidet ved IPN i Tyskland. Dernest forsøk på å finne fram til en form for undervisning i naturfaglige emner i årene før. — I den grad disse reformtiltakene vinner innpass i de forskjellige lands skolevesen kan man i bokstavelig forstand tale om fysikk for alle.

At utviklingen går i den retning som her er antydet, har ikke bare sammenheng med en voksende forståelse av naturfagenes betydning i de obligatoriske skoler, men også med en temmelig dyptgripende justering av det som inntil det siste har vært den dominerende oppfatningen av barns intellektuelle utvikling. Her er det også tale om «another look». Det er nok så at den arvemessige utrustning og den spontane modning er hovedfaktorer i den intellektuelle utvikling, men disse faktorene er ikke de eneste. Det miljø barna vokser

opp i, de erfaringer de gjør i oppvekstårene, og ikke minst den systematiske opplæring i hjem og skole, virker også inn, og det på en mer avgjørende måte enn tidligere antatt.

I denne forbindelse vises det svært ofte til sveitseren Jean Piagets grunnleggende undersøkelser over barns begrepsforståelse og tenkning. Piaget regner med at der finnes bestemte stadier i tenkningens utvikling, men tidspunktene for overgang fra det ene stadium til det andre er ikke utelukkende bestemt av den spontane bio-psykiske modningsprosess, men også av sosiale og pedagogiske påvirkninger. Dessuten står modning og læring i en så intim vekselvirking med hverandre at en for tydelig sondring mellom dem, kan gi et feilaktig bilde av hva som virkelig foregår.

På lignende måte forholder det seg med selve kunnskapstilegnelsen, også der har vi med et vekselspill å gjøre: mellom det erkjennende subjekt og det erkjente objekt. Det Piaget kaller *operasjon*. «To understand the development of knowledge, we must start with an idea which seems central to me — the idea of an *operation*. Knowledge is not a copy of reality. To know an object, to know an event, is not simply to look at it and make a mental copy or image of it. To know an object is to act on it. To know is to modify, to transform the object, and to understand the process of this transformation, and as a consequence to understand the way the object is constructed. An operation is thus the essence of knowledge; it is an interiorized action which modifies the object of knowledge. For instance an operation would consist of joining objects in a class to construct a classification. Or an operation would consist of ordering, or putting things in a series. Or an operation would consist of counting, or of measuring. In other words, it is a set of actions modifying the object, and enabling the knower to get at the structures of the transformation».

I barnets intellektuelle utvikling finnes der for det første et pre-operasjonelt stadium — det skal vi ikke gå nærmere inn på — og dernest det konkret-operasjonelle. Stadiet kalles det konkrete fordi operasjonene er bundet

til gjenstander barnet kan komme i umiddelbar kontakt med gjennom sine sanser, og ikke til verbalt formulerte hypoteser. Operasjonene arter seg som klassifisering, ordning og telling, de kan foregå i tid og rom, og på de elementære områder i logikk, matematikk, geometri og fysikk.

Det neste og øverste stadium i utviklingen kalles det formalt-operasjonelle stadium. Formalt fordi tenkningen kan løsribe seg fra intellektuelle manipuleringer med konkrete gjenstander, fra det å tenke ved hjelp av anskuelige eksempler. Tenkningen blir i stedet bundet til abstrakte strukturer og til hypoteser, og den får i det hele et mer ledig løp.

Både på det konkrete stadium — som begynner i 5–6 års alderen — og på det formale stadium — som kan nås fra 12-års trinnet av — er det *operasjonene* som er det sentrale. På det grunnlag kunne Harvard-psykologen J. S. Bruner sette fram sin djerke påstand, en påstand som i det siste tiår har blitt gjentatt i det uendelige: «any subject can be taught effectively in some intellectually honest form to any child at any stage of development». — At de aktuelle reformbestrebelsene i naturfagene og i matematikk strekker seg nedover i barneskolen er et tydelig vitnesbyrd om at denne og lignende hypoteser ikke bare hører hjemme i den verbale sfære, men også i handlingens.

Fysikk og allmenndannelse står dernest i nærforsbindelse med hverandre på et annet, og vel også høyere nivå. De primære forbindelseslinjer går da ikke mellom fysikk og allmenndannelsens ytre organisatoriske ramme — den obligatoriske skole —, men mellom fysikk og karakteristiske trekk i samtidens oppfatning av hva som bør være allmenndannelsens *innhold*. Det må straks innrømmes at disse to sett av relasjoner er så sammenfiltret at det er vanskelig å skille dem fra hverandre, for klarhetens skyld skal det imidlertid gjøres.

Dersom vi kaster et blikk tilbake, blir vi fort vår at den encyklopedisk pregede allmenndannelsesoppfatning som ved hundreårrsskiftet gjorde seg så sterkt gjeldende, ikke lenger lar seg opprettholde. Dette er ikke så underlig, for i det 20. hundreåret har kunnskapsmassen vokst enormt. Presset på skolen for å ta opp nytt relevant lærestoff har da også økt tilsvarende. Presset har i det vesentlige kommet fra to sider: fra de vitenskapelige disipliner som på en eller annen måte har tilknytning til skolens fagrets, og dernest

fra den utbredte betraktningsmåte at skolen skal være en «skole for livet», og dermed menes i hovedsaken at den skal beskjefte seg med samtidens økonomiske, teknologiske og politiske problemer.

I denne press-situasjon er det blitt fullstendig klart at skolen ikke kan tilstrebe å gi elevene en smakebit på alt, etablere et «encyklopedisk mångsylsland». For det første vil ikke elevene få tid og anledning til å tildele seg kunnskapsstoffet på en forsvarlig måte, og for det annet vil det ikke gis tilstrekkelig pusterom til selvstendig og kritisk tenkning; den overveldende stoffmengde vil tvert imot ha en tendens til å kvele initiativ, undring og kritikk fra elevenes side. Skolens lærestoff må med andre ord begrenses. Bare det mest vesentlige kan gjøres til gjenstand for systematisk bearbeiding i de allmenn-dannende skoler.

Og nå, endelig, over til fysikken. Hvordan har den klart seg under disse pedagogiske forandringer? Har fysikkundervisningen i skolen fått sin posisjon styrket eller svekket? Det kan ikke være tvil om svaret: Den forskyvning i allmenndannelsesbegrepet innhold som har funnet sted, fra det encyklopediske til konsentrasjon om hoveddimensjonene i kultur og samfunnsliv, en forskyving som er kommet særlig tydelig til uttrykk i de siste tjue år, har styrket fysikkfagets posisjon betydelig.

For det første har naturfagenes og de teknologiske pregede vitenskapers kumulative karakter ført til at kunnskapsutvidelsen har hatt den største — og for lekfolk mest synlige — ekspansjon på disse områder. At dette også må avspeile seg i den allmenndannelse skolen gir, hersker det ikke noen tvil om, meningenene er imidlertid noe delte når det gjelder graden og måten. Uenigheten synes ikke i første rekke å gjelde naturfagenes plass, men spørsmålet om man i tillegg til dem også skal gi plass til mer teknisk pregede aktiviteter, slik man gjør i en rekke øst-europeiske land.

Fysikken har altså fått en mer fremtredende posisjon fordi naturfagsgruppen som helhet har fått det. Men samtidig har fysikken i den pedagogiske sammenheng trådt fram som den sentrale og grunnleggende naturvitenskap — som det fagområde man under enhver omstendighet måtte føre den oppvoksende slekt inn i, dersom det naturvitenskapelige innslag i vår moderne sivilisation skulle bli rett ivaretatt. — I det innledende kapittel ble

det vist til at de moderne fagprosjekter først utviklet seg innenfor matematikk og naturfagene og at ekspansjonen i årene etter også har vært størst på disse fagområdene. Innenfor naturfagene igjen er det fysikken som står i sentrum. Der vokste reformprosjektene først fram, og innenfor de fysikalske disipliner syntes det for tiden å være størst aktivitet.

Forskyvningen i allmenndannelsesbegrepets innhold har dessuten ført til at fysikkfaget er blitt renset. For å gjøre fysikken interessant og aktuell for de unge hadde man tidligere en vel stor tilbøyelighet til å blande fysikk og teknikk sammen. Når hovedsynspunktet blir å føre elevene inn i det vesentligste, unngår man denne avsporing. I alle moderne prosjekter har derfor de tekniske fenomener en helt underordnet betydning. Det er nok så at det tekniske innslag synes å være noe sterkere i IPN-prosjektet i Kiel, men også der bestemmes presentasjonen og bruken av tekniske apparater fra «die Umwelt» av overordnede fysikalske saksforhold. — Og med hensyn til elevenes interesse for fysikk, så går det som en rød tråd gjennom alle reformtiltak: Faget er — så sant det legges fram på den rette måten — interessant nok i seg selv. Noen stimulerende tiltak av ytre karakter trengs ikke.

Fysikk og allmenndannelse har i løpet av de siste tiår blitt knyttet sammen på et tredje nivå. Debatten om skolens fysikkundervisning og de nye reformtiltak har tvunget fysikkens representanter på den ene side og skolens og oppdragelsesvitenskapens menn på den annen, til en grundig gjennomtenkning av hva som i dag bør være fysikkundervisningens mål og oppgave i de allmenndannende skoler. Denne gjennomtenkning har i sin tur virket befruktende på den mer generelle drøfting av hva allmenndannelse i dag innebærer.

De fysikalske vitenskaper eksemplifiserer på en usedvanlig klar måte hvilken intim sammenheng der alltid er mellom innvunnen kunnskap på den ene side og anvendt metode på den annen. At dette også må komme eksplisitt til uttrykk i skolens fysikkundervisning må uten tvil sies å være reformprogrammene sentrale tema. Man har således anklaget den tradisjonelle undervisning fordi den i det vesentlige presenterte fysikken som «a body of knowledge», som en samling av facts og lover, og fordi den forsømte å fremstille den andre side — fysikkens «way of thought». I alle reformprosjektene befitter

man seg derfor på å gi elevene et levende bilde av hvordan den fysikalske kunnskap blir til. Dette er ikke bare noe man beretter om eller viser på film, men man lar elevene — i så stor utstrekning som det er praktisk gjennomførlig og hensiktsmessig — få vandre den samme vei fram til kunnskap og innsikt. Derfor inntar laboratoriet en så sentral plass i de nye undervisningsprogrammene, og det arbeid som foregår der kommer ikke som et demonstrerende anhang til det som allerede er lært, men det føyes organisk inn i undervisningsgangen og peker i første rekke fremover.

Det finnes reformprosjekter og debattinnlegg som poengterer fysikkens og fysikkundervisningens metodeside så sterkt at den side fremtrer som den eneste. Det mest kjente av de prosjekter som i så henseende går mest radikalt til verks, er finansiert av American Association for the Advancement of Science, og det bærer den karakteristiske tittel: «Science — A process Approach». Her er undervisningsprogrammet ordnet omkring bestemte ferdigheter og metodiske fremgangsmåter som skal utvikles hos eleven: observere, klassifisere, måle, oppfatte og bruke tid/rom relasjoner, benytte tall, dra sluttninger, formulere hypoteser, tolke måleresultater, definere, eksperimentere. For å kunne utvikle de ferdigheter det her er tale om må nok elevene ha naturvitenskapelig stoff å trense seg på, men stoffet hentes fra så vidt forskjellige kanter at noen velordnet faglig fremstilling blir det på ingen måte tale om. Metodesynspunktet dominerer fullstendig. Programmet er beregnet på elever fra barnehagetrinnet til 6. klasse.

Også i en rekke innlegg om fysikkundervisningen trer metodeaspektet fram som det overordnede. Her skal bare et par karakteristiske eksempler trekkes inn: «It does not matter», sier en fremtredende fysiker, «whether the student learns any particular set of facts, but it does matter whether he learns how much fun it is to learn — to observe and experiment, to question and analyze the world without any ready-made set of answers and without any premium on the accuracy of his factual results, at least in the field of science.» — Og fra professor i pedagogikk, med naturfagsundervisning som sitt spesiale lyder det: «To state the goals of science education is to describe the cognitive skills expected in the student rather than the knowledge assumed essential to attaining these skills».

Som rimelig er, er også en rekke mer populære fremstillinger preget av denne ensidige betraktningsmåte. Da disse fremstillinger tydeligvis mer tar sikte på å påvirke den aktuelle praksis enn å klargjøre saken, kan man — i alle fall til en viss grad — tilgi overdrivelsene og forstå berettigelsen av dem.

I en rekke innlegg hvor den teoretiske analyse er det vesentligste, kommer imidlertid begge sider av fysikken og fysikkundervisningen til sin rett. Det skal kort eksemplifiseres med noen velformede konklusjoner av henholdsvis en pedagog og en fysiker. «The presentation of science-as-knowledge is not opposed to the presentation of science-as-thought. Like twin stars, the two aspects of science revolve around each other. All the intellectual operations of science-as-thought revolve about science-as-knowledge. Questions always arise within the framework of existing knowledge; observation is a «theoryladen undertaking».» Og fra den andre: «The choice is *neither* facts and laws *nor* inquiry and process; it is *both* facts and laws *and* inquiry and process.»

Norsk Fysisk Selskaps Årsmøte 1970.

Møtet ble holdt under årets fysikermøte i Oslo og var delt på dagene 18. og 19. juni. 5 timer gikk med til møtet. Saklisten var følgende:

1. Referat fra forrige årsmøte
2. Årsmelding
3. European Physical Society
4. Regnskap for 1969 for NFS og FFV
5. Budsjett for 1970 og 1971
6. Oppretting av lokale avdelinger av NFS
7. Nye medlemmer i NFS
8. Det interne fysikkrådet
 - a) årsmelding
 - b) forlenging av funksjonstida?
9. Fysikermøtet 1971, tid og sted.
10. Valg
11. Eventuelt.

Under pkt. 3 ble det vedtatt at formannen og viseformannen skulle fungere som delegerete til EPS Council og spørsmålet om videre representasjon ble utsatt til neste årsmøte.

Pkt. 5. Etter forslag fra H. Trefall ble det vedtatt å ta registreringsavgiften for fysikermøtet med i budsjettet. Med dette tillegg ble de foreslalte budsjetttrammene på henholds-

I de fysikkprosjekter som ble nevnt i foregående kapittel er det heller ikke tale om et enten — eller, men om et både — og. Det må innrømmes at dette vanskelige balanse-spørsmål ikke er løst på samme måte i de forskjellige prosjekter. Det er også sannsynlig at man ved en nærmere analyse vil komme til det resultat at enkelte programmer har en tendens til å sveinge over til den ene side mens andre har en viss tilbøyelighet til å tippe til den motsatte.

Den problematikk som her er rullet opp, mellom kunnskap og metode, hører imidlertid ikke bare fysikkundervirningen til. Det angår undervisningen i sin alminnelighet. Og dersom begrepet allmenndannelse anvendes i vid betydning, altså slik at det ikke bare går på lærestoffets bredde eller dybde, men også på de metoder som er knyttet til, finner vi det samme tema igjen. At reformvirksomheten innen skolens fysikkundervisning har vakt slik oppmerksomhet blandt fagpedagoger både i USA og Europa skyldes nok ikke minst dette forhold.

vis kr. 29.700,— og kr. 32.300,— for 1970 og 1971 vedtatt.

Pkt. 6. Følgende forslag fra Styret ble vedtatt: «Årsmøtet gir sin tilslutning til at Styret tar initiativ til opprettelse av lokale avdelinger av Norsk Fysisk Selskap der dette er ønskelig.»

Pkt. 7. Siden årsmøtet 1969 er det oppatt 45 nye medlemmer.

Pkt. 8. Rådets forman Haakon Olsen leste årsmeldingen. Under pkt. b hadde styrets medlemmer A. Graue, G. J. Kvifte, N. Norman og H. Sørum fremsatt følgende forslag:

«I brev av 18. mars i år fra Hovedkomiteen for Norsk Forskning ved direktør E. Fjellbirkeland blir det påpekt at Fysikkrådets eventuelle tilknytning til Hovedkomiteen reiser vidtgående prinsipielle spørsmål og at saken derfor trenger avklaring før man kan ta et endelig standpunkt.

I påvente av at Hovedkomiteen nu vil utrede alternative organisasjonsformer for faglige råd tilknyttet Hovedkomiteen vedtar Årsmøtet å forlenge Fysikkrådets funksjonstid med et år. Dets mandat begrenses til å videreføre kartleggingsarbeidet av norsk fysikk og (forts. s. 62).

Fisjonsisomeri

Per Olav Tjøm

1. Fisjon.

I 1939 oppdaget Hahn og Strassmann at tunge kjerner slik som uran ved bestråling med nøytroner spaltes i to lette kjerner. Denne prosess har fått navnet fisjon og har kommet til å spille en enorm rolle i vårt samfunn. At prosessen er energetisk mulig skyldes at for nukleontall $A \sim 120$ er bindingsenergien per nukleon 8.5 MeV, mens den kun er 7.5 MeV per nukleon for de tyngste elementer. Ved spalting av uran med dets ca.

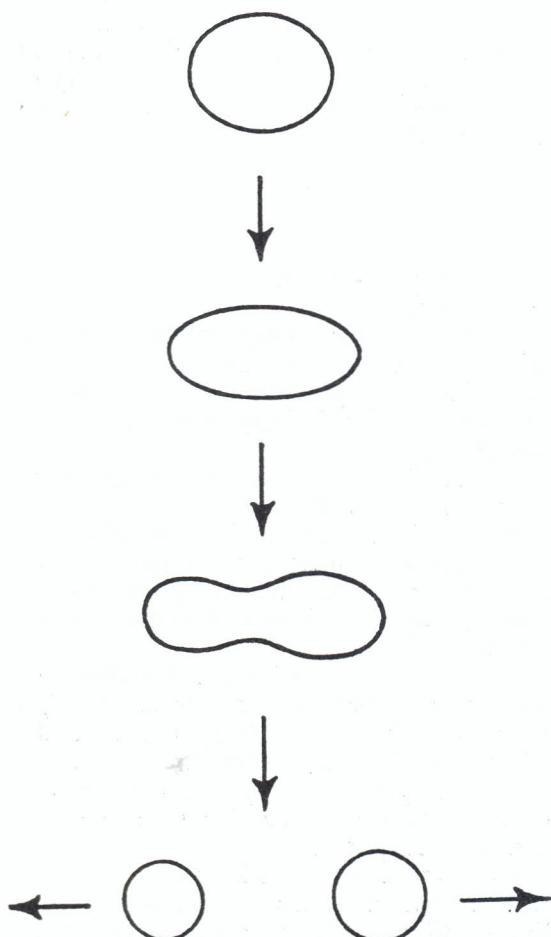


Fig. 1. Skjematisk fremstilling av fisjonsprosessens forløp.

* Fysisk institut, Universitetet i Oslo.

200 nukleoner i to lettere elementer kan enderfor vinne en energi på ca. 200 MeV.

2. Teori for fisjon.

Kort etter oppdagelsen av fisjonsprosessen utarbeidet Bohr og Wheeler en teori for prosessen som baserte seg på den semiempiriske masseformel som er satt opp ved hjelp av væskedråpemodellen for kjerner. Selve fisjonsprosessen tenkte de seg foregå som illustrert i fig. 1, der kjernematerien blir satt i så store svingninger at den til slutt deler seg i to kjerner. Dersom en sfærisk kjerne, eller for den saks skyld en stabil deformert kjerne, deformeres og den potensielle energi øker ved denne deformasjon, så er utgangsformen stabil. Det er to ledd i den semiempiriske masseformel som er særlig følsom overfor denne deformasjon av kjernen: Det er overflateenergien og den elektrostatiske energi. Dersom det forlanges at den sfæriske og deformerte kjerne skal ha samme volum kan en definere den store og lille akse i en elipsoide som

$$a = R(1 + \varepsilon)$$

$$b = R(1 + \varepsilon)^{-1/2}$$

der R er den sfæriske kjernes radius og ε måler avviket fra den form. Den totale forandring i den potensielle energi ΔE kan uttrykkes som

$$\Delta E = \varepsilon^2(K_1 A^{2/3} - K_2 Z^2 A^{-1/3})$$

der Z og A er henholdsvis kjernens atomnummer og nukleontall. Ved rimelige verdier på konstantene K_1 og K_2 finner en at $\Delta E > 0$ for $Z^2/A < 47.8$. Kjerner som tilfredsstiller dette krav skulle være stabile.

La oss undersøke den potensielle energi av f. eks. en urankjerne fra dens stabile utgangsform til den tilstand hvor de to fisjonsfragmenter er fullstendig separert. Ved økende deformasjon av kjernen vil overflateenergien øke, men coulombenergien vil avta på grunn av at avstanden mellom ladningene blir større. Den potensielle energi vil ha et forløp som skissert på fig. 2 i område I. I overgangsom-

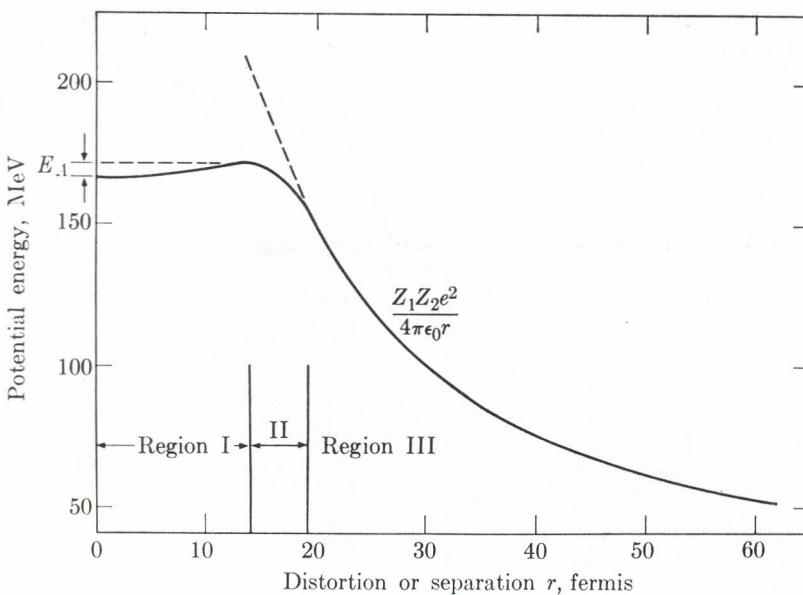


Fig. 2. Potentiel energi av en fisjonerende kjerne som funksjon av avstanden mellom fisjonsfragmentene.

rådet II der kjernen går over fra å være en kjerne til to er forløpet av den potensielle energi ikke så godt kjent, men i område III der avstanden mellom de to fragmentene er stor vil den potensielle energi avta hyperbolisk. ($V = Z_1 Z_2 e^2 / 4\pi\epsilon_0 r$). Vi ser at systemet må trenge gjennom en potensialbarriere før fisjonen kan finne sted. Det er denne barriieren som er blitt mindre for de kjerner som har lett for å fisjonere. Kvantmekanisk er det alltid en endelig sannsynlighet, tunnleffekten, for at potensialbarrieren kan gjennomtrenget avhengig av dens verdi. Dersom kjernen fisjonerer uten ytre påvirkning kalles denne prosess for spontan fisjon. En kjerne kan bringes til å fisjonere ved å tilføre den energi f. eks. ved absorpsjon av et nøytron. Den compound kjerne som dannes kan da være så høyt eksiteret at det ikke er noen hindring for at kjernen skal fisjonere. Denne prosess vil gå meget hurtig, i løpet av 10^{-14} s, og kalles for prompt fisjon.

3. Halveringstiden for spontan fisjon.

Som diskutert ovenfor var Z^2/A en viktig parameter for en kjernes stabilitet mot fisjon, og en skulle vente at sannsynligheten for spontan fisjon vokser med økende verdi på parameteren Z^2/A . I fig. 3 er halveringstiden for spontan fisjon plottet som funksjon av Z^2/A . For uran isotopen ^{236}U er halveringstiden ca. 10^{16} år, og for ^{254}Fm ca. 1 år. Videre kan det legges merke til at halveringstiden varierer opp til en faktor 10^4 bare ved å for-

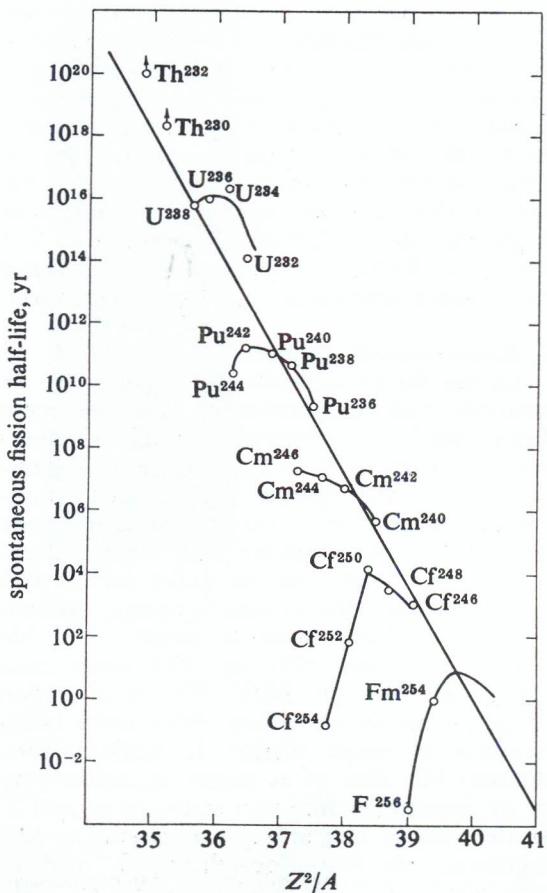


Fig. 3. Halveringstiden for spontant fisjonerende kjerner som funksjon av parameteren Z^2/A .

andre nøytrontallet med 4 for californium isotopene. Den rette linje i fig. 3 er den forventede variasjon av halveringstiden som funksjon av Z^2/A ut fra væskedråpmodellen. Det observerte avvik fra denne modell tyder på at barrieren mot fisjon varierer mye fra isotop til isotop. Men når dette er sagt skal det legges merke til i fig. 3 den imponerende systematikk som er observert for de spontan fisjonerende kjerner.

4. Fisjonsisomere.

På grunn av den observerte systematikk for spontan fisjon vakte det stor oppsikt da en gruppe i Dubna, Sovjet, under ledelse av professor Flerov i 1962 fant at ^{242}Am hadde en spontan fisjons halveringstid på noen millisekunder. Dette er en halveringstid som er 10^{19} ganger kortere enn det man skulle vente ut fra systematikken i fig. 3. En mulig forklaring kunne være at det var et høyt eksitert nivå i potensialbrønnen skissert i fig. 2 som fisjonerte spontant, da sannsynligheten for spontan fisjon vil øke med avtagende potensial barriere. Men det er vanskelig å forklare at fisjonsprosessen med en halveringstid på noen millisekunder kan konkurrere med utsendelsen av gamma-stråling fra et høyt eksitert energinivå. Særlig da det ble vist at det ikke var høy spinntilstand som fisjonerte, og at eksitasjonsenergien var 2–3 MeV, ble det klart at kjernen var i en tilstand der gamma utsendelse var sterkt forhindret.

5. Eksperimentelle metoder.

La oss for et øyeblikk gå tilbake og se på hvordan man eksperimentelt kan observere fisjon med halveringstid i millisekundområdet og kortere. Som fig. 3 viser øker sannsynligheten for spontan fisjon med atomnummeret og ^{256}Fm var i 1962 den kjernen som hadde den korteste observerte halveringstid, 2.7 timer. Det var under forsøk på å produsere flere kjerner som fisjonerte spontant at man oppdaget fisjonsisomerene. ^{238}U ble bombardert med ^{22}Ne og ^{16}O ioner med energi på over 100 MeV. Fig. 4 viser den eksperimentelle oppstilling. ^{22}Ne ioner bombarderer et target merket 1. Reaksjonsproduktene blir slått ut av targetet og samles opp på et aluminiumsfolie som settes på et hjul 2. Hjulet roterer slik at fisjonsfragmentene kan registreres av ionisasjonsstellerne 3. med et tynt vindu 4. Ved bombardement av ^{238}U med tunge prosjektiler som ^{22}Ne og ^{16}O kan mange forskjellige sluttkjerner dannes, og

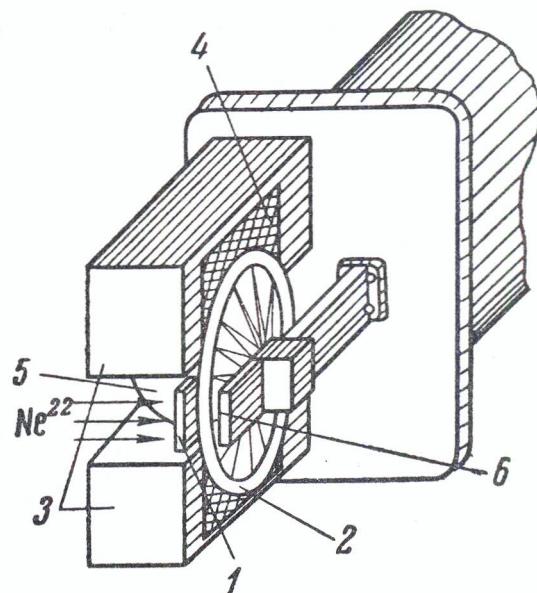


Fig. 4. Oppstilling til registrering av fisjonsfragmenter. Tallene refererer seg til: 1) target 2) hjul 3) og 4) ionisasjonskammer. Ref. 1.

av den grunn kunne man ikke fra dette første forsøk identifisere hvilken kjern som fisjonerte spontant. Men ved undersøkelse med andre target og lettere prosjektiler som nøytron, deuteron og alfa-partikler fant man at det var ^{242}Am som spontan fisjonerte med en halveringstid på 14 ms. Siden den første fisjonsisomer ble funnet i 1962 er det oppdaget mange kjerner som spontan fisjonerer med mye kortere halveringstid enn det man skulle ventet ut fra systematikken i fig. 3. Flere grupper har vært aktive på dette feltet blant annet en gruppe ved Niels Bohr Institutet, Danmark, under ledelse av dr. Bjørnholm. De har benyttet en noe annen eksperimentell teknikk ved å utnytte at fisjonsfragmentene kan ødelegge vanlig glass slik at det ved etsing dannes et spor som kan sees under et mikroskop. Fordelen ved å bruke en glassplate som detektor i stedet for f. eks. en fotografisk emulsjon er at partikler som protoner, deuteroner, alfa partikler osv., som dannes ved reaksjonen i stort antall, ikke registreres av en glassplate.

Fig. 5 viser et skjematisk bilde av den eksperimentelle oppstilling. Et roterende hjul med 4 åpninger med 90° imellom slipper prosjektilene igjennom til targetet i 1.9 ms. fire ganger ved en omdreining av hjulet. Mellom åpningene er det plassert glassplater som registrerer de utsendte fisjonsfragmenter i 3.2 ms. Fragmenter fra prompt fisjon som

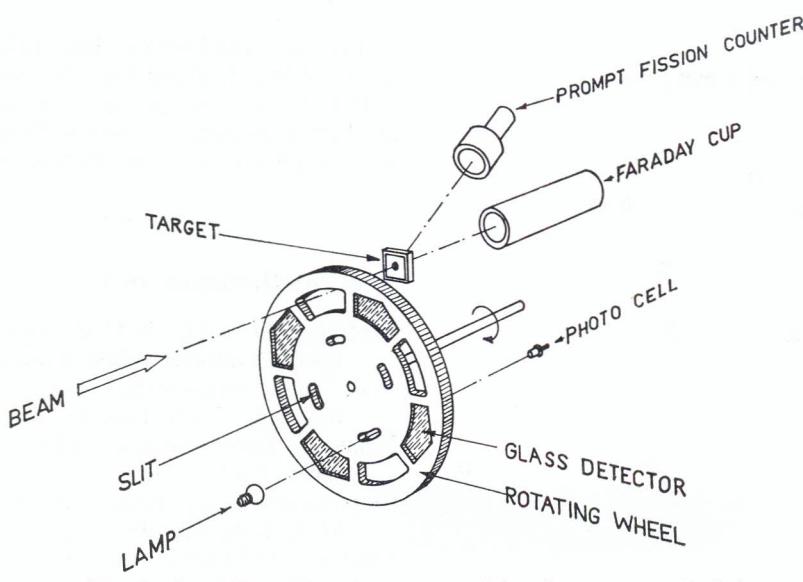


Fig. 5. Oppstilling til registrering av fisjonsfrag- menter. Ref. 2.

er en hurtig prosess kan ikke se glassplatene på grunn av en kollimator som ikke er vist på fig. 5. En fotoselle styrer ionestrålen slik at den stoppes før targetkammeret under registreringen.

I stedet for å bruke glassplater til registrering av fisjonsfragmentene har det vist seg å være mulig å bruke et plastfolie. Fig. 6 viser en annen oppstilling enn den som er skissert i fig. 5, der fisjonsfragmentene registreres av plast folier som danner 18° med prosjektilaksen. Ved f. eks. en (d, p) reaksjon kan en kjerne «rives løs» fra target og fortsette mellom plast foliene, hvor langt den kommer fra target avhenger blant annet av levetiden for fisjon.

Med den oppstilling som er vist i fig. 6 der plast foliene er 15 cm lange kan en måle levetiden fra ca. 10 ns til ca. 2 μs .

Etter eksponeringen blir foliet etset slik at mikroskopiske hull dannes i foliet der fisjonsfragmentene har truffet. Ved å plassere foliet som isolator mellom to elektroder der den ene er en tynn spiss, og bevege spissen, vil man få en gnist når hullene passerer og denne gnisten vil øke størrelsen av hullene slik at de kan sees med det blotte øye. Denne metoden er mye hurtigere enn å bruke et mikroskop og sikrere. Fig. 7 viser et bilde av et folie der de forstørrede hullene etter fisjonsfragmentene kan sees tydelig.

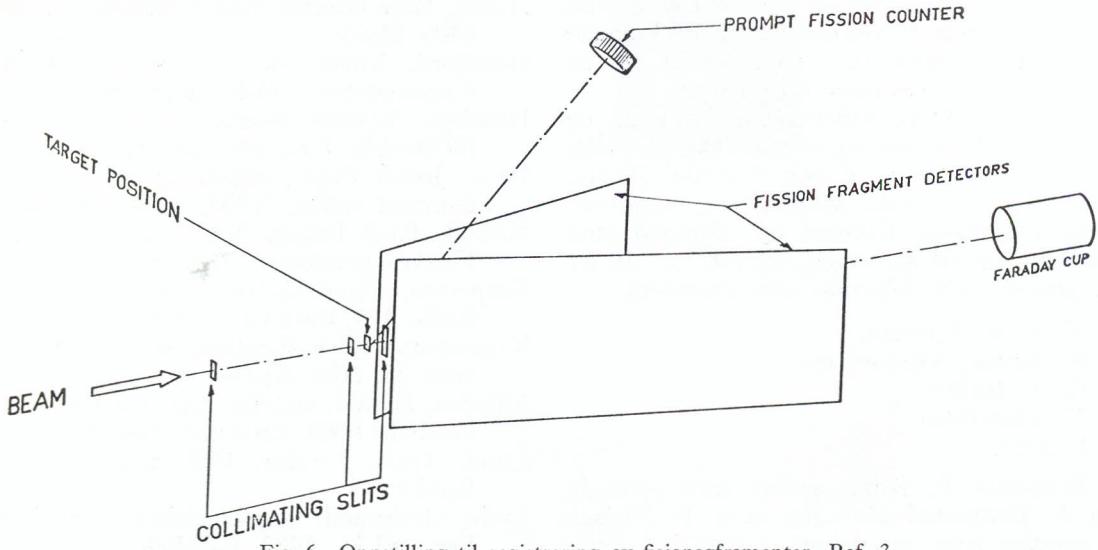


Fig. 6. Oppstilling til registrering av fisjonsgframenter. Ref. 3.

→ 1 mm ←

Fig. 7. Bilde av et folie som er brukt til registrering av fiksionsfragmenter. Ref. 4.

(forts. neste hefte).

(forts. fra s. 57).

samordne de forskjellige forskningsgruppene planer. En finner det lite naturlig at Fysikkrådet i den nuværende situasjon gir seg i kast med noen prioritetsvurderinger av dette materiale.» Forslaget ble enstemmig vedtatt. Et forslag fra R. S. Sigmond om å la de to siste periodene av forslaget utgå fikk 18 stemmer mens 27 stemte imot.

Pkt. 9 A. Graue ønsket på vegne av Fysisk Institutt i Bergen velkommen til fysikermøte neste år i Bergen, men ba samtidig om en viss frist til å bestemme tidspunktet.

Pkt. 10. Styremedlemmene Norman og Sørum stod på valg og mottok ikke gjenvaalg. Valgkomiteen foreslo T. Henriksen og I. Svare. Disse ble valgt med akklamasjon. Varamennene Gjøtterud, Kolsrud og Sigmond stod på valg og ble gjenvaagt. Styret har da fra 1. januar 1971 følgende sammensetning:

T. Riste, formann
A. Graue, viseformann
G. J. Kvifte
T. Henriksen
I. Svare.

Revisoren F. Bakke ønsket ikke gjenvaalg og A. Rannestad ble valgt med T. Nielsen (gjenvaalg) som varamann.

Til ny valgkomite ble følgende valgt:
T. Grotdal, J. Sandstad, H. Sørum.

Pkt. 11. E. Spangen ga et foreløpig resultat av kartleggingen av norsk fysikk som han foretar på oppdrag av Fysikkrådet.

Nye medlemmer 1970

Bratteng, Ove M., NAVF stipendiat, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø
Bøe, Jacob, universitetslektor, Norges Lærerhøgskole, 7000 Trondheim
Braaten, Lars, forsker, FFI, E, boks 25, 2007 Kjeller
Engebretsen, Jan Erik, forskningsstipendiat, IFA, boks 40, 2007 Kjeller
Engvold, Oddbjørn, amanuensis, Astrofysisk institutt, Universitetet i Oslo, Blindern Oslo 3
Espedal, Magne S., vit.ass. Universitetet i Bergen, Mat. avd. B, Allegt. 55, 5000 Bergen
Epsvik, Ola, siv.ing. FFI-E, boks 25, 2007 Kjeller
Frøhaug, John, lektor, Teisen skole, Teisenveien 5, Oslo 6
Førli, Olav, siv.ing. Noratom-Norcontrol A/S, IFA, boks 40, 2007 Kjeller
Gibstein, Moshe, avd.ing., Det Norske Veritas, Grenseveien 92, Oslo 6
Hansen, Vidar, vit.ass, Fysisk Institutt, NLH, 1432 Vollebekk
Haugen, Finn, inspektør, Eikeli Gymnas, Nadderudveien 106, 1340 Bekkestua
Heidal, Kåre Gunnar, lektor, Molde Gymnas, 6400 Molde
Horsfjord, Vidar, vit.ass., Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3
Husebye, Eystein Sverre, forsker, KIRA/NORSAR, P.O. 40, 2007 Kjeller
Høye, Johan Skule, stipendiat, Institutt for teoretisk fysikk, NTH, 7034 Trondheim
Håland, Kjell Erling, NAVF-stipendiat, SI, Forskningsveien 1, Oslo 3
Kaspersen, Peter Lyder, Fysiker, Simonsen Radio A/S, Ensjøveien 18, Oslo 6
Kristiansen, Kåre Kristian, siv.ing., FFI-S, boks 25, 2007 Kjeller
Lillelien, Harald, avd.ing. Det Norske Veritas Postboks 6060, Etterstad, Oslo 6
Lund, Terje, Forsker, FFI, boks 25, 2007 Kjeller
Lyslo, Gudmund, Høgskolelektor, Inst. Mat. Fag. NLH, 1432 Vollebekk

- Palm, Enok Johannes, professor, Matematisk institutt, avd. B, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3
- Riber-Mohn, Dag, stipendiat, FFI-MAT/KIRA, Boks 70, 2007 Kjeller
- Rygg, Harald Olav, forsker, FFI, boks 25, 2007 Kjeller
- Røegggen, Inge, vit.ass., Fysisk Institutt, Universitet i Oslo, Blindern, Oslo 3
- Sikkeland, Torbjørn, professor dr. philos., Fysisk Institutt, NTH, 7034 Trondheim
- Skrinde, Sigmund, førstesekretær, Kirke- og Undervisningsdepartementet, Oslo-Dep., Oslo 1
- Stamnes, Jakob Johan, vit.ass. Institutt for Almen Fysikk, NTH, 7034 Trondheim
- Stokseth, Per Aage, forsker, FFI-E, boks 25, 2007 Kjeller
- Strickert, Trond, kontrollfysiker, Statens Institutt for Strålehygiene, Montebello, Oslo 3
- Søvik, Rolf Petter, stipendiat, Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3
- Wang, Ivar Hartvig, tekn. dir. Damvegen 1, Oslo 5
- Wedde, Tor, stipendiat, FFI-E, boks 25, 2007 Kjeller
- Welde, Finn Heibye, siv.ing., Gml. Drammensvei 309c, 1370, Asker
- Wehte, Per Ivar, fysiker, IFA, boks 40, 2007 Kjeller
- Øien, Alf Hartvig, vit.ass., Mat. inst., avd. B, i Bergen, Allegt. 55, Bergen 5000
- Øines, Sverre, lab.ing., Fysisk Inst. avd. A, Universitetet i Bergen, Allegt. 53/55, 5000 Bergen
- Øye, Olav, fysiker, IFA, boks 40, 2007 Kjeller
- Aasen, Kjell Kristian, lektor, Kristiansand lærerskole, 4600 Kristiansand S
- Aashamar, Kjell, vit.ass., Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3
-

Bøker

Fligge, S. (ed.): Handbuch der Physik. Bd. 18¹. Magnetismus/Magnetism (Ed. H. J. P. Wijn). Springer-Verlag 1968 (592 s.).

Denne boka inneholder fem verdifulle artiklar som grovt sett kan delast i to grupper, dei tre første kan reknast til paramagnetisk resonans og dei to siste til magnetiske og andre fysiske eigenskapar til isolatorar og halvleiarar.

Den første gruppa inneholder desse artiklane: Verstelle og Curtis: Paramagnetic Relaxation (93 s.), Ingram: Electron Spin Resonance (51 s.) og Wertz: Structural Information from Paramagnetic Resonance (120 s.). Den som vil lese alle tre artiklane bør først lese den andre av dei. Forfattaren seier at artikkelen er ein freistnad på å gi eit noyaktig og samanhengende bilde av både dei generelle prinsippa til elektronresonans og dei eksperimentelle metodene som blir brukte. Dette har han i full mon greidd. Han har ikkje kome inn på dei talrike områda av fysikk og kjemi der teknikken blir brukta, det får vi derimot ei smakebit av i dei to andre artiklane, dvs. den av Verstelle og Curtis og den av Wertz. Den første av desse er stort sett teoretisk og har få referansar til eksperimentelle resultat. I framstillinga er det lagt stor vekt på den historiske utviklinga av teorien. Wertz' artikkel har ein naturleg plass ved sida av Inggrams artikkel, men knapt i ei artikkelsamling under tittelen magnetisme. Wertz er fysikalsk kjemikar og gir eit breit oversyn over molekylstrukturen til omgivnadene til atom og molekyl med paramagnetiske sentra.

Den andre gruppa inneholder to artiklar: Vonsovsky og Karpenko: Austauschwechselwirkung in Isolatoren (124 s.) og deretter Methfessel og Mattis: Magnetic semiconductors (174 s.). Den som tidlegare har lese Vonsovskys bok «Ferromagnetismus» frå 1956 blir gledeleg overraska over å finne eit fullstendig oversyn over emnet med referanser til dei viktigaste arbeida av fysikarar også frå vestlege land. Artikkelen er reint teoretisk med sporadiske referansar til eksperimentelle resultat. Artikkelen om magnetiske halvleiarar er eit oversyn over teori og eksperiment på magnetiske halvleiarar, med hovudvekta på stoff der sjeldje jordarter inngår. Emnet for artikkelen er desse fysiske eigenskapane: dei atomære, dei optiske, transporteigenskapar og magnetiske vekselvirkingar.

Ein annan viktig eigenskap til boka som bør nemnast er den tysk-engelske ordlista over den tekniske terminologien i boka.

Meldaren av denne boka hadde gjerne sett at den siste artikkelen kunne kjøpast som ei eiga bok, ein annan meldar ville truleg seie det same om ein av dei andre artiklane. Bøker av Handbuch-typen blir lett for inhomogene i emneval til at mange einskildpersonar vil kjøpe dei, men dei har sin naturlege plass i alle naturvitenskaplege og tekniske fagbibliotek.

T. Riste.

Internasjonale konferanser

6 - 9 October

4th International Conference on Plutonium and Other Actinides
Santa Fe, New Mexico, USA
F.W. Schonfeld, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87544

7 - 9 October

Microwave Power Symposium Scheveningen, The Netherlands
H.A. Puschner, CH-5314 Kleindöttingen
A: 31.5.70/P: 31.5.70/200-300
\$ 25

11 - 17 October

The Physics and Chemistry of Semiconductors, Heterojunctions and Layer Structures

Budapest, Hungary

G. Gergely, Vice President of the Organizing Committee, POB 76, Budapest IV, Ujpest 1
P: 1.7.70
IUPAP / \$ 45

16 - 18 October

Autumn Meeting of Swiss Physical Society
Basel, Switzerland
F. Kneubühl, Physik-Institut, ETH, Gloriustr. 35, CH-8006 Zürich

19 - 24 October

Material Testing
Budapest, Hungary
Scientific Society of Mechanical Engineers, Szabadság tér 17, Budapest V

19 - 24 October

Statistical Mechanics
Mexico
E. Braun & A. Morales, Comision Nacional de Energía Nuclear, Av. Insurgentes Sur 1079, Apartado Postal No 27-190, Mexico 18, D.F.
IPAP

26 - 28 October

17th Spectroscopy Symposium and Exhibition of Instrumentation
Ottawa, Canada
R. Ironside, Applied Chemistry Division, National Research Council, Ottawa 7
P: 24.5.70 / 200
Canadian Dollars 15

28 - 29 October

Radiation and Isotope Techniques in the Building Industry
Brussels, Belgium
Eurisotop Office, Commission of the European Communities, Berlaymont Building, 200, rue de la Loi, B-1040 Brussels
P: 15.3.70

28 - 30 October

International Electron Devices Meeting
Washington, D.C., USA
Meetings Information, IEEE, 345 E. 47th St., New York, N.Y. 10017

28 October - 3 November

National Meeting of the Italian Physical Society
Venice, Italy
Italian Physical Society, Via L. degli Andalò 2, 1-40124 Bologna
A: 11.9.70 / P: 11.9.70 / 600-800 / inv.
Italian / Lire 1000, Lire 3000

4 - 6 November

Nuclear Science Symposium
New York, N.Y., USA
Meetings Information, IEEE, 345 E. 47th St., New York, N.Y. 10017

15 - 19 November

American Nuclear Society and Atomic Industrial Forum, Joint Meeting and Atomic Fair
Washington, D.C., USA
R.R. Quinn, Meetings Manager, American Nuclear Society, 244 East Ogden Ave., Hinsdale, Ill. 60521

15 - 19 November

Magnetism and Magnetic Materials
Los Angeles, Calif., USA
Meetings Information, IEEE, 345 E. 47th St., New York, N.Y. 10017

17 - 19 November

Fall Joint Computer Conference
Houston, Texas, USA
AFIPS HDQS, 210 Summit Ave., Montvale, N.J. 07645

17 - 21 November

Laser Plasma
Moscow, USSR
O.N. Krokhin, P.N. Lebedev Physics Institute, Academy of Sciences of the USSR, Leninskiy Prospekt 53, Moscow B-312
P: June / 150 / inv.

23 - 27 November

Symposium on New Developments in Physical and Biological Radiation Detectors
Vienna, Austria
H.H. Storhaug, Division of Scientific and Technical Information, IAEA, Kärntnerring 11, POB 590, A-1011 Vienna
P: 10.7.70 / inv.

14 - 15 December

Optical Studies of Adsorbed Layers
London, UK
The Faraday Society, 6 Gray's Inn Square, London WC 1
100-150 / inv.
£ 3

14 - 18 December

Relativistic Astrophysics
Austin, Texas, USA
L.C. Sheph, Physics Department, University of Texas, Austin, Texas 78712

Sommerskoler

12 - 16 October

Superconductivity
Pegnitz, Federal Republic of Germany
R. Gremmelmaier, Siemens AG, Forschungslaboratorien, Günther-Scharowsky-Str. 2, D-852 Erlangen

A: 29.5.70 / 60 / inv.
German

13 - 27 October

Plasma Physics
Telavi, USSR
H.L. Tsinsadze, Institute of Physics of the Georgian Academy of the USSR, Tbilisi

July

Interaction of Energetic Charged Particles with Solids
Ankara, Turkey
E. Inonü, Middle East Technical University, Ankara

July

Plasma Physics Summerschool
Les Houches, France
J.L. Delcroix, Laboratoire de Physique des Plasmas, F-91 Orsay

Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. Haakon Olsen, N.L.H.T.
Redaksjonskomite:
Rektor Finn Berntsen, Strinda Høg.
Almenskole, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer,
Universitetet, Blindern.
Cand. real. Olav Steinsvoll, Institutt for
Atomenergi, Kjeller.
Professor Steingrim Skavlem, Universi-
tetet i Bergen.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genéve.

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dr. philos Tormod Riste

Styre: Dosent Arnfinn Graue
Professor H. Sørum
Professor dr. Nicolai Norman
Cand. real. Gunnar Kvifte

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

Postgirokonto: 88388 Bankgirokonto: 8601 - 236880

Teknisk medarbeider og
Annonser: Lab.ing. H. Torgersen, N. T. H.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 15,-. Årsabonnement for studenter og skolelever kr. 10,-.

Sekretær: Gudrun Grasmann
Ekspedisjonens adresse: Fra Fysikkens Verden,
Fysisk Institutt, N. L. H. T.,
7000 — Trondheim.

Postgirokonto: 10472 Bankgirokonto: 8601-236545

GYMNASIASTER OG STUDENTER!

Dere kan få

Fra Fysikkens Verden

til redusert pris: kr. 10,— pr. år.

Abonnement kan tegnes enten ved postverket
eller ved direkte henvendelse, se adressen ovenfor.