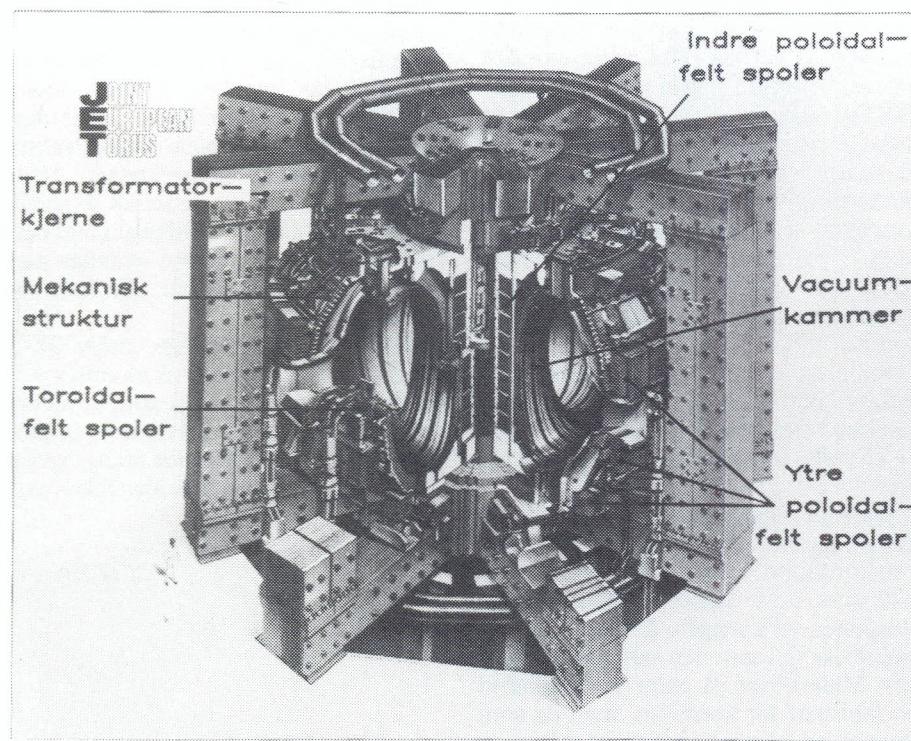


Fra

Fysikkens

Verden

JET — Joint European Torus



Nr.1 - 1987
49. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Tor I. Langeland

Innhold

G. Berge: Fusjonsenergi	5
A. Johnsson: Naturvitenskap på frimerker	12
J. Gjønnes og A. Olsen: Elektronmikroskopি	14
Fra Redaktørene	2
Til Forfatterne	2
Nytt fra Skolen	2
In Memoriam: H.Wergeland	3
FFV-Panelet: Finn Ravndal	4
Nyheter FFV: Supraleiing	19
Bokomtaler	20
Konferanser: μ SR-Spektroskopi	21
Fysikarmøtet 1987	22
Nytt fra NFS	24

Fra Redaktørene

Med dette nummer er Fra Fysikkens Verden inne i sin 49. årgang, med nytt format og med ny redaksjon. La oss innrømme det først som sist, det er med stor spenning vi kaster oss ut i det. Heldigvis har vi med oss en erfaren redaksjonskomité. Redaksjonen har en god faglig og geografisk spredning, med representanter fra Tromsø, Trondheim, Bergen, Kjeller og Oslo. Sammen håper vi at bladet skal utvikles videre i forlengelsen av tidligere redaksjoners store innsats.

FFV har flere roller å fylle innen det norske fysikkmiljø. Det er et medlemsblad for Norsk Fysisk Selskap, og bør derfor tjene som et forum for utveksling av meninger og synspunkter på problemer som angår oss som fysikere; faglige og fagpolitiske. For å stimulere denne funksjon ved FFV, introduserer vi en egen spalte: «FFV – panelet». Her vil kolleger med solid forankring i fysikkmiljøet bli bedt om å formidle synspunkter og tanker som de er opptatt av til et noe bredere forum enn deres eget lokalmiljø.

FFV skal og bør være *mer* enn et medlemsblad for NFS. Bladets første redaktør, professor Egil A. Hylleraas, fastla bladets redaksjonelle linje som «halveis populær». Hylleraas så det som en stor oppgave å formidle kunnskap og viden fra et fag som fylte hele hans liv, og som danner en av hovedpillarene for vår teknologiske sivilisasjon. Vi ønsker å fortsette denne linjen. Vi har ingen ambisjoner om – eller ressurser til – å kaste oss inn på den «kulørte» populærvitenskaps marked. Det vi vil legge vekt på er faglige perspektiver og faglig holdbarhet med en presentasjonsform som er «halveis populær», dvs. med artikler som i faglig dybde og terminologi henvender seg til den fysikkinteresserte leser, det være seg elever i den videregående skolen, deres fysikkårere, eller fysikere som vil orientere seg på andre områder av fysikken enn eget spesialfelt.

Fysikk er et viktig fag og det er et vanskelig fag; det stiller krav til både den som skriver og den som leser. Vi ser derfor frem til det samarbeid med våre kolleger som er nødvendig for å kunne videreforside alt det spennende og interessante vi kan hente **Fra Fysikkens Verden**.

∞

Til Forfatterne

Dette og framtidige nummer av FFV vil bli satt med robotsats direkte fra manuskript skrevet inn på datadisketter. Ved hjelp av denne teknikken er det mulig å forenkle store deler av manuskripttilrettelegging, setting og korrektur.

Fra redaksjonen sendes manuskriptene til trykkeriet på en 5 1/4 tommers diskett skrevet i ordbehandlingssystemet «Word Perfect». I manuskriptet er det satt inn typografiske direktiver som forteller robotsetteren hvilke typer som skal brukes, om overskrifter, figurtekster, referanser etc., og om spesialtegn. Direktivene som brukes er fra et norsk utviklet grafisk system som heter «Inmark».

For de mest produktive forfattere med eget ordbehandlingsystem kan det være rasjonelt å bruke dette systemet direkte. Detaljer vil dere få fra redaksjonen. Imidlertid har trykkeriet programvare som oversetter manuskriptene fra «Word Perfect» til «Inmark».

For redaksjonen vil det være best å få manuskripter på diskett skrevet i «Word Perfect». Nesten like bra er det å få manuskriptene skrevet i «Word Star» som vi oversetter med egen programvare. Det er også relativt enkelt for oss å motta manuskripter på diskett skrevet i ren ASCII kode, noe som alle ordbehandlingssystemer kan lage.

Begrensningen kan være selve diskettformatet. Vi tør ikke sveve, men vi mener at vi på Fysisk institutt kan lese alle formater og tettheter av 5 1/4 tommers disketter, såvel fra IBM maskiner eller «kloner» som fra CP/M maskiner (f.eks. TIKI). Videre kan vi lese 3 tommers disketter, samt 8 tommers for alle ND maskiner. Manuskripter i «NOTIS» skulle gå fint. Det vi ikke kan lese (eller oversette) er spesielle diskformater som MACINTOSH og AMSTRAD. Men under alle omstendigheter, manuskript på papir er selvsagt også hjertelig velkomne!

Redaksjonen vil også etablere et elektronisk brevsystem der manuskripter kan overføres via datanettverk. Dette vil vi komme tilbake til i et senere nummer.

Dersom manuskriptene mottas på lesbar diskett trenger forfatteren ikke å lese korrektur. Selve teksten vil da fortsette «uberørt av menneskehånd», og redaksjonen vil korrigere de eventuelle typografiske feil som den selv har introdusert. Manuskript på papir vil imidlertid bli returnert for korrektur, men da som utskrift fra tekstbehandling og ikke som ferdig satt manuskript.

Understrekning av tekst brukes ikke, istedet brukes kursiv. «Word Perfect»

tekst som er understreket blir erstattet med kursiv. Vektorer skrives i WP som uthedvede typer.

Spesialtegn, som fysikere er glade i å bruke, er forløpig systemets svakhet. Alle symboler kan trykkes, men den automatiske robotsettingen er begrenset. Dette gjelder matematisk tekst. Selv om «halveis populære» artikler neppe bør inneholde mye matematikk, innser vi at formler er uunngåelige i et tidsskrift for fysikk. Vi avslutter derfor denne rettledningen med en liste over symboler og tegn som pr. i dag tas automatisk:

$\alpha \beta \mu \pi \Omega () [] / \approx \pm \cdot \times < v > \epsilon \rho \gamma \Delta \sigma \omega \psi \nabla \tau \infty$

∞

Nytt fra Skolen

Hilsen til forelesere som overtar våre elever!

Det har skjedd noe med fysikken i skolen. De ferske studentene kan ikke lengre det de pleide å kunne, og det behøver ikke skyldes manglende lekselesing. Så dersom dere snakker i vei om dreiemoment eller smeltevarme, vil bare noen ha hørt om det før – nemlig de som har hatt statikk som tilvalgsstoff, eller de som har valgt termofysikk.

Helt fjernet fra kjernestoffet er følgende emner: Statikk, tyngdepunkt, oppdrift, termisk utvidelse, gassers tilstandslikning, faseoverganger, friksjonskoeffisient, regning med fiktivkrefter, svingetid for pendler, speiling, linser, polarisert lys, totalrefleksjon, Faradays elektrolytiske lover, polarisasjon, vekselstrøm, elektriske svingekretser. Noen har lært om noe av dette, alt avhengig av tilvalgsstoffet. Men tilvalget kan også ha vært stoff helt utenom «vanlig» pensum. – Til gjengjeld har alle hørt om «The Big Bang».

Enda et poeng: Mange emner fra 2. klasse blir ikke prøvd til eksamen i 3. klasse. Det gjelder bølgeoptikk, kalorimetri, kjernefysikk, halvledere, forgrenete el-kretser. Hvilket for mange gjerne fører til at et glemseleks slør faller over det meste.

Greitt å vite?

I.H.Helstrup

∞

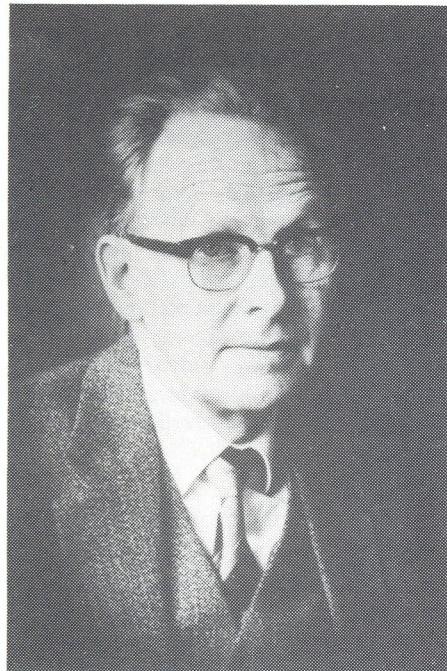


**Husk
Kontingenten!**

In Memoriam

Professor Harald Wergeland

1912-1987



Professor Harald Wergeland døde den 25. januar 1987, nær 75 år gammel. Derved er en av Nordens mest fremtredende fysikere gått bort.

Harald Nicolai Storm Wergeland var født i Norderhov den 14. mars 1912. Etter examen artium ved Eidsvold landsgymnas i 1931 studerte han ved kjemilinjen ved NTH. Han fortsatte etter eksamen i 1936 i forskjellige stillinger i Trondheim, som assistent i fysikalisk kjemi, høyskolestipendiat, assistent ved Fysisk Institutt og leder av høyspenningslaboratoriet.

Gjennom kjemistudiet ble interessen for fysikk vakt. I årene 1937-39 oppholdt han seg i perioder ved Heisenbergs institutt i Leipzig. Disse studieoppholdene må ha vært av usedvanlig stor betydning for den unge Wergeland. I årene 1939-45 var han stipendiat i Oslo, og tok i 1942 den filosofiske doktorgrad på avhandlingen «Om atomkjernenes struktur».

Wergelands store innsats som lærer og vitenskapsmann tok for alvor til da han i 1946, 34 år gammel, vendte tilbake til NTH som nyutnevnt professor i fysikk. Professor Egil Hylleraas avslutter sin sakkyndige uttalelse i den forbindelse slik:

Konklusjonen av denne utredning kan bare bli én: At dr. Wergeland ikke bare er særdeles skikket for et professorat i fysikk ved Høgskolen, men at han endog er et funn for Høgskolen i denne tid da den vitenskapelige forskning skal reorganiseres og aktiveres, og da det mer enn noen gang gjelder at de ledende krefter har det fulle overblikk over alle sentrale deler av sin vitenskap, kort sagt: holder internasjonalt mål.

Hylleraas fikk rett: Wergeland gjorde en uforlignelig innsats for norsk teoretisk fysikk, og skapte et miljø rundt seg i Trondheim der en hel generasjon av teoretiske fysikere fikk sin grunnutdannelse.

Wergelands bredde som vitenskapsmann var imponerende. Han har skrevet vel 100 vitenskapelige avhandlinger innenfor fysikalisk kjemi, kvantelektrodynamikk og strålingsteori, statistisk mekanikk og akustikk. I de første årene arbeidet han også med eksperimentell kjernefysikk, og i 1940 kom et pionérarbeide om skurer i kosmisk stråling av Euler og Wergeland. I 1966 ga han og ter Haar ut læreboken «*Elements of Thermodynamics*».

Wergeland maktet gjennom sitt lange virke på bemerkelsesverdig vis å destillere de essensielle resultater fra en stadig voksende strøm av faglitteratur, og formidle disse til elever og medarbeidere.

Internasjonalt samarbeid sto alltid Wergelands hjerte næر. Han arbeidet for opprettelsen av CERN, og var en sentral person i de bestrebeler som førte til

NORDITAs opprettelse i 1957. Initiativet til dette nordiske forskningssamarbeidet så i 1956 ut til å strande på at Norge ikke ønsket å gå med de øvrige fire land. Ikke minst ved entusiastisk og utrettelig innsats av Wergeland ble den norske regjering overbevist om det verdifulle i et slikt senter for nordisk fysikk. NORDITAs store betydning for norsk fysikk har i ettertid bekreftet at Wergeland så rett.

Wergeland var høyt ansett i utlandet. Han var gjesteprofessor ved en rekke utenlandske universiteter, i USA, Japan og Europa. I 1965 fikk han den ære å bli innbudt til å være årets van der Waals professor ved Universitetet i Amsterdam. – Han fungerte i den internasjonale union for ren og anvendt fysikk, i kommisjonen for termodynamikk og statistisk mekanikk, og deretter som medlem av eksekutivkomitéen.

Han ble naturligvis benyttet i mange sammenheng hertillands, som i NAVF og i NTNFs CERN-komité. Han var preses i Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab 1959-65. I 1960 fikk han St. Olavs Orden for sin innsats for norsk vitenskap.

Wergeland var levende opptatt av forholdet mellom naturvitenskap og samfunn. Han tok opp miljøspørsmål lenge før disse kom på den politiske dagordenen. Wergeland la særlig vekt på den enkelte forskers personlige ansvar for hvorledes hun eller han bruker sine kunnskaper, og tok til orde for ´innføre en «Hippokratisk ed», et løfte fra den enkelte om ´forplikte seg til ´bruke sine kunnskaper til menneskehets beste. Han grunnla den norske Pugwashbevegelsen, og ledet den gjennom mange år. I 1971 organiserte han en stor internasjonal konferanse i Trondheim for Society for Social Responsibility in Science.

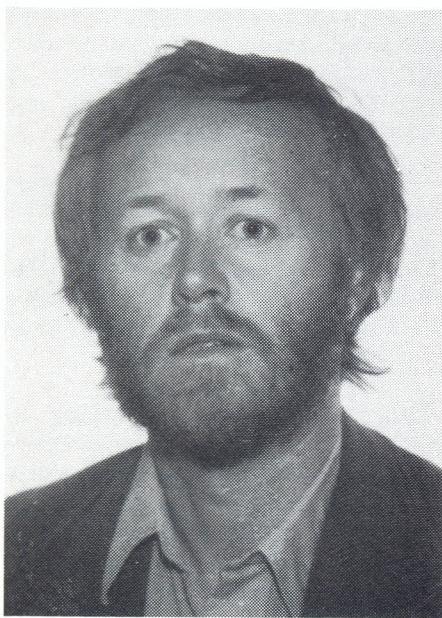
Wergeland hadde encyklopediske kunnskaper både i humaniora og naturvitenskap. Og hans personlighet gjorde sterkt inntrykk på alle dem han kom i kontakt med, fysikere som andre. Han var beskjeden, men meget bestemt. Hans studenter, kolleger og venner vil spesielt huske hans stadige omsorg og hj  lp. Alltid positiv, alltid tilitsfull.

Et ærefullt liv og et helstøpt livsverk er fullført.

Per Chr. Hemmer
Haakon Olsen

  

FFV – Panelet: Finn Ravndal



Fysikk i Norge ?

I den senere tid har det vært ført en debatt om forholdene ved universitetene her i landet. Typisk nok har ikke denne debatten foregått ved disse institusjonene, men i noen av våre største aviser.

De spørsmålene som stilles generelt til aktiviteten ved landets høyeste læreanstalter, gjelder også tilstandene innen norsk fysikk. Nå er vi så heldige at mange av disse spørsmålene i stor grad er blitt besvart med NAVFs eksterne evaluering av norsk faststoff-fysikk. Vi har nå fått vite at på dette området er nivået, aktiviteten, bevilgningene og rekrutteringen under det som trenges i et land som vil være en moderne industriasjon. Det står neppe så mye bedre til på de fleste andre områder innen vårt fag.

Hva gjør vi så? Vi kan selvfølgelig være uenige med disse utlendingene i evalueringsskomiteen; de kjenner jo ikke til de lokale forhold som eksisterer ved våre arbeidssteder, samt de normer og verdier som er nedlagte i vårt samfunn. Dermed kan vi fortsette uforstyrret videre med vår faglige selvrespekt intakt. Men det vil også bety at vi melder norsk fysikk ut av den internasjonale sammenheng som den i størst mulig grad bør være en del av. Og det kan vi ikke. Vi forvalter store, offentlige midler og vi har plikt til å bruke disse på best mulig måte. Da må vi også delta fullt ut selv om det også noen ganger kan bli på utlendingers premisser.

Spørsmålet blir altså: hvordan kan vi gjøre det bedre? Da burde vi først klарlegge hva som har fått oss ut i dette usøret. Her kan man komme inn på mange forskjellige forhold. Her vil jeg ta opp en uheldig tendens som i de siste årene er blitt mer og mer tydelig, nemlig at mange av oss i stadig større grad holder på å glemme eller fortrenge hva fysikk står for som naturvitenskaplig disiplin. Vi kan være i ferd med å gi fra oss vårt fags egenart, enten til andre eller til historiebøkene. Mange av oss er villige til i forskning og undervisning å satse på teknologi og ingeniørfag og så la dette gå som god fysikk. Andre som ennå husker hva faget dreier seg om, er så opptatt av hva de en gang kunne at de mister kontakten med dagens fysikk som hele tiden er i bevegelse fremover mot nye oppdagelser, ny innsikt og forståelse av Naturen omkring oss.

Det var vel denne utforskning av det ukjente og vår egen, utilfredsstilte nysgjerrighet som i sin tid fikk mange av oss til å studere fysikk. Og det er fremme ved denne fronten at ny og god fysikk skapes. I kjølvannet avskaller det seg nye disipliner. Vi har sett hvordan atomfysikken i sin tid i stor grad ble overlatt til dagens kjemikere å utnytte mens de fleste fysikerne fortsatte med utforskning av atomets kjerne og dens elementærpartikler. Det ga oss adgang til kjernekraften. På samme måte er det som en gang var moderne faststoff-fysikk nå er blitt mye av dagens elektronikk og datateknologi. Poenget er at alt dette er frukter av fysikken, som selv fortsetter ubønnhørlig videre med sin utforskning. Og skal vi drive med fysikk her i landet, er vi nødt å bli med på denne ferden inn i det ukjente. Vi kan ikke alle bli hengende igjen for å anvende og videreutvikle all den nye innsikt som skapes. Det kan ingeniørene og teknikerne. Det er de gode til. Vi skal ikke gjøre deres jobb.

På mange måter er det fristende å la teknologi bli en del av fysikken. Større bevilgninger vil kunne forventes, det er i vårt land et ennå udekket behov for teknologisk arbeidskraft og derfor også muligheter for adskillig flere studenter enn idag. Men det vil bety en alvorlig uthulning av begrepet fysikk på samme måte som begrepene kultur og forskning nå nesten er blitt meningsløse. Gir vi fysikkfaget fra oss, vil helt sikkert andre komme inn å fylle tomrommet. Det kan være andre fagmiljø eller i verste fall private opplegg som vil tjene på denne type kunnskap eller større bedrifter som selv trenger den. Antydninger til dette ser vi allerede. Vi må ikke gjøre oss selv overflødige. Mye av det som vi liker å kalle fysikk, vil kunne bli gjort av andre som vi ikke liker å kalle fysikere.

Norsk fysikk har i stor grad mistet kontakten med mye av det spennende og interessante som skjer innen faget i andre land. Istedet prøver vi kompensere med en stadig større satsing på utvikling av produkt og teknologi. Dette kan være en viktig grunn til mangelen på studenter i faget og mangelen på ferdige kandidater som er villige til å fortsette i rekrutteringstillinger. Ungdom vet ganske sikkert hva utfordrende og moderne fysikk går ut på. Det hører de om i radio, TV og i de nye, populærvitenskaplige tidsskriftene. Det er sannsynligvis minst like mange som før som kunne tenke seg å bruke en del av livet sitt til å være med på denne spennende utforskningen. Men da må vi på universitetene ha et tilbud som kan tenne deres nysgjerrighet og dra nytte av deres anlegg og interesser. Det må være en opplagt oppgave for det som ennå kalles landets høyeste læreanstalter. Uten gode studenter som er faglig på topp og villige til å fortsette som fysikere, blir det heller ingen til å føre faget videre inn i fremtiden. Og dette er kanskje det alvorligste problem innen norsk fysikk idag.

∞

It is told of Sir Harold Jeffreys, the famous theoretician and geophysicist, that he was at one time consultant to an oil company. Attending their meeting in London, Sir Harold sat quietly while the company's scientists discussed their problems and difficulties. About half way through the morning session, they stopped, thought and said «What do you think of this, Sir Harold?» «I think it's time for coffee» he said. The rest of the morning was spent with more of the scientists' discussion. Then, «What do you think, Sir Harold?» «I believe it's lunch time» was the reply. The same happened in the afternoon – except that it was tea time. Came the end of the meeting, and the scientists finally said «Well, now that you've heard it all, Sir Harold, what is your opinion?» «I'm glad it's your problem and not mine» was his concluding remark.

Fra R. L. Weber: «More Random Walks in Science»

FUSJONSENERGI – Energikjelda som ikkje tek slutt

Gerhard Berge *

Kan termisk kjernefusjon bli svaret på framtidas energiproblem i global samanheng? Den internasjonale innsatsen på dette området er omfattande. Kva er status for oppnådde resultat etter meir enn 35 års forsking? Kva med framtida? Kan vi venta tilgang på umåtelege mengder billeg energi i dette hundreåret? Dette er spørsmål vi prøver å svara på i denne artikkelen.

Det kan verka litt malplasert å koma med nye utømmelege energikjelder nett no når verda flyt over av billeg olje og landet vårt opplever økonomisk krise på grunn av dette. Eit realistisk syn på den globale energisituasjonen er nok likevel at det vi opplever i dag, berre er ein episode sett i historisk perspektiv. Alle er samde om at det vert knapt om konvensjonelle energiressursar før dette hundreåret er omme, sett i global samanheng. Det er ein heilt spesiell situasjon vi har i Noreg, med våre olje ressursar. Difor vil det heller neppe koma på tale å byggja ned den tradisjonelle kjernekraft-produksjonen, jamvel om Tsjernobyl ulukka gav verda ei påminning om alvoret i denne forma for teknologi.

Men draumen om ei løysing av verda sitt energiproblem, ved hjelp av kontrollert termisk kjerne-fusjon er framleis levande. Ei slik løysing vil for det første ha ein trygg drifts-situasjon som aldri kan føra til ulukker av det slaget vi nett har opplevd. Dessutan kan ein sjå fram mot ei energikjelde som det ikkje synest å vera nokon ende på. Men før vi ser kva dette går ut på, så skal vi sjå spørsmålet litt i historisk perspektive og gå tilbake til den gong kjernekraft og atomenergi var ukjende omgrep for folk flest.

Det heile starta under siste verdskriegen i kampen om å finna meir effektive våpen. Den tragiske dagen då den første atombomba vart slept over Hiroshima, fyller alle med skrek og gru. Og for å sitera ein av dei som var med å detonera den aller første atombomba i White Sands øydemarka i New Mexico USA:

WHAT HAVE WE DONE?

Dette spørsmålet måtte i enno sterkare grad gjera seg gjeldande når ein både i aust og vest hadde lært seg å laga eit endå meir skrämeleg våpen – hydrogen-

bomba. Med den fantastiske «framgangen» ein gjorde på den våpentekniske sida, var det ikkje til å undrast over at mange forskrarar kjende eit særskilt ansvar for at den generasjonen som hadde gjeve verda desse uhyggelege våpena, også hadde eit stort ansvar i å føra denne teknologien fram til fredeleg og byggjande bruk. Hydrogenbomba var provet på at det i prinsippet eksisterer ei energi-kjelde som for alle praktiske føremål er utømmeleg.¹ Det som stod att var berre nokre små detaljar og praktiske innretningar for å få tilgang til denne energien og så ville ei energihungrig verd for all framtid vera metta. Omlag slik var nok tankegangen tidleg i 50-åra, d.v.s. for omlag 35 år sidan.

Forsking på dette feltet vart halden strengt hemmeleg fram til slutten på 50-talet både i aust og i vest. Men i 1958 kom det til eit vendepunkt. Ein hadde då funne ut at vegen fram mot dette målet var både lang og vanskeleg. Og det som var blitt klårlagt, var at dei ytre vilkåra for å laga ein «omn» som kunne «brenna» deuterium var vanskelege å stetta, og låg langt utanfor det som var teknologisk mogeleg den gongen. «Omn» må fåle fleire hundretals millionar grader temperatur i «brenn-kammeret», veggmaterialet kan difor ikkje lagast av noko kjent materiale. Det indre i ein slik omn kan best samanliknast med dei tilstandar ein har i det indre av sola. Sjølv materien – stoffet – vil under slike vilkår gå over i ein ny og på mange måtar ukjend tilstand – plasmatilstanden – ein ny aggregat-tilstand som kjem i tillegg til dei kjende aggregat-tilstandane: fast stoff, væske og gass. I den nye tilstanden som ligg nærmast gasstilstanden er stoffet – atom og molekul (om dei finst) – for det aller meste ionisert.

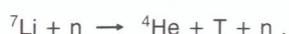
Naturleg finn vi denne plasmatilstanden t.d. i lyn, i nokon mon i ein brennande flamme, i eit neon lysrør o.l. Men dette er for ingen ting å rekna mot at det aller meste av den materien vi finn i universet er i plasma-tilstanden, slik som vår eiga sol, og alle dei andre stjernene, interstillerare «gass tåker» og vår eigen ionosfære o.s.b. Alt ialt reknar ein at meir enn 99% av materien i universet er i denne tilstanden. Det er også litt underleg å tenkja attende på dei greske naturfilosofane som tala om dei fire grunn-elementa: Jord, vatn, luft, og

Dei kjernreaksjonane som kan vera aktuelle i fusjons-samanheng er følgjande:



Det er den siste av desse reaksjonslikningane som er aktuell i føreste generasjons fusjonsreaktorane.

Når det gjeld tritiumproduksjonen så tenker ein seg der å bruka følgjande reaksjonslikningar i ein brennstoff syklus:



Her vert litium brukt som ein del av vegg-konstruksjonen i reaktoren som fangar opp nøytronstråler fra fusjonsreaksjonane og på den måten produserer tritium for reaktorbrensel.

eld, samanlikna med vårt moderne syn på aggregat-tilstandane.

Elles har det lenge vore kjent at grunnen for energiproduksjonen på sola er fusjonsprosessen. Ein kan difor med ein viss rett seia at sola er ein kjempestor fusjonsreaktor. Konstruksjon av fusjonsreaktoren vert på ein måte å etterlikna denne energiproduksjonen på vår eiga jord; å byggja kunstige soler.

PLASMAFYSIKK – Ei ny grein av den moderne fysikken

Både på grunn av den sentrale rolle plasmatilstanden spelar i kosmologisk samanheng og fordi den er grunnelementet i teorien som fusjonsforskinga bygger på, så har plasmafysikk fått ein brei plass i fysikken dei siste 30 åra. Plasmafysikk er dessutan eit svært interessant emne i seg sjølv, både som teoretisk og eksperimentell fysikk. Den har kontaktflate mot mange område av fysikken som elektromagnetisk feltteori, klassisk mekanikk, kinetisk teori, termodynamikk, væske- og gass-dynamikk for å nemna nokre av dei mest sentrale områda.

Det som i første rekke skil plasmatilstanden frå gasstilstanden er den elek-

* Matematisk institutt,
Universitetet i Bergen.

triske leidingsevna. Medan kjenneteiknet på ein gass er at den er ein god isolator, så er kjenneteiknet på eit plasma at det er ein svært god elektrisk leidar. Leidingsevna er så god at ein ofte reknar henne for å vera uendelig stor, eller sagt på ein annan måte: PLASMAET er ein ideell leidar. Dette er naturlegvis berre rett som ein første approksimasjon.

Den gode leidingsevna til plasmaet gjer at det veksleverkar sterkt med elektriske og magnetiske felt. Her vonar ein også at løysinga til innesperringsproblemet ligg. Vi har alt nemnt at det er vanskeleg å finna veggmateriale til den «omnen» der ein skal brenna deuteriumet som skal gje fusjonsenergien. Både frå teoretisk og eksperimentell kunnskap veit vi no at einaste måten det synest mogeleg å få til ein kontrollert fusjonsprosess på, er at atoma kolliderer med tilstrekkeleg stor fart. Det vil seja at ein treng temperaturar på hundretals millionar grader celsius. Materien vil gå over til plasmatilstanden lenge før ein når slike temperaturar. Dette er grunnen til at plasmatilstanden kjem så sterkt inn i samband med fusjonsforsking. Kunnskapar om korleis dette mediumet – «plasmaet» – oppfører seg, kan påverkast og styrast er heilt nødvendig grunnlag for konstruksjonen av ein fusjonsreaktor. Det er viktig å vera merksam på at det er ein stor skilnad på det plasmaet som ein har i t.d. ionosfæren og det plasmaet ein må ha i ein fusjonsreaktor, med omsyn til temperatur og tettleik. Måten slike plasma oppfører seg på er også svært ulik. Som regel kan ein seja at plasmaet vert meir «kvillstyrleg» med aukande tettleik og temperatur. Ein er difor sterkt avhengige av eksperiment med fusjonsrelevante parameterverd på t.d. temperatur, tettleik og magnetfelt.

Magnetisk fusjon

Den tradisjonelle fusjonsforskinga var det vi no kallar magnetisk fusjon. I magnetisk fusjon prøver ein å byggja seg «omnsvegger» ved hjelp av magnetfelt. Teoretisk sett er desse «veggene» ideelle på den måten at dei tåler varmen utan å brenna opp. Det som i praksis er det store problemet er å laga desse veggene tette. Det er ein fundamental eigenskap ved magnetfeltet at ei magnetfeltline startar «ingen plass» og sluttar «ingen plass». Den er enten ei lukka kurve eller ei «uendelig» lang kurve. Når det gjeld innesperring av plasma ved hjelp av magnetfelt, så kan ein grovt forenkla seja at plasmaet rører seg berre langs magnetfeltet, men ikkje på tvers av dette. Lat oss sjå på *ein* elektrisk lada partikkel som rører seg i eit homogent magnetfelt. Dersom fartsvektoren til partikkelen står loddrett på magnetfel-

tet, så vil ein slik partikkel gå i ein sirkelbane. Radius i denne sirkelen kallar ein gjerne for Larmor-radius til partikkelen. Fartsvektoren til ein vilkårleg partikkel vil også ha ein komponent langs magnetfeltet, og ein slik partikkel vil røra seg i ei skrulinne eller heliks. Larmor radius for ein typisk partikkel (D-atom) er i eit fusjonsplasma av storleiksorden cm, medan typisk Larmor radius for elektroner berre er omlag ein førtiande del av dette. Sjå elles fig.1. Dette kan ein seja er hovudårsaka til at magnetfeltet hindrar elektrisk lada partiklar i å røra seg på tvers av magnetfeltet over avstandar som er større enn ein Larmor radius for partikkelen. Når ein får mange partiklar i eit inhomogent magnetfelt så vert partikelrørla langt meir komplisert, noko det fører for langt å gå inn på her. Men det er eit vesentleg poeng med magnetfeltet at det hindrar rørsle på tvers av feltet enten vi ser på plasmaet som einskild partiklar eller vi ser på det som eit fluidum (væske).

rasjonane der feltlinjer som er i kontakt med det indre av plasmaet fører ut or plasmaområdet, slik som vi t.d. har det i spegelmaskiner og i multipolmaskiner (cusp), sjå fig.2a og 2b.

Den andre typen konfigurasjonar har vi i ein *theta-pinch*, sjå fig.2c.

Theta-pinch

Historisk sett var *theta-pinchen* ein svært interessant konfigurasjon av fleire grunnar. For det første var han relativt enkel å byggja og å eksperimentera med. Den teknologiske utfordringa gjekk stort sett ut på å byggja raske og pålitande kondensator-bankar i megajouleklassen. Med utladningstider i μs området ($1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{s}$) var det spørsmål om store effektar. Energien vart effektivt overført til plasmasylinderen inne i spolen som kunne nå fleire keV i temperatur (1 keV svarar til omlag 11,6 millionar grader celsius). I slutten av femtiåra og utover på 60-talet var

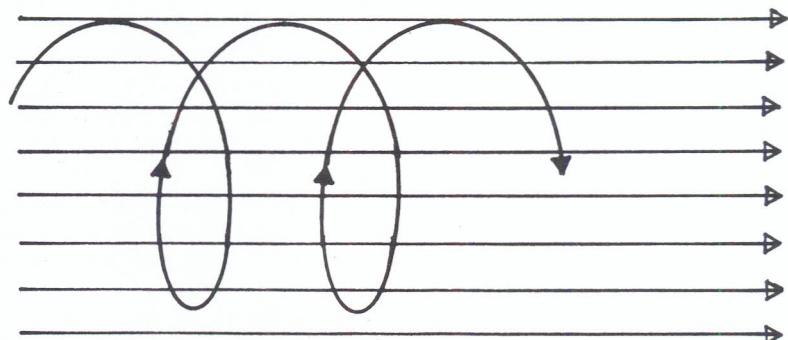


Fig.1. Rørla til lada partiklar i magnetfelt.

Fusjons parametrar

Her er vi framme ved kjernekraften i fusjonsproblematikken – innesperringstid. Problemet med kontrollert fusjon kan eigentleg formulerast svært enkelt. Det finst berre tre viktige størleikar, det er: *partikkel-tettleik* n , *innesperringstid* τ og *temperatur* T , men i reaktor-samanhang er det berre to av desse parametrane som eigentleg er uavhengige, det er nemleg produktet $n\tau$ som er avgjerande. Dette let seg lettast framstilla grafisk i det såkalla Lawson-diagrammet (sjå t.d. fig.4b). Sidan det er produktet $n\tau$ som tel, så ser vi at ein kan klara seg med mindre tettleikar dersom innesperringstida aukar tilsvarende. Det kritiske verdet på dette produktet ligg på ca. $2 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}\text{s}$. For å nå fram til fusjonsparameter området i Lawson-diagrammet, har ein i prinsippet arbeidd med to typar geometriar; dei opne og dei lukka konfigurasjonane. Av dei opne konfigurasjonane er det på ny to typar. Det er dei konfigu-

theta-pinch den absolutt leidande med omsyn til høg temperatur og tettleik.²

Det var berre ein parameter det skorta på og det var innesperringstida årsaka til dette var tydeleg for alle. Plasmaet strøynde ut av endane på ein tids-skala svarande til den tida det tok ei Alfvén-bølgje³ å gå frå midten av plasmasylinderen og ut til enden. Jamvel for 8-10 m lange *theta-pinchar* låg desse tidene på nokre få μs .

Ein la ned mykje arbeid i å stoppa endetrapet i *theta-pinch* utan å lukkast, før ein til slutt gav opp. Ein tenkte også i retning av å laga *theta-pinchar* så lange at endetrapet ikkje skulle spela nokon rolle, men fann snart ut at då måtte ein opp i lengder som vart målt i km, og ein slik *theta-pinch* ville gje kraftforsyning til halvparten av USA, så dette var heilt urealistisk. Men kva med å bøya ein *theta-pinch* saman til ein torus, og eliminera endetrapet på den måten?

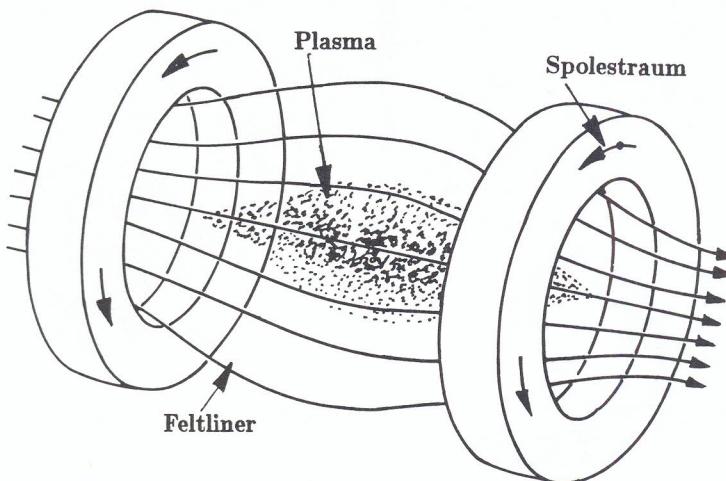


Fig.2a. Spegelmaskin.

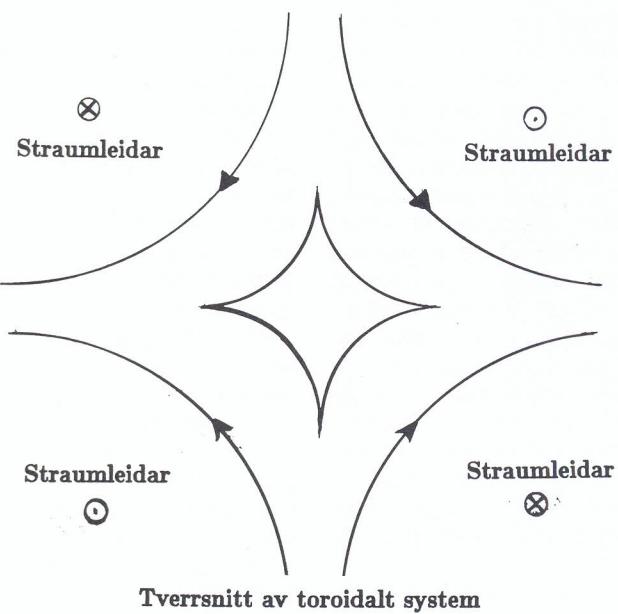


Fig.2b. Multipolmaskin.

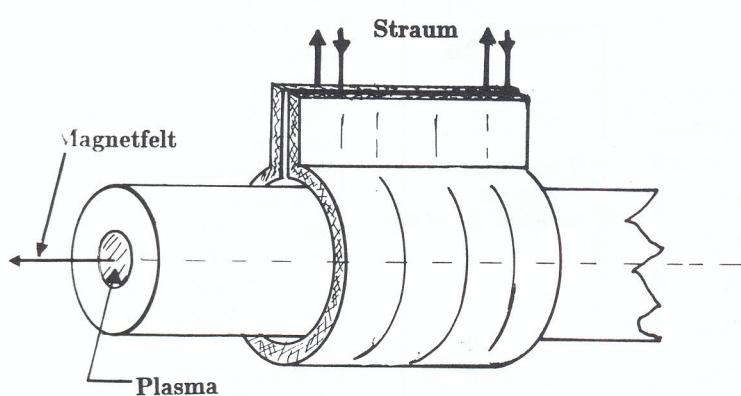


Fig.2c. Theta-pinch.

Den toroidale theta-pinchen (Scyllac)

På den internasjonale fusjonskonferansen i Novo Sibirsk (1968) vart konkrete planar om ein toroidal *theta-pinch* lagt fram. Dette eksperimentet vart bygt straks etter og var operativt rundt 1970 ved Los Alamos Scientific Laboratory New Mexico USA.

Ein hadde nok venta seg langt meir positive resultat frå dette eksperimentet enn det ein oppnådde. Den store eksperimenthallen – for det meste fyllt av dei beste og raskaste kondensatorane som kunne skaffast – enda meir eller mindre som eit gravkammer for dei same kondensatorane. Og slik står det enno i 1987. Det var ikkje berre det at fysikken gjekk gale med dette eksperimentet, ingen trudde heller lenger på at det let seg gjera å satsa på ein teknologi med super-raske kondensatorar i eit miljø som var utsett for nøytronstråling og annan ioniserande stråling. Denne teknologien hadde synt seg altfor upålitande jamvel utan slike kompliserande miljøfaktorar. Levetida for Scyllac eksperimentet var omlag 6 år. Resultata frå dette eksperimentet som vart presenterte på den internasjonale konferansen i Berchtesgaden 1976 gav ikkje von om ei framtid for den toroidale *theta-pinch*. Innesperrings tida (om ein kunne tala om noko slikt) var berre 10-15 μ s.

For *theta-pinch* nådde ein såleis ikkje lengre enn til innesperringstider på omlag 10-15 μ s, men med imponerande partikelletettleik oppimot 10^{23} partiklar pr. m^3 . Det vil likevel berre gje omlag 10^{11} for produktet $n\tau$, altså er det spørsmål om ein faktor 10^3 mellom det som er oppnådd og det som er kravet. Denne avstanden mellom resultat og mål var typiske for dei fleste fusjonsekspertent på 60-talet, og langt inn i 70-talet. Heile denne perioden viste ikkje stort annan framgang enn å auka katalogen over ustabilitetar.

Etter kvart som tida har gått har mange eksperiment-typar lidd den same lagnaden som *theta-pinch*. Den siste eksperiment-typen som ser ut til å gjera dette er spegelmaskinen. I alle høve gjeld det USA, der 1986 vil gå inn i historien som det året eit svært omfattande program for spegel-maskiner vart avbrote. Sjå fig.2a om spegelmaskinen. Ein kunne nemna fleire døme på liknande prosjekt som er blitt avbrotne.

Tokamak

Når det såg som mørkast ut, på slutten av seksti-talet tok det til å koma ut interessante meldingar frå Sovietunionen. På

den internasjonale fusjonskonferansen i Novosibirsk 1968 (samstundes med at Scyllac prosjektet vart introdusert) la ein av dei fremste forskarane frå dette landet, Lev Artsimovitch fram resultat frå eit den gong nokså ukjent eksperiment ved Kurchatov instituttet i Moskva. Dei kalla maskinen dei hadde gjort eksperimenta på for TOKAMAK. Dei fleste tok mot resultata med stor skepsis, men Artsimovitch verka overtydd. Neste året, på den europeiske fusjonskonferansen i Utrecht 1969 kunne Artsimovitch leggja fram endå meir interessante resultat frå Tokamak. Han følgde opp med ein foredragsturne til dei fleste større laboratoria i USA, inviterte amerikanarane til å koma og kontrollera resultata på Tokamak, og greidde overtyda forskarane ved eitt av dei største fusjonslaboratoria i USA, som låg i Princeton.

Ved Princeton laboratoriet hadde dei streva sidan tidleg i femtiåra med ein maskin dei kalla Stellarator, sjå fig.3a. Frustrasjonen var stor på dette tidspunktet, ingen ting ville liksom falla på plass i dette store og tungrodde eksperimentet. Dei såg no eit høve til å koma i gang med noko nytt, og på rekordtid bygde dei om det eine (På dette tidspunktet hadde dei fleire stellarator eksperimentet til ein tokamak. Arbeidet tok vel eitt år og like etter kunne dei stadfesta dei russiske resultata. Tokamaken har sidan hatt stor framgang, og har blitt eit sentralt omgrep i fusjons-samanhang, dels fordi han vart eit «motekonsept» vil nokon seja, og dels fordi han var enkel å byggja og gav eit interessant plasma med relativt små investeringar. Det er utan samanlikning tokamakmaskiner det finst mest av idag.

I fig.3b har vi skissert prinsippet for ein tokamak. Historisk sett var det *pinch*-konseptet som dominerte fu-

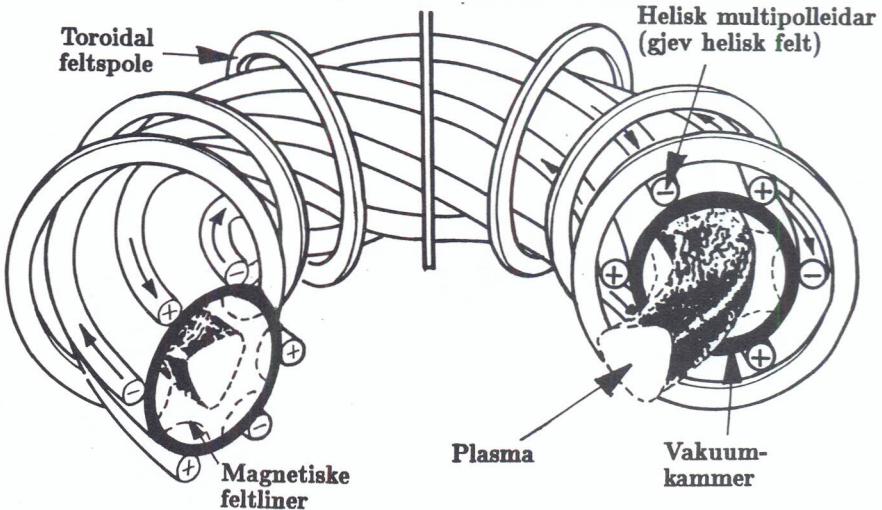


Fig.3a. Stellarator.

sjonsforskinga. Det var to hovudtypar av *pinchar*, nemleg *theta-pinch*en som vi alt har omtala og *z-pinch*en som vi skal sjå litt på. Straumane som produserer magnetfeltet som så komprimeirer plasmaet i ein *theta-pinch*, går i ytre vindingar i theta-retninga. (Dette refererer til sylinder koordinatar der r er radius, theta er den vinkelvariable og z er koordinaten langs sylinderaksen.) I ein *z-pinch* er det sjølv plasmaylindearen som er straumleidaren og straumen flyt i *z*-retninga. Dette er grunnen til namna. Når det gjeld *z-pinch*, så hadde ein der same problemet med endetrap som for *theta-pinch*, men her hadde ein langt større hell med seg når ein eliminerte endane ved å bøygja han til ein ring, ein torus. Ein slik rein *z-pinch* viste seg å vera svært ustabil, men ein fann ein effektiv måte å «stiva» av ringen på ved å leggja på eit aksialt magnetfelt (theta-pinch felt) slik at torusen vart stabil.

Tokamak er ein slik «stabilisert» *z-pinch*. Reint teknisk er det lettast å oppfatta ein tokamak som sekundær-

vindinga på ein transformator. Gjennom transformatoren generer ein sterke straumar i plasmaet i torusen. Men ein transformator har også ei viss svingetid og så snur straumen og går i motsett leid. Eit tokamak-plasma har ei levetid som svarar omlag til ei kvart syklustid for transformatoren. I dette tidsrommet vil transformatoren driva straum i ei retning. Denne straumen er sjølv livsnerva i tokamaken. Den produserer for det første det magnetfeltet som held plasmaet saman, og for det andre så produserer den ohmsk oppvarming som aukar temperaturen i plasmaet. I tillegg trengst det eit magnetfelt som går rundt torusen. Dette feltet produserer ein ved hjelp av spolar rundt torusen den korte vegen.

Tokamak har også sine tydelege avgrensingar: ein kan ikkje ved hjelp av ein transformator driva ein likestraum, ein kan ikkje ved hjelp av ohmsk oppvarming áleine nå dei temperaturane som trengst for å få til fusjon. Ideellt ville ein gjerne hatt ein maskin som opererte under stasjonære forhold. Det kan ikkje ein tokamak utan vidare gjera, den må bli ein pulsa maskin med ei viss syklus-tid. Dette er lite ynskjeleg i reaktorsamanhang. Det andre problemet er oppvarminga som ein må prøva å finna ei løsing på.

Når det gjeld det første problemet med ein pulsa maskin, så har ein lagt ned mykje arbeid og forsking på å finna fram til andre metodar å driva fram elektrisk straum enn magnetisk induksjon, som er grunnlaget for transformatoren. Ein har også gjort ein del framgang når det gjeld dette problemet ved å senda bølgjer gjennom plasmaet. Denne forskinga er enno på byrjarstadiet og er eitt av dei emne som kan bli aktuelt å studera på den nye plasmamaskinen som er under bygging ved Universitetet i Tromsø.

Når det gjeld det andre problemet, så

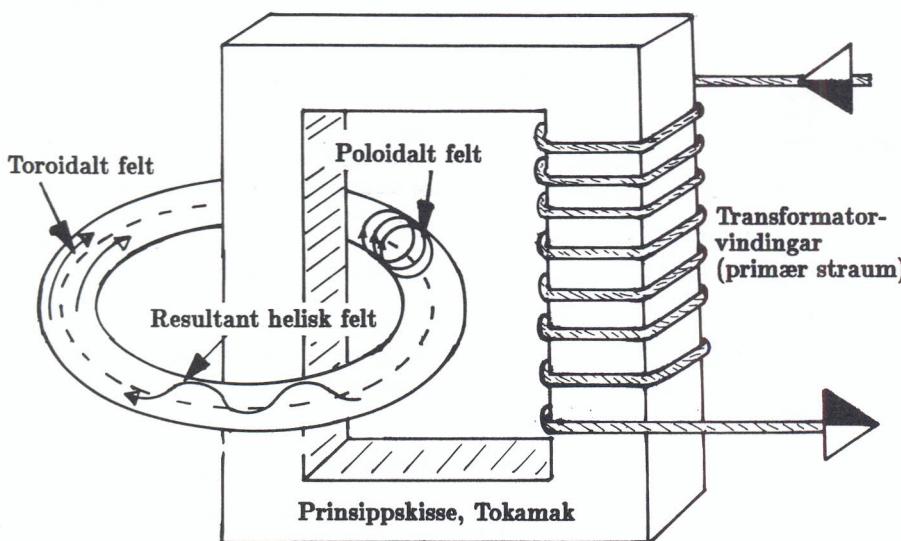


Fig.3b. Tokamak.

har det seg slik at ohmsk oppvarming er bra effektiv så lenge plasmaet ikkje er for varmt. Men når ein kjem opp i 10 millionar grader og meir, vert plasmaet tilnærma ein ideell elektrisk leidare, som vi tidlegare har nemnt. Det fører til at den joulske dissipasjonen eller ohmske oppvarminga som er proporsjonal med den elektriske motstanden, går mot null. Ein treng difor til andre metodar for oppvarming.

Dei alternative oppvarmingsmetodar ein har prøvt er:

- a) Høgfrekvens oppvarming.
- b) Nøytral-stråler.

Vi skal først sjå litt på høgfrekvens oppvarming som går ut på å senda elektromagnetisk stålning i den høgfrekvente delen av radiostrålings spekteret, d.v.s. elektromagnetiske stråler med bølgelengder av storleiksorden cm og mm, inn på plasmaet. Eit av hovudproblema her er å få god vekselverknad med plasmaet slik at bølgje-energien vert absorbert i plasmaet og ikkje berre skin rett i gjennom. Ein ynskjer heller ikkje at bølgje-energien skal verta absorbert altfor raskt slik at den varmer opp overflata på plasmaet utan å trengja inn. Det er difor eit vanskeleg problem både teoretisk og eksperimentelt å få dette til.

Den andre metoden går ut på å akselerera deuterium ionar opp til nokre 100 keV, senda desse gjennom eit ladningsbytte-kammer slik at dei fangar inn eit elektron og vert nøytrale, og som nøytrale partiklar skyta dei gjennom magnetfeltet inn i plasmaet. Det sterke magnetfeltet og den store farten desse partiklane har, medfører at Lorentz-krafta vil riva det innfanga elektronet laus og ionisera partiklane. Som lada partiklar vert dei difor innfanga i det magnetfeltet som held plasmaet på plass. Merk at det ikkje ville nyttå senda dei lada partiklane inn i plasmaet, fordi det magnetfeltet som held plasmaet saman, det er også effektivt i å avvisa lada partiklar som måtte prøva å trengja inn utanfrå.

Den siste generasjonen av tokamak eksperiment er nett komen i den fasen då dei tek til å produsera resultat. Det er i første rekke tre- fire slike eksperiment som skil seg ut. Det eine er det europeiske prosjektet JET (Joint European Torus) starta i juni 1983 (sjå forsida). Det andre er eit eksperiment i Princeton, USA som heiter TFTR (Toroidal Fusion Test Reactor) starta i desember 1982. Desse eksperimenta er også planlagde for å bruka tritium. Det Japanske eksperimentet JT-60 (der 60 står for 60m^3 med plasma), som starta i april 1985, og T-15 i Sovjetunionen er eksperiment som er omlag like store som TFTR og JET. Det russiske eksperimentet er enno ikkje ferdigbygd.

Tritium-deuterium reaksjonen er let-

tare å få til enn deuterium-deuterium reaksjonen. (Sjå ramme for detaljar om dei atomære reaksjonane som fusjonsprosessen byggjer på). Deuterium-tritium reaksjonen treng ein temperatur på omlag 100 millionar grader, medan deuterium-deuterium treng fleire hundre millionar grader. Tritium er eit radioaktivt stoff med ei halveringstid på omlag 12 år, og det er vanskeleg å handsama. Det krev difor ein omstendelek teknologi med fjernstyring og fjernkontroll for drift og vedlikehald av slike system. Som nemnt vart TFTR og JET planlagde for slik drift. Det er sansynleg att både desse eksperimenta vil verta avslutta med eitt års drift med deuterium og tritium (før dei vert gravlagde), for å få eksperimentell stadfesting på denne reaksjonen.

Fusjonsprosessen produserer nøytralar (sjå ramme), og faktum er at i desse store fusjonsekspertimenta er målinga av nøytronproduksjonen ein viktig måte til å bestemme temperaturen i plasmaet. Nøytronproduksjonen er nemleg sterkt avhengig av temperaturen. Og den er provet på at fusjonsprosessen skjer.

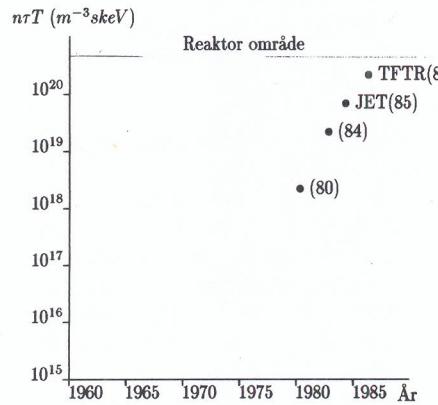


Fig.4a. Framgang i parameterverde.

Oppnådde resultat

Kvar står vi idag og kva slag prognosar er det for å løysa fusjonsproblemene? Vi har nemnt at dei største og mest avanserte eksperimenta er JET og TFTR. Dei ferskaste resultata frå desse eksperimenta vart nyleg presenterte på den internasjonale fusjonskonferansen i Kyoto, Japan 13-20 november 1986, saman med ei mengd andre forskingsresultat frå andre eksperiment. Denne konferansen var den 11. i rekka av internasjonale fusjonskonferanser tilrettelagt av IAEA (International Atomic Energy Agency). Utan sensasjonelle resultat var konferansen merkt av ein nøytern optimisme og jamn framgang. Serleg dei store eksperimenta dominerer i ein slik samanheng TFTR, JET og JT-60. Resultata er presenterte i Lawson-diagrammet fig.4b, og i tabell 1.

Oppvarmingsproblemene står sentralt, både når det gjeld nøytral-stråler og RF-oppvarming. Ein kunne visa til gode resultat med omsyn til sjølve oppvarminga. Men etter plasmaet var oppvarma på denne måten, syntet det seg at levetida for plasmaet, τ_E , gjekk ned slik at ein eigentleg ikkje flytte seg nokon serleg nærmare det interessante området i Lawson-diagrammet. Ein flytta seg utover T-aksen, men nedover på $n\tau_E$ -aksen. Eit etteranmeldt arbeid frå JET var likevel eit lyspunkt. Dette arbeidet viste til resultat der ein hadde god oppvarming utan kortare levetid for plasmaet og viste då at det ikkje var nokon «naturlov» at ein må betala for slik oppvarming med kortare innesperringstid.

Det var av denne grunn sterkt framme at ein må prøva å nå lengre opp i temperatur ved hjelp av ohmsk oppvarming ved å auka straumen gjennom plasmaet. Dette fører til at ein stangar mot grensa for det stabile området for tokamak. Det same er tilfelle når ein aukar tettleiken i plasmaet. Ein prøver å løysa desse problema med spesiell utfør-

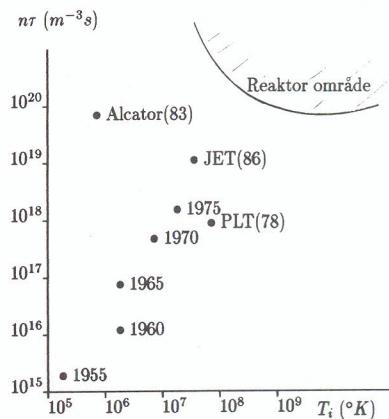


Fig.4b. Framgang i parameterverde.

ming av plasmaoverflata. D-form og «bønne»-form er aktuell skap på plasma tversnittet. Teoretisk finst det haldepunkt for desse ideane. Ein har den såkalla «second region of stability» som lover stabilitet ved høgare tettleik. Mengda av straum ein kan mata gjennom plasmaet er også vist å vera avhengig av skapet på tversnittet.

Det tredje problem-området er «current drive», det å kunna vedlikehalda straumen i tokamak for lengre straumpulsar enn det ein transformator kan klara åleine. Også her er det rapportert om god framgang og utvikling. Men økonomien av slike straumprodusende system kan bli eit problem på den måten at dei vert for dyre. Likevel syner diagrammet i fig.4a,b og tabell 1, at ein stadig nærmar seg ei løysing.

Tabell 1
Plasma parametrar for toroidale pinchar

År	τ_E (s)	T_i (K)	$n\tau_E$ ($m^{-3}s$)	$\langle n\tau_E T_i \rangle$ ($m^{-3}sk\text{eV}$)
1955	10^{-5}	10^5	10^{15}	
1960	10^{-4}	10^6	10^{16}	
1965	$2 \cdot 10^{-3}$	10^6	10^{17}	
1970	10^{-2}	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{18}$	
1976	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^7$	10^{19}	
1980	0,1	$2,5 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{18}$	$6 \cdot 10^{18}$
1984	0,1	$6,6 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^{19}$	$4,2 \cdot 10^{19}$
1986				
JET	0,8	$5,5 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^{19}$	$1 \cdot 10^{20}$
TFTR	0,5	10^8	$1,5 \cdot 10^{20}$	$2 \cdot 10^{20}$
JT-60	0,5	$6,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^{19}$	$0,9 \cdot 10^{20}$
Trengs for reaktor	1 – 10	10^8	$2,2 \cdot 10^{20}$	$\sim 10^{21}$

Inertiell fusjon

Det finst også ein alternativ veg til kontrollert fusjon, det er det som ein gjerne kallar *Inertiell fusjon*, inertieell viser her til den eigenskpen ved materien som vi kallar tråleik (treghet). Ideen går ut på og stetta Lawson-kravet til $n_i E$ ved å laga så store verdi på tettleiken n at den innesperringstida i_E som trengs er mindre enn den tida det trengs for stoffet å flytta seg (etter Newtons 2. lov: $K = ma$) eit stykke som svarar til den typiske dimmensjonaen på den stoffmengda som skal danna grunnlaget for fusjonen. På ein måte svarar dette til at ein lagar seg «mikro hydrogenbomber». Første steget går ut på å finna ein *drivar* for systemet. Det vil seia at ein må ha rådvelde over krefter som kan komprimera ei lita deuterium kule til tettleikar som er meir enn 1000 gonger den ein har i fast stoff d.v.s. $n = 4,5 \cdot 10^{31} m^{-3}$. Det er lett å visa at det vil vera uråd å finna ein «drivar» som kan gjera noko slikt direkte. Den ideen ein arbeider med er ein indirekte måte å gjera dette på som går ut på at ein lagar ein pellet (Dette er gjerne det tekniske uttrykket for ei kule som er samansett av fleire lag der brennstoffet, deuterium og tritium, er plasert innafor eit konstruktiv kuleskal inni denne kula.) som ein sender laserstrålar inn mot, gjerne i fleire strålegangar symmetrisk fordelte rundt pelleten.

Ein kan på den måten få dei ytre laga av pelleten til å fordampa svært fort (Tids-skalaen det her er tale om er i nanosekund området ($10^{-9}s$). Dei ytre laga av pelleten vil røra seg radielt utover med stor fart. Rekylkrafta frå denne prosessen vil skapa ei sjokk-bølgje som komprimerer den sentrale delen av pel-

leten, der brennstoffet er plassert. Ein viktig del av denne problemstillinga går ut på å finna fram til ei optimal utföring av ein slik pellet.

Ein kan gjerne dela problemet med inertieell fusjon i tre hovudområde.

- a) Pellet-utföring.
- b) Drivar.
- c) Utforming av brennkammeret, og energiomforming.

Når det gjeld drivar så har ein hittil for det meste konsentrert seg om kjempestore lasersystem. Det paradoksale i denne situasjonen er at til mindre område ein skal fokusera laserstrålane mot, og til kortare tider ein skal gjera dette på, til større system treng ein til. Det er eit stort problem å laga laser system som er kostnads effektive nok (d.v.s. prisen pr. Joule vert for høg). Det er eit opplagt krav til alle energiproduserande system at dei må gje meir energi ut enn den energien ein brukar til å byggja og operera systemet. Typiske lasersystem i dag representert ved den Japanske laseren GEKKOXII, kan levera 30kJ i løpet av ein nanosekund. Toppeffekten ligg på 55 TW (1 TW = $10^9 kW$). Den totale energiproduksjonen i verda svarar til omlag 10 TW. Det er planlagt oppgradering av denne laseren til det doble av denne effekten.

Ein har også arbeidd med lette ionestrålar som ein kandidat til drivar for eit slikt system. Dei som ligg lengst framme på dette området er Sandia laboratoriet i Albuquerque, New Mexico U.S.A. Interessante resultat frå dette prosjektet vart også presenterte i Japan (nov. 1986). Det er mange føremuner med slike system når det gjeld effektiv energioverføring til pelleten, det store problemet har vore å fokusera slike

strålar. Dette problemet synest no å vera løyst, og dersom dette er rett vil ein truleg ha ein langt meir kosteffektiv og kraftigare⁴ drivar i eit slikt system enn det ein kan få til med ein laser. Det vil nok ta enno eit par års intensif forskingsarbeid før ein kan vita om dette kan vera ein farande veg til inertieell fusjon.

Når det gjeld punkt c) så har det vore reist store innvendingar med omsyn til termiske stress-problem i brennkammeret. Ein får eit system som skal ta mot energien frå mange «mikro-hydrogen bomber» pr. minutt. (Det tar no eit par timar mellom kvart «skot» i PBFA-II ved Sandia Laboratoriet. Repetisjonsfrekvensen må aukast til omlag 20 pr. minutt.) Dette er meir eit teknologisk problem, enn eit fysisk problem.

Historisk sett kom inertieell fusjon seinare inn på senen en magnetisk fusjon. Men den hadde i starten nærmast ein kommetkarriere. På den internasjonale IAEA-konferansen i Tokio 1974 var det mykje snakk om laserfusjon som var eit vanleg namn på inertieell fusjon. De var tydeleg at magnetisk fusjon hadde fått ein konkurrent som kanskje ville ta over og løysa fusjonsproblemet. Mange mente magnetisk fusjon var ein unødvendig bruk av ressursar til å nå eit mål som ein mykje lettare kunne nå gjennom laserfusjon. Slike synspunkt gjorde seg sterkt gjeldande innafor sentrale krefter mellom dei som arbeidde med laserfusjon. No ville lagnaden at det ikkje gjekk nett slik. Den progresjonsraten som laserfusjon kunne visa til i 10-året før 1974, skulle visa seg å dempast sterkt av for å flata ut dei neste 10-åra. Laserfusjonen hadde også nådd eit platå i utviklinga. Det er mogeleg at dei optimistiske resultata frå Sandia laboratoriet kan snu på denne utviklinga, berre tida vil visa det. Den 1-2 MJ PBFA-II lette ionestråle akseleratorene kan verta det drivar-systemet som klarar å tenna eit plasma etter dette prinsippet. Dette kan koma til å skje innan to til tre år. Eit tilsvarende kraftig lasersystem synest å ligga eit godt stykke inn i framtida. Dessutan er kostnaden med slike system altfor stor, slik ein kjenner dei no.

Den «REINE» kjernekrafta

I tidlegare år vart gjerne fusjonsenergien marknadsført som den reine kjernekrafta, som var fri for radioaktiv stråling og dei ulempene vi veit dette medfører. Etter som åra har gått, har ein måttå resignera ein del på dette punktet. Det er ikkje til å koma utanom at den sterke nøytronstrålinga ein fusjonsreaktor vil produsera, kjem til å aktivera veger og konstruksjonar elles. Dessutan vil den første generasjonen av fusjons-

reaktorar «brenna» tritium. Dette er i seg sjølv, som vi har nemnt, eit radioaktivt stoff som det er vanskeleg å halda kontroll med.

Det som likevel står fast er at ein fusjonsreaktor kan konstruerast slik at han gjev trygg drift. Ein har ikkje problem med at reaktoren kan «gå kritisk» og på den måten frigjera energimengder som ein ikkje kan kontrollera (eksplosjon). Ei alvorleg innvending som har vore reist, er bruk av lithium i væskeform. Dette representerer stor brannfære, men problemet kan truleg løysast ved å bruka lithiumsalt istaden. Den energien som brennstoffet i ein fusjonsreaktor innehold til ei kvar tid, er ikkje så stor at den representerer nokon fare som ikkje kan kontrollerast. Det er mogeleg å laga reaktoren slik at eventuelle uhell vert avgrensa til sjølve reaktorbygningen. Den radioaktiviteten som ein må leva med også når det gjeld fusjonsreaktoren, kan til ein viss grad kontrollerast t.d. ved høveleg val av det vegg og konstruksjons materialet som vert brukt. Det er heller ingen problem med transport av radioaktivt «brennstoff», og det finnstepingen avfallsproblem på den måten som ein har i fisjonsreaktoren. Tritium kan produserast av det stabile grunnstoffet lithium og denne produksjonen vil bli gjort som ein del av drifta av sjølve reaktoren, og innafor reaktorbygningen. Men ein utbrukt fusjonsreaktor vil representera eit miljøproblem, så lenge reaktorstrukturane er aktive. Dette vil truleg kunna avgrensast til mindre enn 100 år. Resykling av det radioaktive konstruksjonsmaterialet i nye reaktorar kan også vera ein veg å gå. Samanlikna med langlevde radioaktive element fra fisjonsreaktorar på tidskalaen tusen år, er dette monaleg betre.

Den stabile driftsituasjonen ein har for fusjonsreaktoren har gjort at ein har sysla med tanken om å byggja ein hybrid reaktor. Ein tenkjer seg då fusjonsdelen som ei nøytronkjelde som kan brukast til å kontrollera ein fisjonsprosess. Energien vil i så fall koma frå fisjonsprosessen og dei fleste ulempene med fisjonsreakoren vil ein også ha. Men ein kan truleg auka driftstryggleiken monaleg på denne måten. Det ser ut som det er Sovietunionen som er mest interessert i dette konseptet.

Den reine form for energi er det vanskeleg å finna. Det er kjent at t.d. å brenna kol i store mengder vil tilføra atmosfæren radioaktivitet og kjemiske bindingar som på langt sikt kan verka øydeleggjande på naturgrunnlaget på jorda. Den sure nedbøren skuldast i stor grad stort forbruk av fossilt brennstoff: kol og olje.

Når det gjeld første generasjons fusjonsreaktorar, så vil desse som nemnt

«brenna» tritium. Tritium kan produserast frå grunnstoffet lithium (sjå ramme). Men lithium er eit stoff som det finst lite av, så dette vert ein avgrensande faktor. Ein har difor funne nokon endeleg løysing på energiproblemet før ein har fått til den kontrollerte fusjonsprosessen med andre «brennstoff» t.d. med deuterium-deuterium reaksjonen. (Reservene av lithium er likevel så store at det truleg vil vera nok for mange hundreår jamvel om energiforbruket i verda aukar monaleg.) D-D reaksjonen krev som vi har sett langt høgare temperaturar i plasmaet. Og difor ligg dette eit godt stykke lengre inn i framtida. Framgangen med å løysa fusjonsproblemet dei siste 10 åra gjev von om at dette likevel ikkje lenger er heilt utanfor det som er oppnåeleg.

Utsikter

Det er vanskeleg å gjera seg opp nokon sikker mening om kva framtida har å by på når det gjeld kontrollert fusjon. Utviklinga har kome så langt at det i stor grad er blitt eit økonomisk spørsmål. Installasjonar av typen JET og TFTR kostar store pengesummar, noko slike som 3 milliardar nkr. pr. stk. (Driftsbudsjettet på TFTR ligg på 750 mill. nkr. pr. år; pr. idag svarar det til omlag tredjeparten av heile den årlege innsatsen i fusjon i U.S.A.) Det gjekk med omlag 2000 manneår å byggja JET. Neste generasjon eksperiment vert endå dyrare, og med ein slik innsats krev det nøyne planlegging og internasjonalt samarbeid. Soviet unionen er ivrige etter å koma i gang med slike samarbeid. Sambandstatane (U.S.A.) har sterke reservasjonar mot at teknisk kunnskap, serleg på datamaskinsida, skal tilfalla statane i aust. Det politiske landskapet er difor nokså uryddig, sjølv om leidaren for energidepartementet i U.S.A. stod fram på den fornemnde internasjonale konferansen i Japan (nov. 1986) og hevdta at tida var inne for å auka den internasjonale innsatsen. INTOR har i fleire år vore eit internasjonalt «papir prosjekt» som etter betydeleg planleggings og prosjekterings arbeid truleg aldri vert bygd (det finn fleire tjukke bøker om INTOR og kostnadskalkylane ligg på omlag 15 milliardar Nkr.+ drift). Dei mest konkrete planane i U.S.A. går i retning av ETR (Eksperimental Test Reactor) der ein satsar på eit plasma med lang levetid (100-1000s) som vert «tent» og «brenn» deuterium-tritium. Kostnaden kan bli omlag 10 milliardar Nkr. Det er omlag tre gonger meir enn det noverande årlege budsjettet for fusjon i U.S.A. Samanlikna med våre prosjekt i Nord-sjøen, så verkar gjerne ikkje desse tala så

imponerande, men her må ein hugsa at dette gjeld grunnlagsinvesteringar. Om dei betalar seg nokon gong, så vil det ialle høve vera eit ukjent antal år før dette skjer. Det vil vera eit rettare samanlikningsgrunnlag å sjå på kva U.S.A. satsar pr. hovud.

Om vi skulle ha ein tilsvarende innsats i Noreg ville det svara til omlag 50 mill. Nkr. pr. år. Innsatsen vår ligg godt under ein 1/50 av dette. Det vil seia at vår innsats er vesentleg mindre enn det som trengs for å halda oss nokonlunde orienterte om det som skjer på dette feltet.

Kva som vert det neste prosjektet i Europa etter JET er noko uklårt. Men det er klårt at alle nye store fusjonsekspertiment vil ha som mål å produsera eit «tent» og «brennende» plasma. Kva som skjer i eit slikt plasma når ein kan få eit betydeleg tilskot av α -partiklar, som er produserte av fusjons prosessen, er også spanande å sjå. Frå teoretisk hald har ein i noko tid studert innverknaden av slike partiklar, og visse problem er venta, når det gjeld stabilitet og innesperring.

Den neste tiårs-perioden kan visa seg å bli avgjeraende for innsatsen og utfallet på det arbeidet som er nedlagt i å løysa fusjonsproblemet. Den kommersielle fusjonsreaktoren vil i beste fall kunna spela nokon rolle i verda sitt energihu-hald først eit godt stykke ut i neste hundreåret. Om problemet vert løyst og desse umåtelege energimengdene vert gjort tilgjengeleg, vil då verda flyta over av billeg energi? Svaret på dette spørsmålet er eit avgjort nei. Jamvel om brennstoffet er lett tilgjengeleg, så vil kapitalkostnaden med å byggja og driva slike reaktorar, bli så store at ein må rekna med ein munaleg auke i den energiprisen vi har idag.

Noter

¹ Den energien som finn i det tungvatnet ein kan vinna ut av ein liter med vanleg vatn eller sjøvatn, svarar til omlag 300 liter benzин.

² Fusjons-plasma har tettleikar som varier mellom 10^{18} og 10^{23} partiklar pr. m^3 . I Scylla IV eksperimentet ved Los Alamos laboratoriet oppnådde ein temperaturar på 6 keV med tettleikar på $10^{23} m^{-3}$.

³ Alfvén farten er gjeven ved

$$V_A = B/(4\mu_0 p)^{1/2},$$

der B er det magnetiskefeltet og p er plasma-tettleiken. Denne farten er på mange måtar typisk for eit plasma på same måten som vi har lydfarten i luft som ein typisk fart for dette mediumet.

⁴Dette systemet kan levera 1-2 MJ og er såleis meir enn 10 gonger kraftigare enn det japanske systemet GEKKO XII. Dersom det går etter planen reknar ein med å bryta gjennom den «magiske» grensa i Lawson-diagrammet med dette systemet.

∞

Naturvitenskap på nordiske frimerker – Linnés apostler

Anders Johnsson*

Synes du at din studenttid var hard, at du måtte ofre mye for vitenskapen i noen viktige år av ditt liv?

Synes du at den økonomiske gevinsten ble liten?

Jeg vil gjerne fortelle deg om Tärnström, Forsskål, Thunberg og noen andre.

Den store profeten

Linné er et av nordisk vitenskapshistories største navn. Hans kompliserte og følsomme person, hans botaniske forskning og hans fantastiske energi er fascinerende.

Linné samlet en rekke studenter rundt seg. Vi er i Uppsala i 1750, 60 og 70 årene, ikke lenge etter krigen mot Russland, som endte med store tap for Sverige. Som professor i medisin og senere i naturhistorie sitter Linné og vil skrive en verdenskatalog over levende planter og dyr, vil systematisere, vil forstå. Studenter, «apostler» som han kalte noen av dem, trekkes fra alle hold til Linné, fascineres og inspireres av ham.

Og så begir de seg ut. De tar seg fram over hele verden, over stort sett alle verdensdeler, samlar planter og dyr, undersøker, graver, skriver og beskriver hva de ser og sender hjem enorme samlinger av planter, frø, røtter, dyr, naturalier, etc., etc..

Mange av dem sliter hardt. De har ikke noen større reisekasse og gjennomgår en rekke til dels skrekkelige opplevelser og lidelser. Vi vet en del om dette. De skrev hjem til Linné, de rapporterte trutt – i hvert fall de fleste av dem – til akademiet og andre som hadde gitt dem litt midler.

Tebusken fra Asia

Te fra Asia var dyrebar. Den økonomiske Linné ville transportere hjem tebusken for å kunne bidra til husholdningen i landet og studentene skulle ta den hjem.

Tärnström var den første av «apostlene» som reiste ut, mot Canton i Kina. Han skulle ikke bare skaffe tebusken (eller frø av den), men det gjaldt også å gjøre temperaturobservasjoner ved ek-

vator, botaniske studier osv.. Dessuten ville dronningen ha noen gullfisker!

Tärnström kom, oktober 1746, i havn på en øy utenfor nåværende Vietnam og starter entusiastisk å botanisere. Men dagboken slutter brått den 10. november – Tärnström hadde fått en tropisk feber og døde den 4. desember.

Papirene etter Tärnström kommer til slutt hjem og blir etterhvert publisert. De danner rapporten fra den første utsendte apostelen, den første som dør deute, langt fra Uppsala. Noen tebusk ble det ikke.

Pehr Osbeck reiste i slutten av november 1750 fra Göteborg og var i august 1751 framme i Canton. Osbeck gjennomførte et intenst studium av planter, dyr og folk. Han noterer, arbeider og sliter. En tebusk tar han med, men ved avskjeds-salutten faller krukken med tebusken ned på dekket og blir kastet over bord, uten at Osbeck er vitende om det. Slik mistet han tebusken i 1752.

Apostelen Torén brakte med seg en tebusk fra Kina neste år, men den visnet før han hadde passert Kap.

Ikke før mange år senere kommer tebusken til Linné med skipet til en kaptein Ekeberg; Linné var fra seg av glede, fullt forberedt på å bære den i sin favn fra Göteborg til Uppsala hvis det var nødvendig.

Men som kjent fikk aldri tedyrkingen i Norden noen fremgang!

Forsskål og det lykkeelige Arabia

Petter Forsskål ble født i Helsingfors i 1732 – vi husker at nåværende Finland fortsatt var en del av Sverige, og det var ikke merkelig at han begynte å studere ved Universitetet i Uppsala. Han var visstnok teolog, men kom i kontakt med Linné og ble meget interessert i universal-geniets naturvitenskap. Forsskål disputerte i Göttingen i hva vi kunne kalle filosofi.

Han skrev i 1759 et meget radikalt skrift «*Tankar om den borgelige friheten*», som gjorde ham til en banebryter for den svenske trykkefriheten. Det finske frimerket av Forsskål viser tittelsi-



den på det arbeid som ble forbudt for trykking i Uppsala. Linné satt faktisk som rektor da og hadde problemer med sin elev. Forsskål ga ut skriften på eget initiativ og distribuerte det blant studentene. I 1760 ble det fra Riksrådets side gitt forbud mot hans «*Tankar*», noe som Forsskål satte stor pris på...

Når Forsskål holdt på som verst med sin slåssing om «*Friheten*», fikk han en forespørsel fra en dansk lærer og venn fra Göttingentiden. En ekspedisjon til Arabia savnet en kompetent naturforsker og Forsskål fikk som Linné-elev og med sin etterhvert store anseelse, tilbud om å bli deltaker. Linné støttet selvfoligelig det hele. Han kunne jo få tilgang til mye nytt materiale uten egentlig å betale for ekspedisjonen. Forsskål hadde også studert østerlandske språk.

Den danske ekspedisjonen, med seks vitenskapelige medlemmer, var imidlertid dårlig organisert, og mye går etter hvert galt i Arabia. Forsskål er med på ekspedisjonen i to år, sikkert en av de eventyrligste forskningsreiser en Linné-apostel har gjennomført. Han samler, undersøker og beskriver over 1300 planterarter hvorav omrent 300 er helt nye for vitenskapen.

Etter strabasiøse opplevelser i Jemen, bryter han den 28. juni 1773 plutselig sammen av malaria. I januar samme år hadde han skrevet til Linné: «jag kan begynna tänka på återkomsten til Fäderneslandet och herr Archiaterns umgänge, som jag ouphörligen saknar och efterlängtar». Den 11. juli 1773 døde han i et elendig tettsted oppe i de jeminitiske fjellene.

Det eneste overlevende ekspedisjonsmedlemmet, matematikeren Niebuhr, kom via Bombay, Kypros, Jerusalem,

Konstantinopel etc., etter syv år tilbake til Köbenhavn. Han ga ut en mengde materiale fra ekspedisjonen og bekostet selv Forsskåls egyptisk-arabiske flora.

Forsskåls innsatser under ekspedisjonen var helt sentrale og han gjorde stort inntrykk på deltakere og andre som kom i kontakt med ham. Hans samlinger og manuskripter gikk i stor utstrekning tapt gjennom slurv og forsinkelser ved transporter til Köbenhavn og andre steder. Han ville, ifølge senere forskere, ha blitt sett på som en av plantekartografiens «gründere» og kanskje til og med større enn sin lærer Linné.

Denne tragedien slutter selvfølgelig med at Forsskåls kiste blir plyndret og det mens Niebuhr fortsatt er på plassen. En av nåtidens forfattere og reisende, Tord Wallström, har prøvd å ta seg fram i Jemen i Forsskåls fotspor. Han slutter sine egne vanskelige bestrebelsler på å ta seg fram i dette landet med de medfølende ordene «jeg kan ikke tenke meg en elendigere død enn døden i Jermin».

«Japans Linné»

Carl Peter Thunberg forlot Sverige i 1770, 27 år gammel. Han hadde da Afrika i tankene – dette området som ikke har sitt like når det gjelder «rara plantor, djur, insekter og andra naturrens under», som Linné skrev. Han tok veien om Amsterdam og begynte der å lære seg hollandsk og knyttet viktige kontakter.

første europeer som gjorde lange reiser med utgangspunkt fra Kap. Planter, løk, frø, insekter, utstoppede fugler blir sendt hjem i en stri strøm til institutter og museer i Europa og over 1500 nye plantearter beskriver han. Thunberg blir kjent med og beskriver hottentottene og andre folk. Han blir Kap-botanikkens fader.

På frimerket ser vi forskeren med en blomst som sannsynligvis er en buskplion. Mange av skandinaviske potteplanter og hageplanter er avleggere av dem som Thunberg sendte hjem for 200 år siden.

Sine kontakter med Holland fikk han glede av senere. Som skipslege på et fartøy tilhørende det Hollandske Ostindiske Kompani dro han 1775 fra Kap mot Japan. Holland hadde på denne tid enerett på handelsforbindelsene med Japan – som helt siden 1639 hadde brukt den stengte dørs politikk overfor ivrige europeere. På Java forbereder Thunberg seg, lærer seg enda mer hollandsk – han måtte bli oppfattet som en vaskekete hollender for å komme inn i Japan. Han lærer seg en del japansk og stiger i land i Nagasaki. Til tross for restriksjoner, til tross for språkproblemer og økonomiske forhold, gjennomfører Thunberg i de nærmeste årene en stor forskningsinnsats i Japan.

Han botaniserer, han skriver en svensk-japansk ordliste, studerer dyreliv, studerer japansk kultur og samtaler med japanske vitenskapsmenn. To år etter at den første europeiske boken var blitt oversatt til japansk (det var en tysk

ning for den fremmede lærde mannen fra Vesten. Thunberg blir den første kontakt med ytterverdenen for noen japanske vitenskapsmenn, han underviser dem i europeisk medisin, botanikk, fysikk, økonomi. Thunberg betød senere nokså mye for å spre europeisk forskning og vitenskap i Japan via brev og bøker.

1779 var Thunberg tilbake i Sverige og begynte nå å bearbeide sine samlinger. 1784 kom hans monumentalverk «*Flora Japonica*». I Japansk botanikk er Thunberg banebryteren, og man kjenner hans reiser og virksomhet fra disse årene i detalj. Han ble professor i Uppsala og viet egentlig resten av sitt liv til bearbeidelsen av sine samlinger fra Afrika og Japan.

Han ble 85 år gammel. Aldri dro han utenfor Sveriges grenser igjen.

Prisen for kunnskap

Det er mange andre man kunne fortelle om – framfor alt kanskje Solander og Sparrman, som begge dro til sjøs med James Cook, eller Pehr Kalm som dro til Nordamerika – men la oss slutte her for denne gang.

Linné og hans reisende apostler betød en vitenskapelig gullalder i Uppsala. Epoken varte i omrent 40 år. Den har satt store spor i vitenskapshistorien og vil jeg påstå, i det svenske synet på naturvitenskapens betydning for samfunnet. Linné fikk et enormt gjennomslag.

La oss ikke glemme apostlene for den store Linné. La oss ikke glemme de mange som fulle av entusiasme dro ut og enten aldri kom tilbake eller var psykisk eller fysisk nedbrutt når de etter flere år kom hjem. Listen er lang: Forskål dør i Arabia, Adler i Hollandske India, Rothman blir syk i Nordafrika, Berlin dør i Sierra Leone, Rolander blir psykisk nedbrutt i Hollandske Gyvana, den syke Kähler opplever en rekke uhyggetigheter i Italia, Löfling dør i Søramerika, Tärnström som nevnt utenfor Vietnam, Torén dør et år etter hjemkomsten av en sykdom fra Asia, Hasselquist dør i Tyrkia, etc.. Linné selv sukkes allerede i 1756 over tapene: «...hvad har jag vunnit mer, än några torkade örter, med mycket bekymmer, oro, förtret, harm och ofta sorg.»

På en måte er det godt å lese at også den gamle i Uppsala kjente sorg over de ulykker som gikk ut over mange av hans studenter, hans «apostler».

Jo – visst er det hardt å være student!



I april 1772 gikk Thunberg iland i Cape Town, en begavet, lærde mann med god fysikk. Han var egentlig i hollandsk tjeneste og Linné trengte ikke å bekymre seg om kostnadene. Thunberg ble den

anatomibok) sitter Thunberg etter strabasiøse reiser i samtaler med to lærde i Jedo og venter på shoguen av Japan. Størstedelen av denne reisen var han blitt bæret av bærere – en hedersbevis-

ELEKTRONMIKROSKOPI – Hvordan elektroner gjør mikrostrukturen synlig

J. Gjønnes og A. Olsen*

55 år tok det før Ernst Ruska fikk Nobelprisen for elektronmikroskopet, en av de store oppfinnelser i fysikken. Hvorfor tok det så lang tid? Svaret ligger kan hende både i en lang og kontinuerlig utvikling av instrumentet og i utviklingen av fysikken: Økende interesse for inhomogeniteter, defekter, overflater og grenseflater betyr økt betydning av mikroskop på atomært nivå.

«The electron microscope is one of the most wonderful of modern inventions. Its history illustrates perhaps better than any other invention what a long way it is from ideas to success and I wish to give all due credit to those who have actually done the hard work»

D.Gabor

Veien til anerkjennelse kan også være lang: Fjorårets utdeling av Nobelprisen i fysikk viser det. Ernst Ruska fikk prisen (sammen med Binnig og Rohrer) 55 år etter at han og Max Knoll laget det første elektronmikroskopet. Hvorfor tok det så lang tid? Svaret finner vi kan hende i utviklingen, av metoden og av fysikken.

Begynnelsen

Det begynte med de Broglie som i 1924 foreslo at partikler har en bølgelengde $l = h/mv$. Diffraksjon av elektroner ble demonstrert av Thomson og av Davisson og Germer i 1927. På samme tid dukket ideen om et elektronmikroskop opp: Gabor forteller at han hørte ordet første gang i 1928. De satt på Cafe Wien i Berlin, da Szilard sier: «Nå har de Broglie fortalt at elektroner er bølger, Busch har vist oss hvordan en kan lage linser for elektroner – hvorfor lager dere ikke et elektronmikroskop? Dere kunne se atomer med det?»

Idéen var enkel: Lysmikroskopets opplosningsevne, som ofte skrives $D = 0.61 \cdot l / \sin \alpha$, (α er aperturvinkel) er begrenset av bølgelengder på noen tidels mikro-meter, mens elektroner ved en passende aksellerasjonsspenning, f.eks. 200kV vil ha en de Brogliebølgelengde

på 0.025\AA – langt mindre enn interatomære avstander. Tre år seinere hadde Ruska og Knoll^{1,2} laget det første elektronmikroskopet, med tre magnetiske linser: Kondensor, objektiv og projektiv (se fig.1, som viser det andre av Ruskas elektronmikroskop). Men det skulle vise seg å være langt fram til å avbilde atomene: En lang utvikling av vakuumteknikk, finmekanikk og elektronikk og av innsikt i spredningsprosessen og i elektronoptikk for å lage linser som kan utnytte den korte bølgelengden.

Det var i biologi og medisin en først så behovet for å observere strukturer under lysmikroskopets opplosningsevne. Fysikere og kjemikere var ikke så interessert i mikroskopi: De var mest opptatt av homogene, ideelle system og av byggesteinene: Atom, molekyl og elementærpartikler; til nød av den perfekte, midlere krystallstruktur, slik den kan studeres med røntgendiffraksjon. Den sammensatte, inhomogene – og virkelige – verden var overlatt til «deskriptive vitenskaper», som biologi og geo-

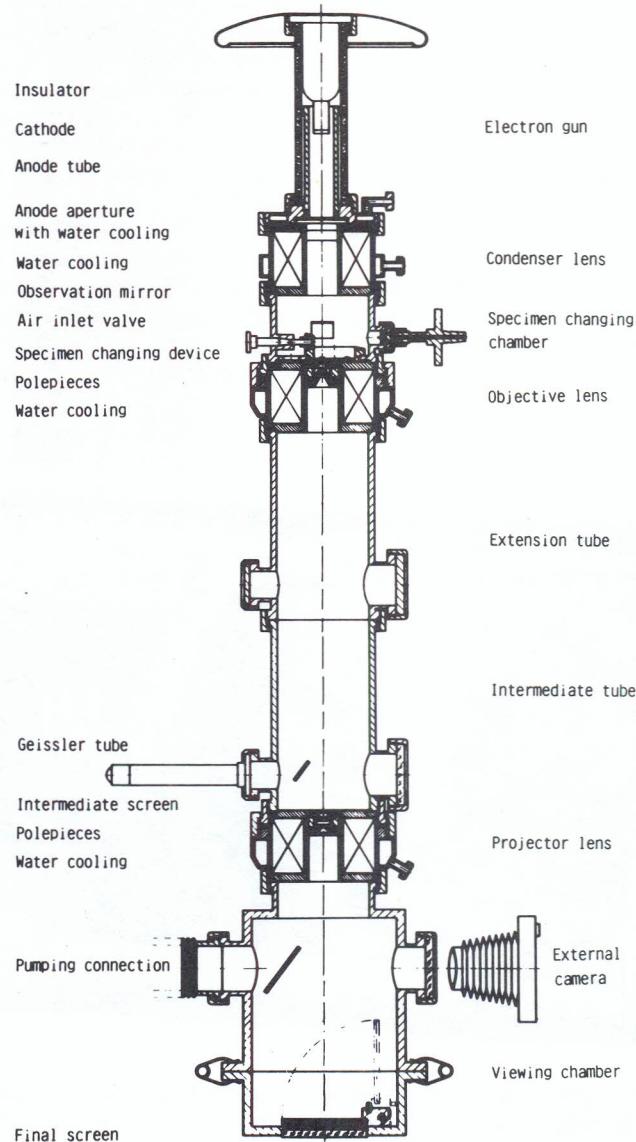


Fig.1. Ruskas andre elektronmikroskop, fra 1933, var det første med en opplosningsevne bedre enn lysmikroskopet

logi. Det var der man trengte mikroskop – mente man.

Men idealsystemene gir en utilstrekkelig beskrivelse av naturen, og særlig av faste stoff: Egenskaper som fasthet og plastisitet i legeringer, ledningsevne i metaller og halvledere er bestemt av et samspill mellom den periodiske krys-tallstrukturen og avvik fra den. Faststoffysikk handler i stor utstrekning om dette samspillet, stoffets mikrostruktur. Elektronmikroskopi ble den fremste metoden til å studere denne strukturen.

Elektronmikroskopi og mikrostruktur

To felt sto i sentrum ved utviklingen av moderne faststoffysikk: Metallfysikk og halvlederfysikk. Det var på det første av dem elektronmikroskopien fikk sitt første gjennombrudd i fysiken, mot slutten av 1950-åra. Peter Hirsch og medarbeidere i Cambridge viste hvordan dislokasjoner, dvs. de gitterfeil som er aktive ved plastisk deformasjon av materialer, kan avbildes i elektron-mikroskopet. Dislokasjonene omgir seg med atomforskyvninger som påvirker Braggrefleksjonene fra krystallgitret. Det fører til kontrast i lysfelt- og mørkfeltbilder, som vist i figur 2a og 2b. Dislokasjoner og andre gitterfeil kunne derved avbildes – selv om opplösnings-evnen ennå ikke var tilstrekkelig til å skille atomene i strukturen.

Disse teknikkene bygger på diffrak-sjon fra krystallen og defektene i den. Ved å avbilde objektivets bakre fokal-plan kan vi som vist i fig.2d registrere diffraksjonsmønstret fra små områder – og derved undersøke den lokale krystall-struktur i finkornet materiale, i utfelte partikler i legeringer, sammenvoksninger osv.. Kombinasjonen av avbildning og diffraksjon ble en uunnværlig metode til å studere mikrostrukturen i faste

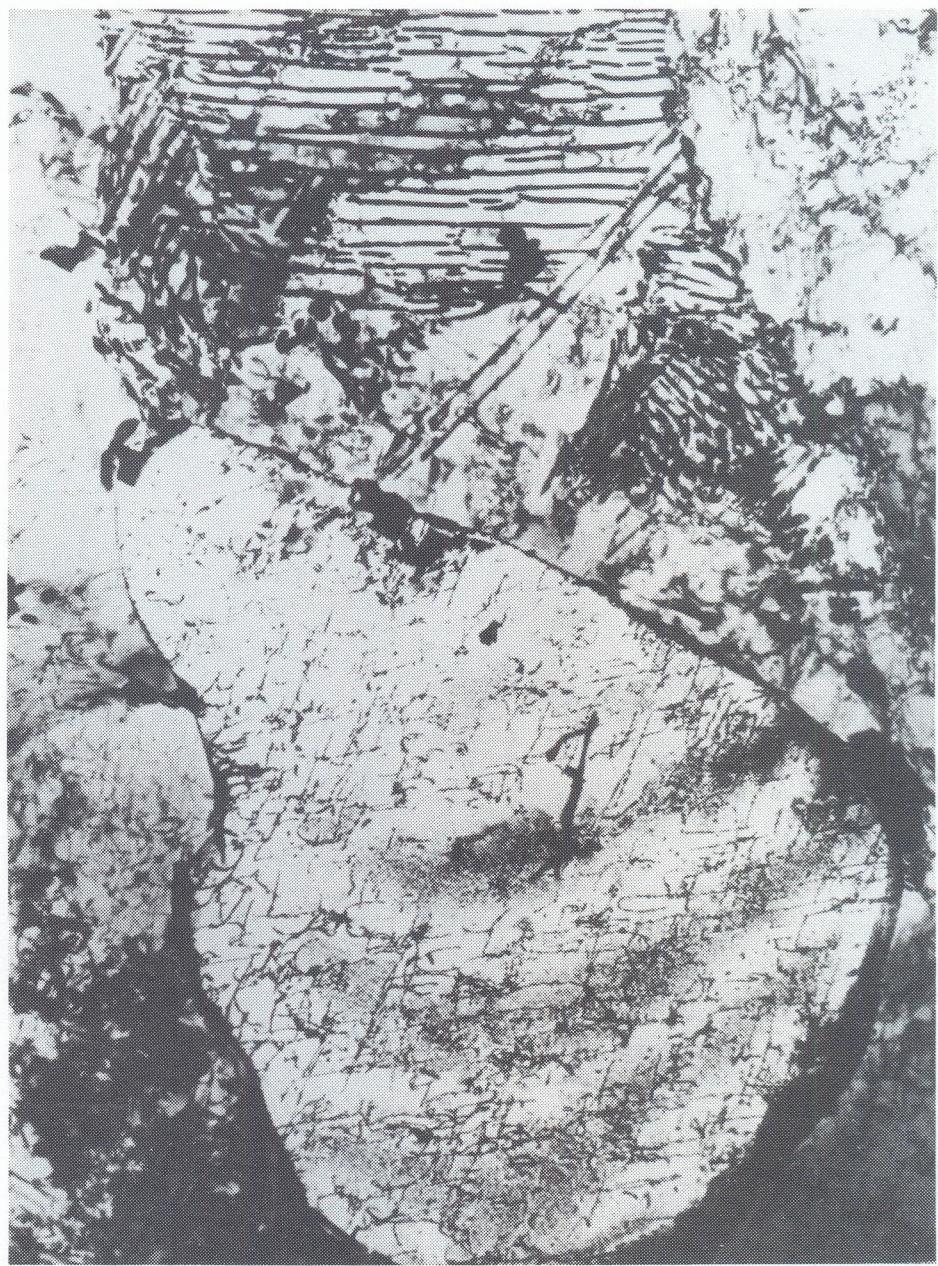


Fig.3. Lysfeltbilde av mikrostruktur i et moderne, høyfast stål: Korn av perlitt (med lameller av cementitt) og av ferritt, med dislokasjoner. (R. Erkkila)

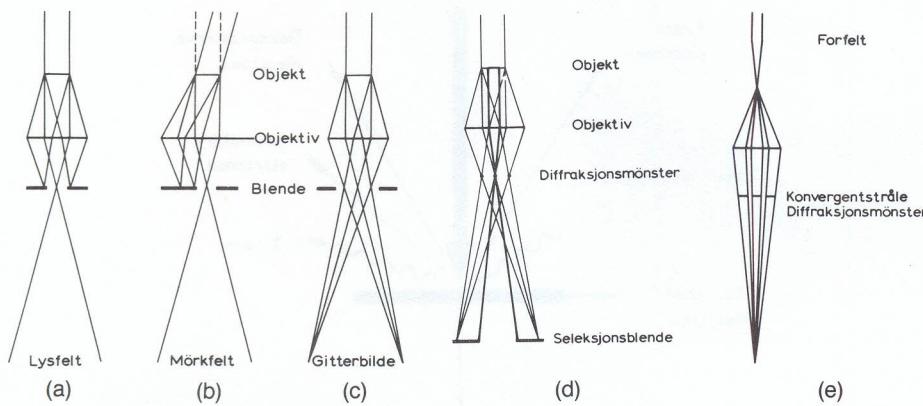


Fig.2. (a)-(c): Tre former for kontrast i transmisjonselektronmikroskopi;(a): lysfelt, (b):mørk-felt, (c): gitterbilde, der de forskjellige reflekterte stråler interfererer og gir et bilde av den projiserte krystallstruktur. (d): prinsippet for «selected area» diffraksjon (SAD) fra et område valgt ut ved en seleksjonsblende i første billeddplan, (e): prinsippet for konvergenstrålediffr-aksjon, der linsa over objektet (objektivets forfelt) danner en fin sonde.

stoff, i metaller og legeringer, halvleder-materialer, mineraler og keramer osv.. De fleste faste stoff vi finner i naturen eller i teknologien er inhomogene. Lys-feltbildet fig.3 viser et typisk eksempel: Forskjellige korn i et høyfast stål: Ferritt og perlitt, med deres indre mikrostruktur av feil. Det er hentet fra en undersø-kelse av metallurgiske reaksjoner under sveising.

Diffraksjonsbildet, fig.4, er fra en studie av struktur og omvandlinger i jernoksydet wüstitt ($Fe_{1-x}O$); refleksene kommer fra seks ulike krystallorienteringer som er vokst sammen i et nettverk.

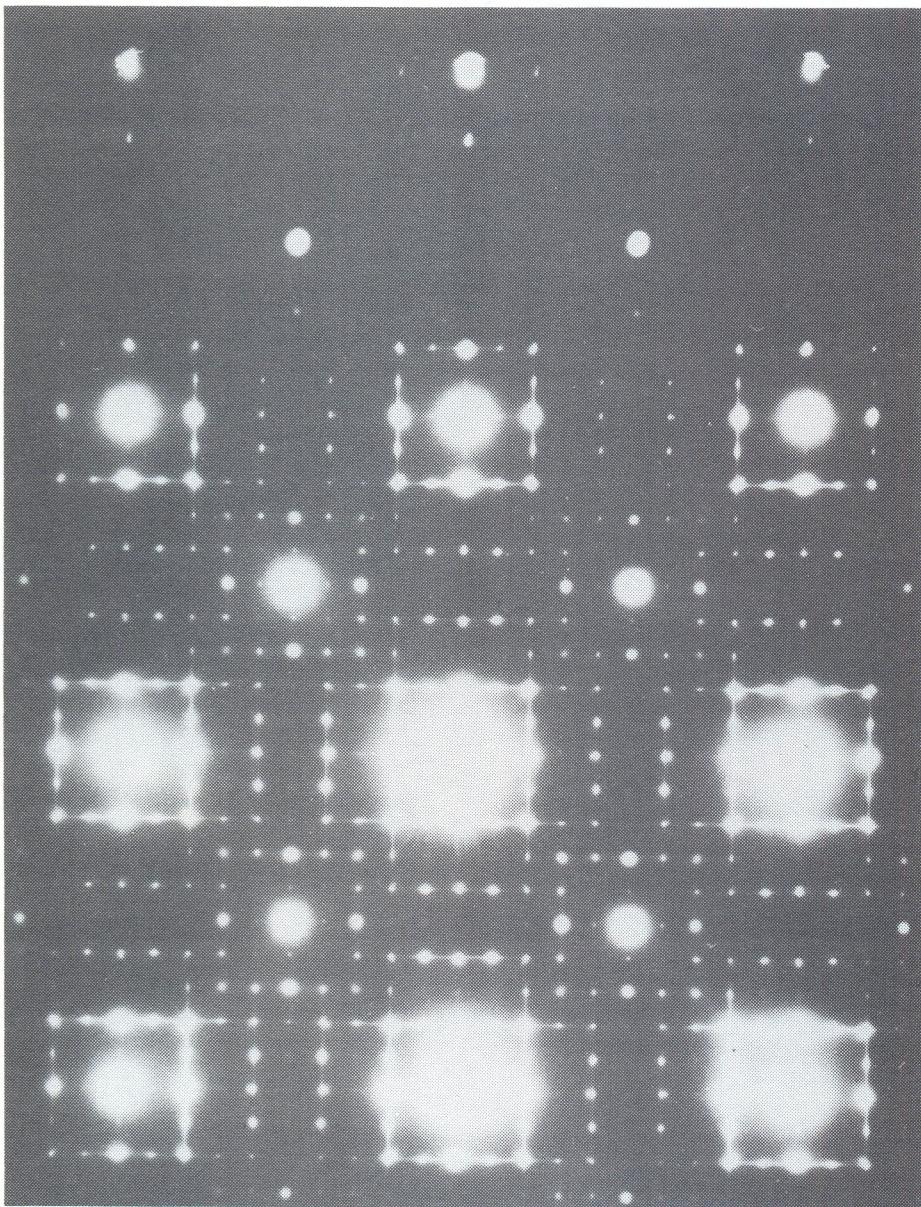


Fig.4. SAD diffraksjonsbilde av jernoksydet wüstitt, (Fe_{1-x}O). Strukturen kan beskrives ved ordning av defekter i et gitter av koksalttype. Seks forskjellige orienteringer av den ordnete strukturen er vokst sammen i et karakteristisk nettverk. (B. Andersson)

Scanningmikroskopi og analytisk elektronmikroskopi

Fram til 1960-åra hadde elektronmikroskop stort sett betydd en ting, «transmisjonelektronmikroskop» (TEM), der vi undersøker en prøve som er så tynn at elektronstrålen kan trenge igjennom. Elektronoptikken har her de samme element som i lysmikroskopet: Avbildningen skjer gjennom ei sterk linse, objektivet, som står etter prøven. Nå kom en ny type, Scanningmikroskopet (SEM), i bruk ved materialundersøkelser. Prinsippet var eldre, alt i 1932 hadde Knoll laget et mikroskop bygd på scanningprinsippet: Her fokuseres elektronstrålen ved hjelp av ei sterk linse foran prøven. Den fokuserte strålen beveges («scannes») over prøven samtidig som

et signal fra prøven nytes til å gi kontrast i bildet på et katodestrålerør. Prøven kan her være massiv og mange typer signal kan nytes til å danne bildet, se fig.5.

Mange var med på å utvikle disse teknikkene, bl.a. de store instrumentprodusentene i Japan og Europa. Det var imidlertid amerikaneren Crewe³ som først demonstrerte hvordan enkeltatom under spesielle betingelser kan bli synlige i et scanningbilde.

Størst betydning har SEM-instrumentene likevel fått i mer rutinemessige undersøkelser i biologi og av materialer. De har bl.a. gitt kjemisk analyse en ny dimensjon ved at vi nå kan bestemme sammensetning innenfor ganske små områder, en mikrometer eller mindre i utstrekning. Slik analyse bygger på spektroskopi enten av sekundær stråling som sendes ut fra atomene i det bestrålte området (røntgen, Auger-elektroner) eller av energitap i de uelastisk spredte elektronene, EELS (Electron Energy Loss Spectroscopy) – se fig.6. Det har revolusjonert mange analytiske oppgaver, fra rettsmedisin til geologi, at vi ikke lenger trenger å løse opp eller fordampe det faste stoff for å analysere det: Vi kan fokusere elektronstrålen på et støvkorn eller et bestemt sted på en bruddflate og finne den lokale sammensetning. Det minste området en kan analysere vil være begrenset av spredning av elektronstrålen til sidene, i en massiv prøve ca. en mikrometer. I en tynn prøve blir denne utbredningen atskillig mindre, i transmisjons-elektronmikroskopet kan vi bestemme kjemisk sammensetning av områder ned til noen få nm i utstrekning, ved flere spektroskopiske metoder.

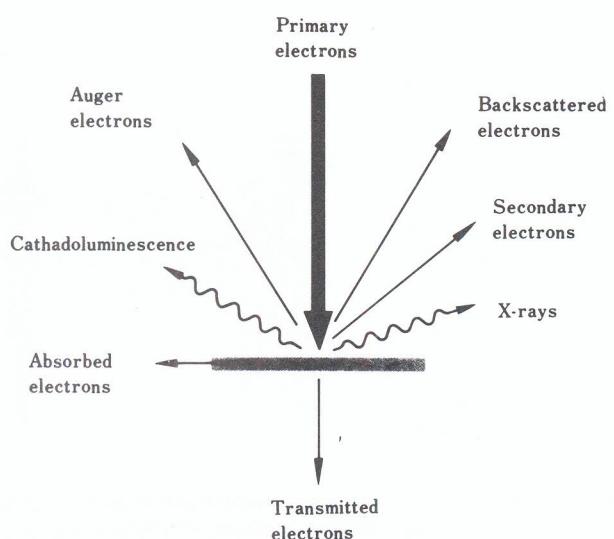


Fig.5. Forskjellige signaler fra objektet kan nytes til å danne kontrast i scanningbilde eller til analyse.

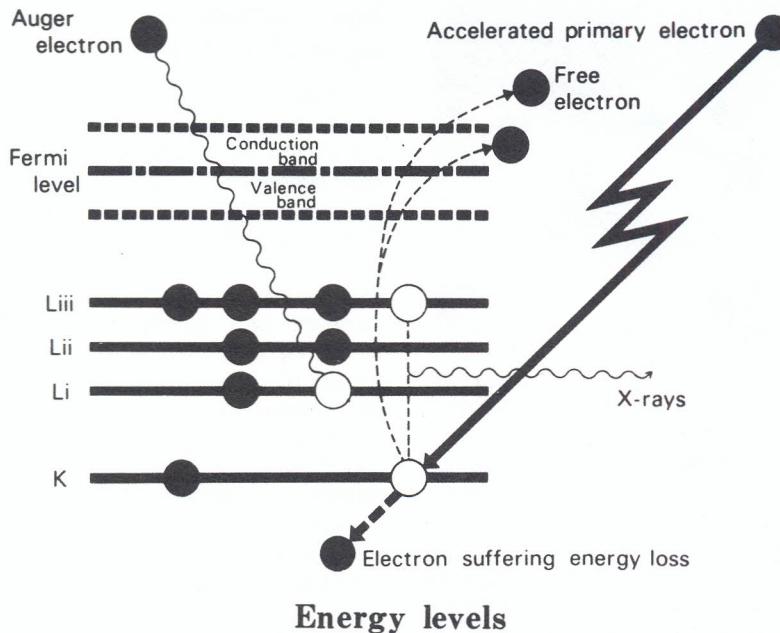


Fig.6. Overganger som bestemmer energien i energitap-, røntgen- og Augerelektronspektroksi

Å SE ATOMER – elektronmikroskopi med høy oppløsning

I 1972 viste australieren John M. Cowley,⁴ sammen med japaneren S. Iijima, hvordan man kan avbilde krystallstrukturen direkte i elektronmikroskopet. Det var resultat av års innsats i flere retninger: De forbedret til gjengelig oppløsningsevne, som da var ca. 4 Å. På grunnlag av teoretiske arbeider over elektronspredning og optikk fant de fram til kontrastbetingelser som gjør det mulig å tyde bildet ved den projiserte strukturen. De valgte vel egnede objekt, de såkalte blokk-oksydene, der samspillet mellom en grunnstruktur og defekter danner en stor familie av strukturer med varierende støkiometri. De ikke bare så projiserte krystallstrukturer: De bestemte en rekke av dem.

Med de beste elektronmikroskopene kan en i dag oppnå avbildning med en punktoppløsning på bedre enn 1.5 Å. Eksemplet, fig.7, viser et bilde av stablefeil i en kopper-aluminiumlegering. Det er tatt ved det elektron-mikroskop som i dag kanskje har den høyeste oppløsningsevnen, Oxford universitetets 400kV JEM 4000 EX.

Høyoppløsningselektronmikroskopien er en unik metode i krystallografien. Den lokale krystallstruktur observeres direkte, vi kan se variasjoner i den og studere samspillet mellom defekter og idealstruktur. Mange kompliserte strukturer er bygd opp av defekter i en enkel

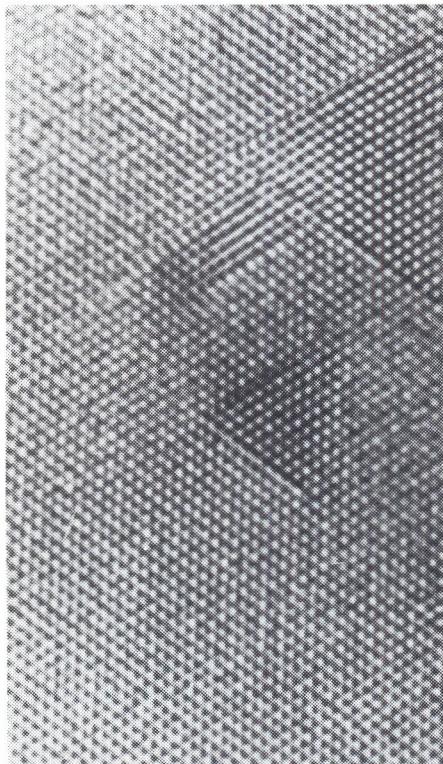


Fig.7. Høyoppløsningsbilde av en kopper-aluminiumlegering, med stablefeil. Oppløsningsevnen er 1.5 Å. (A. Olsen, P. Hazzledine, J. Hutchison)

grunnstruktur, ved periodiske feil eller modulasjoner. De er ofte ufullstendig ordnet eller kan ha typer av ordning som ikke faller inn under det tradisjonelle krystallstrukturbegrepet (inkommensurable strukturer, kvasikrystaller). Slike strukturer kan vanskelig bestemmes uten ved elektronmikroskopi.

Slik det ofte er i god fysikk var den grunnleggende tankegang enkel ved strukturavbildning i elektronmikroskopet. Krystallen oppfattes som et faseobjekt, idet atomene representeres ved deres elektrostatiske potensial, $U(x,y,z)$. Det endrer fasen til de Brogliebølgen. I den aller enkleste tilnærmingen, når de Brogliebølgelengden går mot null og krystallen er tynn, kan bølgefunktjonen skrives som en modulasjon av den innfallende plane bølgen $\exp(i\mathbf{k}_0 \cdot \mathbf{r})$

$$\exp(i\mathbf{k}_0 \cdot \mathbf{r}) \cdot \exp(i\sigma \int U(x,y,z) dz),$$

der σ er en konstant og integrasjonen i z -retningen svarer til en prosjeksjon av potensialet. Dette kalles «tynnt faseobjekt»-tilnærmingen, se f.eks Cowley.⁵ Ved perfekt (Gaussisk) avbildning med uendelig apertur i diffraksjonsplanet gir dette uttrykket ingen kontrast fra objektet. Kontrast i bildet oppnås enten ved en apertur som fjerner noen av de spredte strålene (amplitudekontrast) eller ved å modifisere fasene til dem (fasekontrast). De viktigste leddene i faseendringen X som funksjon av vinkelen, uttrykt ved den spredningsvariable

$$s = 4\pi \sin\beta/L,$$

kommer fra defokusering, Δf , og sfærisk aberrasjon, C_s :

$$X(s) = \pi \cdot l \cdot \Delta f s^2 + (\pi/2) C_s l^3 s^4.$$

Ved å velge en passende defokusering, f.eks. slik at faseendringen er nær $\pi/2$ for de viktigste Fourier-komponentene (de spredte strålene) kan en få fram et bilde som likner objektet og som utnytter mikroskopets oppløsningsevne.

I en fullstendig teori behandles spredning i objektet ved en Schrödingerlikning for det innfallende elektron, \mathbf{r} , og partiklene i objektet, \mathbf{r}_j :

$$[H_{\text{obj}} + H_c + U(\mathbf{r}, \mathbf{r}_j)] \psi(\mathbf{r}, \mathbf{r}_j) = (E_0 + E_c) \psi(\mathbf{r}, \mathbf{r}_j),$$

men der vi ofte erstatter vekselvirkningen $U(\mathbf{r}, \mathbf{r}_j)$ med et elektrostatisk (optisk) potensial $U(\mathbf{r})$, se f. eks. Reimer.⁶

Elektronspredning i krystaller

Det er tre forhold som gjør elektronene særlig nyttige til å studere lokal atomær struktur: Den korte bølgelengden, muligheten til å lage linser – og den sterke vekselvirkningen med atomene. Et

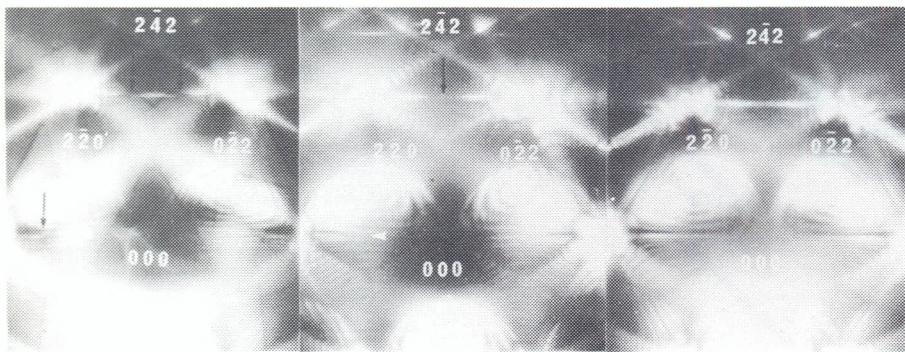


Fig.8. Konvergentstrålebilde av en ZnS-kristall. Bruddene på den lyse linja representerer degenerasjon av Blochbølger og er følsom for detaljer i elektronstrukturen.(H. Matsuhata)

atom er faktisk nok til å endre fasen til de Brogliebølgen målbart. Men den sterke vekselvirkningen fører også til problem, praktisk og teoretisk. I praksis ved at objektet kan påvirkes av strålingen. Teoretisk kreves en inngående og ofte detaljert behandling av spredningen. Derfor har den eksperimentelle utviklingen vært nært knyttet til teori.

Høyoppløsningsmikroskopien er således bygd opp omkring en egen optisk formulering av forplantning av bølger i et periodisk medium. Den såkalte «multisliceformuleringen» som er utviklet av Cowley og medarbeidere er særlig egnet når mange reflekterte stråler opptrer samtidig.

En annen beskrivelse bygger på egenfunksjoner, Blochbølger, som i bandteori for valenselektroner i krystaller. Den ble først formulert av H. Bethe⁷ i 1928 og eigner seg best når relativt få spredte stråler opptrer. Blochbølgene nytes bl.a. i beskrivelse av forskjellige effekter i såkalte konvergentstråle-

diffraksjonsmønstre. Disse lages ved at elektronstrålen fokusseres mot et punkt på prøven, som vist i fig.2e. Figur 8 viser et slikt mønster fra en tynn krystall av sinkblende. Posisjonen av utslokningsene gir nøyaktig informasjon om detaljer i elektronstrukturen i krystallen, d.e. om bindingsforholdene.

En analyse av variasjoner i Blochbølgenes strømtetthet innenfor enhetscella førte til en krystallografisk metode som nå går under navnet AL-CHEMI: Atom Location by Channeling Enhanced Microanalysis (Taftø⁸). Ved små endringer i retningen på den innfallende strålen kan vi legge vekt på ulike Blochbølger og derved dirigere elektronet mot forskjellige posisjoner i enhetscella. Kombinert med spektroskopi, f.eks. av utsendt røntgenstråling kan vi derved knytte elementanalysen til de forskjellige posisjoner i strukturen. Figur 9 viser prinsippet anvendt på analyse av en krystall av mineralet olivin.

Nye instrument – objekt og muligheter

I virkelige faste stoff spiller grenseflater mellom krystallene og mot vakuum eller atmosfære en viktig rolle. De bestemmer egenskaper i mikroelektronikk og kompositmaterialer. Det er på grenseflater og overflater at de kjemiske reaksjonene skjer, f.eks. ved korrosjon. Scanningmikroskopene er blitt sentrale instrument til å studere overflater. Signaler fra de aller ytterste atomlagene kan brukes til analyse av sammensetning eller struktur av overflata til halvedere, katalysatorer osv.. I scanning Auger mikroskopet (SAEM) nytes Augerelektronene til kjemisk analyse. Et annet spesialisert scanning instrument, STEM = Scanning Transmission Electron Microscope nytes i transmisjon, med en stråle som fokusseres til noen få Ångstrøm i diameter bl.a. til studier av katalysatorer. For å få en så fin stråle nytes en spesiell elektronkilde: En fin spiss der elektronene sendes ut fra et ganske lite område.

Binnig og Rohrer^{9,10,11} som fikk Nobelprisen sammen med Ruska brukte en slik spiss i et scanninginstrument de laget etter et helt annet prinsipp. De rykket spissen tett inntil prøven og la en ganske liten spenning over, på noen få volt. Det vil da gå en strøm mellom spissen og prøven når avstanden er ganske liten. Ved hjelp av piezoelektriske krystaller kunne de flytte spissen langs prøvens overflate, og styre høyden slik at strømmen holdes konstant. Det viser seg at de variasjoner man da får avtegner den atomære struktur av overflata.

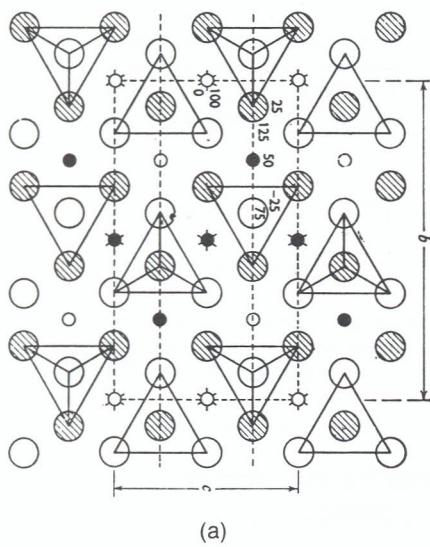


Fig.9. Røntgenspektre (b) fra en krystall av en magnesium-jern olivin med små mengder nikkel og mangan, som kan gå inn i to forskjellige kationeposisjoner (små fylte og åpne sirkler i (a); de store sirklene markerer SiO₄-tetraedre). De to spektrene er tatt opp med en liten forskjell i innfallsretning – forskjellene reflekterer forskjellig strømtetthet innenfor den projiserte enhetscella – og derved hvor kationene er plassert.(J. Taftø).

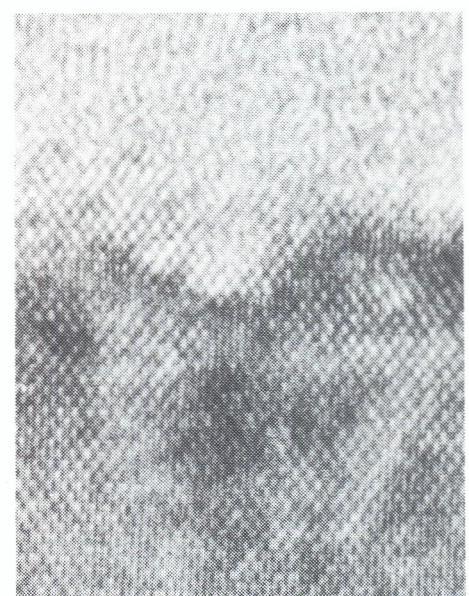


Fig.10. Høyoppløsningsbilde av grenseflate mellom krystallinsk og amorft silisium. (A. Olsen)

Binnig og Rohrs «scanning tunneling mikroskop» hører ikke til de egentlige elektronstråleinstrumentene. Men det viser igjen hvordan man nå behersker eksperimentelle teknikker som gjør det mulig å se det enkelte atom. I tillegg har det viktige muligheter som ikke er så lett å realisere med en elektronstråle. En er ikke avhengig av at prøven står i vakuum – og det antydes andre varianter av scanningteknikken, som innebefatter manipulering av struktur på atomært nivå.

Nye objekter

Hvor bringer disse mulighetene oss i studiet av faste stoff?

Vi kan si at de første tiårene av faststoffsikken, 1960- og 70-åra var preget av studiet av homogene faste stoff og enkeldefekter i dem. Vi fikk utviklet teorien for valenselektroner og elementære eksitasjoner: fononer, plasmoner osv. og for defektene rolle i fundamentale egenskaper som plastisitet og ledningsevne i metaller og halvledere.

I 1970-åra fikk vi utstyr til å studere overflater og tok til å skjonne deres rolle. Mye tyder på at 1980-åra er det tiår da de indre grenseflater, mellom korn av samme eller ulike faser, stablefeil, antifasegrenser osv. for alvor kom i fokus. Bakgrunnen er delvis de muligheter elektronstråleinstrumentene og andre teknikker nå har gitt for å studere den lokale atomære struktur. Men like viktig er at deres betydning i halvlederteknologi, kompositmaterialer, katalyse, implantater, kjemiske reaksjoner i faste faser osv., blir stadig større og tydeligere.

Samtidig har data teknologien gitt nye muligheter til å beskrive komplekserte og sammensatte system og bidratt til utvikling av nye modeller til å beskrive dem. Til sammen har dette ført til en økt interesse for inhomogene system, grenseflater, uorden – og økt betydning av metoder som kan nytties til å undersøke strukturen av dem. Tildelingen av fjorårets fysikkpris til Ernst Ruska markerer denne betydningen.

Referanser

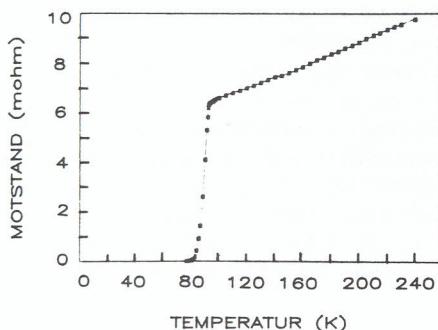
- E. Ruska and M. Knoll, Z.techn. Physik, **12**, 389, 448 (1931).
- E. Ruska, *The Early Development of Electron Lense and Electron Microscopy*, Hirzel, Stuttgart, 1980.
- A.V. Crewe and J. Wall, Optik, **30**, 461 (1970).
- J.M. Cowley and S. Iijima, Z. Naturforschung, **27a**, 445 (1972).
- J.M. Cowley, *Diffraction Physics*, North Holland, 1975.
- L. Reimer, *Transmission Electron Microscopy*, Springer, 1984.
- H. Bethe, Ann. Physik, **87**, 55 (1928).
- J. Taftø, Science, **218**, 49 (1982).
- G. Binnig, H. Rohrer, C.H. Gerber and E. Weibel, Physica **109/110B**, 2075 (1982).
- G. Binnig and H. Rohrer, Surface Science **126**, 286 (1983).
- G. Binnig and H. Rohrer, Scientific American **252**, 50, august (1985).

∞

Nyheter FFV

Høgtemperatur supraleiar: Ein fysikars draum er blitt ein realitet.

1986-87 vil i framtida bli ståande som eit merkeår i faststoff fysikkens historie, nemleg som året då den kritiske temperatur for supraleiande tilstand vart flytta frå 23.2 K over temperaturen for flytande nitrogen (77 K).



Oppdaginga av ein ny klasse supraleiande material som består av oksyd av sjeldne jordarter, pluss barium eller strontium og kopar vart gjort av J.G. Bednorz og K.A. Müller ved IBM Research Lab, Zürich. Dei første observasjonane¹ plasserte T_c ved ca. 35 K.

Deretter gjekk den fort opp til² 93 K, med antydning om ustabile observasjonar av T_c opptil 148 K.

Supraleiande eksperiment kan nå altså utførast med flytande nitrogen som kjølevæske!

Dei teknologiske implikasjonane av dette kan vere enorme. Kjøling av kraftkablar i flytande N_2 er sjølv sagt langt mindre kostbart enn kjøling i flytande He. Gamle planar om tapsfri transport av store kraftmengder over betydelege avstandar kan nå hentast fram att og kanskje realiserast. Revolusjonen er like stor med tanke på supraleiande magnetar som etter kvart får større og større anvendelse i MR-maskinar, i akkseleratorar, i laboratoriemagnetar osv. Ein svært lovande eigenskap ved dei nye materiala er og at dei toler svært høge magnetfelt. Estimat² gir øvre kritisk felt på 165 tesla ved 0 K med $T_c = 90$ K. Ennå er det for tidleg å fastslå alle dei teknologiske implikasjonane sidan den nye materialklassen langt frå er ferdig utforska med omsyn til framstillingsmetode, struktur, stabilitet, mekaniske eigenskapar, supraleatingsmekanisme. Men den historiske barrieren er broten: Å lage supraleiar som misser all detekterbar elektrisk motstand over 77 K. Målet vidare vil vere å flytte denne grensa ennå mykje høgre, helst til romtemperatur. Då vil den heilt store teknologiske revolusjonen ha skjedd.

Mot slutten av 60-talet gjekk mykje av «lufta» ut av feltet supraleiing. BCS-teoriens konsekvensar var blitt grundig studert, og lite prinsipielt nytt kom fram i siste del av 60-talet. Frå 1973 stod den høgste kritiske temperaturen fast ved $T_c = 23.2$ K, oppnådd i Nb_3Ge . Det store gjennombrotet mot høg-temperatur supraleiing som all verdens lågtemperatur-fysikarar har venta på i eit par mannsaldrar uteblei, trass i at tusenvis av samansettingar er utprøvd. I same perioden lærde ein likevel å lage supraleiande material som toler stadig høgre magnetfelt.

Den russiske fysikaren V.L. Ginzburg skreiv tidleg på 60-talet at det burde brukast like store ressursar på å utvikle høgtemperatur-supraleiar som det blir brukt i partikkelfysikken. Dette p.g.a. dei enorme teknologiske implikasjonane for tapsfri transport av elektrisk straum.

Men nå er det ikkje sikkert at slike store pengar hadde utløyst denne oppdaginga. Her var det nemleg snakk om å skaffe fram ein ny ide. Legeringar førde rett og slett ikkje fram. Noko så ukonvensjonelt for elektrisk transport som eit oksyd skulle til. Men også fleire supraleiande oksyd var oppdagat, utan å gje høg T_c . Det som trengdest var ein forskar som hadde god nok kjennskap til elektroniske bindingstilstandar i oksyd. Her kom altså Alex Müller inn med si store innsikt i nettopp slike material.

Ved samtale med undertekna fortel Alex Müller at han har hatt ideen til denne nye klassen oksyd-supraleiar i ca. 20 år. Men det var først nå at han og Bednorz gjorde ein alvorleg innsats og fann den rette komposisjonen.

For norske fysikarar vil det vere spesielt interessant og hyggeleg at nettopp Alex Müller skulle gjøre denne store oppdagingsa. Gjennom arbeidet med strukturelle faseovergangar har han hatt langvarig kontakt og samarbeid med norske grupper i Oslo og Trondheim. Han har vore i Noreg mange gonger. Hans favoritt-tema har vore den strukturelle faseovergangen i SrTiO_3 og liknande material. Hans gode innsikt i elektronisk tilstand i desse materiala var nok avgjerande. Dette materialet kan og preparerast slik at det blir supraleiande.

For undertekna, og andre som har arbeidd i feltet supraleiing, er Bednorz og Müllers oppdaging realiseringa av ein fysikars draum. Oppdagingsa vil bli ståande som ei av dei store i fysikkens historie.

Det er nå fritt fram for alle som vil å prøve å forbetre oppskriftene som er

funne hittil. Dette er ikkje ressurskrevjande i første omgang, men vil kanskje snart bli det når sofistikeringsgraden aukar. Og det gjer den fort. I Trondheim planlegg vi nå å ha målingar i gang på material som er laga av Bednorz og Müller i løpet av mars månad 1987. Arbeidet med å lage eigne, nye material er og starta.

Til slutt: Det seier litt om kvaliteten og nivået i IBM-gruppa i Zürich at denne oppdagingsa skjer i same gruppa som i haust fekk Nobelprisen for tunneling mikroskopet, ved Rohrer og Binnig. Det seier vel også noko om ambisjonsnivået: «Ein gamal draum eg har hatt er blitt realisert», sa Alex Müller. Utan draumen om å gjere det «umogelege» hadde ingen av desse oppdagingane blitt til. Noko å lære for Ola Nordmann?

Trondheim, 11.3.1987
Kristian Fossheim

Referansar

1. J.G. Bednorz og K.A. Müller, Zeitschrift für Physik B, Condensed Matter **64**, 189-193 (1986)

2. M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torng, P.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao, Z.J. Huang, Y.Q. Wang og C.W. Chu, Physical Review Letters **58**, 908-910 (1987)

PS: Alt få dagar etter at dette var skrive har amerikanske aviser store oppslag om oppdagingsa. Det blir hevda at $T_c = 240 \text{ K}$ kanskje er nådd. P.W. Anderson foreslår ny mekanisme for supraleiing, basert på fråstøytande vekselverknad. Romtemperatur supraleiing kan bli ein realitet innan kort tid. Men tida får vise.

Trondheim 20.3.87

D.S.

Rett før FFV går i trykken forteller Fossheim at kjemikere ved Universitetet i Trondheim, NTH, har fremstilt et materiale av denne typen der han har funnet Curie temperatur ved 88K. Likevel resultater er også oppnådd av kjemikere og fysikere ved Universitetet i Oslo.

Red.

∞

Bokomtaler

Arne B. Holt: Bare et blafrrende lys. Sigma Forlag, 1987 (199 sider).

En bok med høyst uvanlig innhold er kommet på bokmarkedet i år. Det er boken «Bare et blafrrende lys», av Arne B. Holt. Forfatteren har da også en uvanlig karriere: Sivilingeniør fra NTH, fra midten av 1950-årene ansatt ved Westinghouse Atomic Energy Division, deretter 12 år ved den amerikanske atomenergi-kommisjon (AEC), nu pensjonist i Washington D.C.

Denne løpebanen har tydeligvis gitt ham et inngående kjennskap til emnet som han behandler i boken, nemlig atomenergiens relativt korte, men begivenhetsrike historie, fra sist i 1930-årene, da muligheten for å utvinne atomenergi plutselig åpenbarte seg. Bokens noe underfundige tittel kan bidra til at man ikke umiddelbart blir oppmerksam på at dette er bokens meget aktuelle tema.

Det er utrolig hva forfatteren sitter inne med av detaljkjennskap til de manipulasjonene og det intrikate spill som ofte foregikk bak kulissene, både på det teknisk-vitenskapelige, juridiske og politiske plan. Et mangfoldig persongalleri passerer revy. Disse personene, som for mange av oss bare har vært navn som vi

har sett på trykk, får gjennom hans fremstilling plutselig liv, på godt og ondt, gjennom deres egne utsagn og handlinger. Blant mange ti-talls personer som er berørt, skal jeg bare nevne noen ganske få, som vil være kjent for de fleste: Bohr, Einstein, Szilard, Teller, Fermi, Segré, Oppenheimer, Bethe, Seaborg.

Forfatterens fargerike fremstilling underbygges med sitater, både fra bøker, aviser og andre kilder. Nøyaktige kildehenvisninger gjør hans fremstilling ytterligere troverdig. Han oppgir tid og sted for viktige møter og konferanser, hvem som deltok og hva resultatet ble. Det fremgår hvor splittet meningene iblant kunne være, ikke minst når det gjaldt sikkerheten ved reaktoranlegg.

Boken er skrevet før Tsjernobyl-katastrofen, men det forringar ikke bokens verdi. Snarere tverimot, for ingen kan nu påstå at forfatteren har vært etterpåklok når det gjelder sikkerheten. Han stiller seg nemlig i mange henseender skeptisk til den påståtte sikkerheten ved anleggene og harselerer en god del med de metodene som ble brukt da de bindsterke sikkerhetsanalysene ble utarbeidet for å rettferdigjøre plasseringen av reaktoranlegg i befolkede områder. Hans syn på kjernekraften forekommer meg å være noe ambivalent: han ser fordelene, men viser noe tilbake for ulempe og de mange faremomentene som er knyttet til denne energikilden.

Forfatteren åpenbarer kunnskaper

langt ut over bokens egentlige tema, og dertil en særegen humoristisk sans. Dette kommer til uttrykk ved at han har krydret boken med de mest fornøyelige og treffsikre kommentarer, mange av dem temmelig sarkastiske. Bildet som derved fremtrer av de enkelte hovedaktørene er ikke alltid bare flatterende. Hele boken er en sammenhengende livfull og spennende beretning om utviklingen av atomenergien, både for militære og fredelige formål.

Det har for meg vært en sann fornøyelse å lese boken, og jeg vil anbefale den på det beste, først og fremst til de mange som er opptatt av dagens kjernekraftspørsmål. Men forfatteren skriver ikke bare for fagfolk. Boken går ikke inn på tekniske spissfindigheter, den er velskrevet, har en munter form, og med tankevekkende kommentarer også på det rent mennesklige plan, gir den derfor stort utbytte også for en leser som ikke sitter inne med tekniske forkunnskaper.

En del trykkfeil er det eneste jeg har å innvende. De burde vært unngått.

Sverre Westin

∞

Miles V. Klein, Thomas E.
Furtak: Optics – 2. ed., John
Wiley & Sons, 1986 (660 sider).

«Optics» er nå kommet ut i en ny og sterkt revidert utgave. Den første utgaven fra 1970 var ei grundig lærebok og samtidig et brukbart oppslagsverk innen generell optikk. Denne nye utgaven har fått Furtak som medforfatter og han er muligens hjernen bak endringene.

Åpningskapitlet fletter historisk bakgrunn og grunnleggende prinsipper og modeller godt sammen. Her er framstillingen en del omarbeidet i forhold til førsteutgaven.

Alt stoff om vekselvirkning stråling – materie er blitt samlet i det andre kapittelet. Med basis i Maxwells likninger utledes her Fresnel-formlene og ulike stofers optiske egenskaper.

Under tittelen «praktisk geometrisk optikk» i kap. 4 finner vi blenderteori, radiometri og fotometri samt en omarbeidet og relativt grundig innføring i tredje ordens aberrasjoner. Noen flere eksempler hadde gjort seg i denne delen av boka. Kapittel 5 om interferens er nesten nytt. Forfatterne påstår her at deres bruk av Jones-matriser i multippestråle-interferens ikke tidligere er benyttet i optikkbøker?!

Diffraksjonsfenomener står svært sentralt i moderne optikk og selvsagt også i denne boka. Kapittel 6 forteller om Fraunhoferdiffraksjon og grunnleggende Fourieroptikk, mens kap. 7 tar for seg tyngre emner som Fresneldiffraksjon og koherent billeddannelse. Eksempler på anvendelser er holografi, optisk prosessering (billedbehandling) og gaussisk stråleoptikk.

Koherenskapitlet (8) omfatter foruten generelle betraktninger også inkoherent billed-dannelse og spesielle teknikker som korrelasjons-interferometri, o.a..

Boka runder av med et kapittel om polarisasjon. Den meget vanlige Stokesvektor-beskrivelsen av generell polarisasjon nevnes ikke med et ord. I stedet benyttes koherensmatrise-formalismen fullt ut.

Hvert kapittel i den nye «Optics» er blitt forsynt med en saftig mengde oppgaver, men løsningsforslag eller et skarve tallsvar mangler helt. Det synes jeg er skammelig for ei seriøs lærebok som dette. Figurene kunne kanskje ha vært litt mer fantasifulle og forseggjorte, optikk er om ikke et estetisk så ihvertfall et visuelt fag! Tross dette er boka absolutt brukbar; som lærebok, oppslagsbok eller ganske enkelt pynt i bokhylla.

Oddbjørn Grandum

∞

Konferanser

UPPSALA konferansen om μSR-spektroskopi

I juni i år samlet 120 fysikere og kjemikere seg i Uppsala til en konferanse om Muon Spin Rotation («μSR»). Dette er en forholdsvis ny metode til å undersøke faste stoffer, både magnetiske og umagnetiske. En sender muoner (μ^+) inn i stoffet og overvåker hvordan det magnetiske moment (eller spinnet) oppfører seg via de signaler (positroner) som blir sendt ut når muonene er kommet til ro i stoffet. Fra dette signalet kan en finnes hva slags gitterplasser muonene har valgt ut, hva slags magnetisk felt de føler og hvordan dette varierer i tid. Muonet oppfører seg svært analogt til hydrogen, og kan derfor nyttes som en sonde for å undersøke opptak og diffusjon av hydrogen i metaller. Metoden er meget følsom og nøyaktig siden vi har å gjøre med resonansfenomener.

Fra ombygde akseleratorer, f.eks. en gammel syklotron, kan en få stråler av pioner (π^+). Disse er lite stabile og avspalter muoner:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu(\mu),$$

der $\nu(\mu)$ er et meson neutrino. Under denne prosessen blir muonetts magnetiske moment (spinn = 1/2) rettet inn langs stråleretningen. Muonet har 100 ganger lengre levetid enn pionet og har tid til å slå seg til ro i en prøve. Et det et magnetisk felt tilstede, vil muonetts moment presesere rundtfeltet. Etter en tid vil muonet selv desintegrere og avspalte et positron (e^+)

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu(e) + \nu(\mu).$$

Dette positronet vil hovedsakelig sendes ut i polarisasjonsretningen av muonet. Hvis vi lager en koinsiden-soppstilling med en variabel forsinkelse mellom deteksjonen av μ^+ foran prøven og e^+ etter prøven, vil vi finne en eksponentiell minking av intensiteten som funksjon av forsinkelsen (størrelsesordenen mikrosekunder). Overlagret finner vi også en oscillerende komponenet som skyldes presesjonsbevegelsen til muonetts moment. Frekvensen gir oss direkte feltet på den gitterplassen muonet har strandet.

På konferansen i Uppsala var ett av emnene nettopp studiet av egenskapene til de gitterplasser som tok opp muonet. Muonet har også evne til å

bevege seg (diffundere) mellom slike plasser. I rene metaller er muoner faktisk mobile ned til temperaturer under 1K. Likheten med hydrogen gjør disse resultatene svært interessante.

Et nytt lavtemperatur kvantefenomen ble diskutert av J. Kondo. Han tok for seg skjermvirkningen av frie elektroner i metaller på vandringen av muoner. Eksperimentelle resultater er nå kommet fra CERN og Vancouver som ser ut til å bekrefte teorien.

Undersøkelser av tunge Fermion stoffer med μSR-teknikk var nyheter innenfor den magnetiske delen av møtet. Disse stoffene har overraskende høye effektive elektronmasser og har flere andre gátefulle egenskaper. Ved siden av kvasikrystaller (5-tallig symmetri), fractaler og kaos har tunge Fermioner seilt fram som det mest aktuelle forskningsemnet i faststoff-fysikk de siste åra.

Studier av halvledere, overflate og kjemiske radikaler ble også dekket ved konferansen. Mesonfabrikker med μSR avdelinger finnes nå i Sveits (SIN), Vancouver (TRIUMF), Los Alamos (LAMPF), Japan (KEK), Brookhaven, USA, Dubna, Sovjet og ved Rutherford Lab., England (SNS). Anvendelsen av denne forskningsmetoden har økt dramatisk de siste åra, og stadig nye områder er trukket inn. Møtet i Uppsala var det fjerde i rekka og planene for det neste møtet ble alle rede drøftet. Den gamle mesteren A. Abragam kalte μSR metoden «den yngste datteren til Hans majestet spinn». Hun er meget eventyrlisten og vil nok gi oss mange overraskelser i fremtida.

Olav Steinsvoll

∞



**Skriv
i
FFV**

PÅMELDING TIL
FYSIKARMØTET I STAVANGER
15.-18. JUNI 1987

Namn: Adresse:

Innkvartering for voksne og barn for nettene
14-15/6 15-16/6 16-17/6 17-18/6 18-19/6 ved

Stavanger Sommerhotell, Madlamarkv. 6

Enkeltrøm	kr. 330.- per døgn	<input type="checkbox"/>
Dobbeltrøm	kr. 400.- per døgn	<input type="checkbox"/>
Leilighet (3 personar)	kr. 570.- per døgn	<input type="checkbox"/>

Mosvangen Ungdomsherberge, Henrik Ibsensgt. 21

Ein person per rom	kr. 450.- per døgn og rom	<input type="checkbox"/>
To personar per rom	kr. 520.- per døgn og rom	<input type="checkbox"/>

Alstor Hotell, Tjensvollv. 4A

Enkeltrøm	kr. 725.- per døgn	<input type="checkbox"/>
Dobbeltrøm	kr. 825.- per døgn	<input type="checkbox"/>

Ein del rom er reserverte på desse hotellane inntil tidleg i mai. Dei oppgitte prisane inkluderer frukost. I ei leilighet er det dobbeltseng + enkelseng. Det er høve for dei som kjem aleine, å bli innkvartert i dobbeltrom saman med andre.

Merk av 1. alternativ med "A", 2. alternativ med "B".

Eg melder på personar til grillfesten 15/6. Drikkevarer kostar.

Eg melder på personar til festmiddagen 16/6. Pris: kr. 225-250.

Eg melder på personar til båttur til Lysebotn 17/6. Pris: kr. 150.

Eg vert med på ekskursjon til RF 18/6 (orienterande påmelding)

Eg vert med på ekskursjon til Svacom 18/6 (orienterande påmelding)

Dei oppgitte arrangementsprisane gjeld per person.

Eg melder på innlegg til parallellesesjon: Ja/nei. Tid: min.
(maksimalt 20 min.) Samandrag på engelsk må følgje.

Registreringsavgift kr. 400.- (kr. 500.- ved registrering etter 10.mai)

Ønsker skjema for 20% kongressrabatt på fly/togreise: Ja/nei.

Påmelding sender ein innan 10. mai til

Fysikarmøtet 1987
Høgskolesenteret i Rogaland
Postboks 2557 Ullandhaug
N-4001 Stavanger

For nærmere opplysninger, ring (04) 874262 eller (04) 875262.

FYSIKERMØTET
NPS MEETING
STAVANGER, JUNE 15-18, 1987

Monday 15.	Tuesday 16.	Wednesday 17.	Thursday 18.
OPENING SESSION	J.S.BELL: Quantum Mechanics after ASPECT	PO-ZEN WONG: Fractals and rocks	Discussion: EVALUATION REPORTS OF NORW. PHYSICS ACTIVITIES
E.CLEMENTI: Vectorization and paralleliza- tion in physics	COFFEE BREAK	COFFEE BREAK	COFFEE BREAK
COFFEE BREAK	NPS ANNUAL MEETING	Presentation of NORWEGIAN PETROLEUM PHYSICS (Arr.: K.KOLLTVEIT 2-3 lectures)	(Arr.:NPS BOARD)
G.MARYNIAK: The harvest of space			Excursion to ROGALAND RESEARCH INSTITUTE
LUNCH BREAK	LUNCH BREAK	LUNCH BREAK	LUNCH BREAK
H.B.NIELSEN: Superstrings			
D.Gjessing: Remote sensing	NORSK DATA Prize lecture		Excursion to SVACOM at Sandnes
S.SJØBERG: Physics in sport	SIMRAD Prize lecture	Excursion to LYSEBOTN Boat trip	
COFFEE BREAK	COFFEE BREAK		
PARALLEL SESSIONS (PAPERS)	PARALLEL SESSIONS (PAPERS)		
GRILL PARTY			
	DINNER	Back at ca 21.00	
20.00			

STYRE

Formann:

Professor Eivind Osnes, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Vise-formann:

Professor Ove Havnes, Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.

Styremedlemmer:

Førsteamanuensis Torgeir Engeland, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Førsteamanuensis Kårmund Myklebost, Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Professor Haakon A. Olsen, Fysisk institutt, Universitetet i Trondheim/A VH.

Selskapets sekretær:

Gerd Jarret, Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.

Tlf.: (02) 712560

Postgirokonto: 5 88 38 89.

Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Førsteamanuensis Øivin Holter, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Førsteamanuensis Finn Ingebretsen, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonssekretær:

Amanuensis Tor I. Langeland, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:

Førsteamanuensis Neralv Bjørnå, Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.

Forsker-NAV Anne Grethe Frodesen, Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Lektor Ingrid Hiis Helstrup, Langhaugen skole, Bergen.

Professor Per Chr. Hemmer, Fysisk institutt, NTH, Universitetet i Trondheim.

Forsker Olav Steinsvoll, Institutt for energiteknikk, Kjeller.

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt,
Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern,
0316 Oslo 3.

Tlf.: (02) 45 56 43

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 70.-. Studenter og skolelevere kr. 35.-.

Postgirokonto: 5 10 47 24

Bankgirokonto: 6094.05.40227

Nytt fra NFS

Årsmøte i NFS

Det innkalles herved til årsmøte i Norsk Fysisk Selskap tirsdag 16. juni 1987 kl. 10.15 ved Høgskolesentret, Ullandhaug, Stavanger. Andre saker som ønskes tatt opp, må være innkommet til styret innen 15. mai.

SAKSLISTE

1. Godkjenning av innkalling og sakliste
2. Referat fra årsmøte 1986 (se FFV nr. 3/4 1986)
3. Årsmelding
4. Norsk Fysikkråd
5. Regnskap for NFS og FFV
6. Budsjett for 1987 og 1988 for NFS og FFV
7. Valg:
 - a) formann og 1 styremedlem, 3 varmedeminner
 - b) revisorer og valgkomité
 - c) medlemmer til Norsk Fysikkråd
8. Godkjenning av statuttendringer
9. Fysikermøtet 1988
10. Eventuelt.

Styret

Nye medlemmer

På styremøte 9. februar 1987 ble følgende nye medlemmer tatt opp:

Cand.real. Per Steinar Iversen
Fysisk Institutt, Allégt. 55
5000 Bergen

Forsker Jon Jakobsen
Roglandsforskning
Boks 2503 Ullandhaug
4001 Stavanger

Cand.scient. Geir Anton Johansen
Fysisk Institutt, Allégt. 55
5000 Bergen

Cand.scient. Kjartan Johannes Olafsson
Fysisk Institutt, Allégt. 55,
5000 Bergen

Dr.scient. Leif Kristoffer Sandal
Matematisk Institutt, Allégt. 55,
5000 Bergen

Lektor Karen Othilie Syljuåsen
Tranberg Vid. skole
Ludv. Skattumsgrt. 20,
2800 Gjøvik

Cand.scient. Arne Kåre Topphol
Fysisk Institutt, Allégt. 55
5000 Bergen

Dr. Bjarne Aas
Roglandsforskning
Postboks 2503 Ullandhaug
4001 Stavanger



**Studer
FYSIKK**