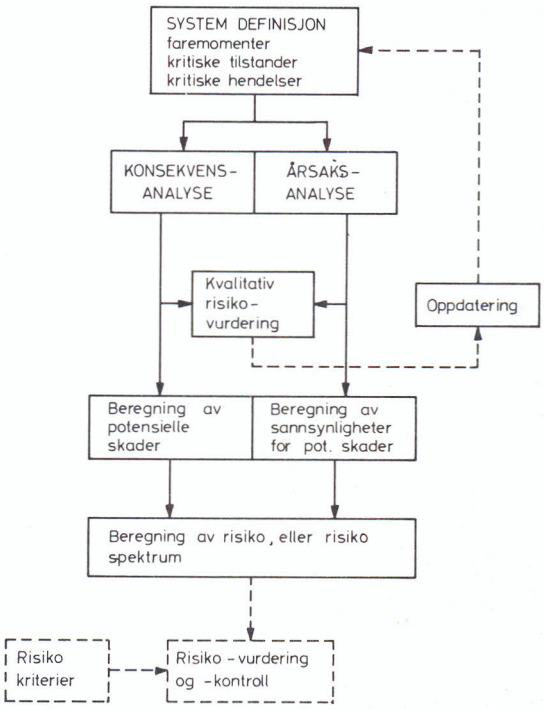
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Fra redaktøren	25
Møte i EPS Advisory Committee on Physics Education	25
EPS-møte i York	26
Litt om risikoanalyse	27
Kollisjoner mellom komplekse atomkjerner	33
Elektrokjemiske strømkilder nå og i fremtiden	39
Metalliske glass, I	44
Bøker	43, 47, 48



Eksempel på hvordan risikoanalyse utføres.
Se artikkelen på side 27.

Nr. 2 - 1978
40. årgang
ISSN-0015-9247

Retningslinjer for manuskripter til FRA FYSIKKENS VERDEN

Adresse: Til redaktøren sendes manuskripter for artikler, bokanmeldelser, møtereferater, leserinnlegg o.l.
Til redaksjonssekretæren sendes: korrektur, notiser og små meldinger, og annonser. Postadresse finnes på bladets omslag.

Korrektur: En går ut fra at mottatte manuskripter er fri for feil, og en kan ikke regne med å gjøre forandringer etter at første-korrekturen er returnert til trykkeriet. Normalt foretas korrektur og uttegning i redaksjonen, men dersom forfatteren ønsker å foreta første-korrektur selv, blir avtrykk tilsendt så snart artikkelen er satt.

Særtrykk: Disse bør bestilles samtidig med innsending av manuskriptet. Bestilling mottatt etter at et hefte er trykt og utsendt, kan bare effektueres dersom offset-platene er oppbevart. Eventuell om-ordning av tekst og/eller figurer krever ny plate og fordyrer trykkingen. Særtrykkene faktureres til selvkost. Minste bestilling er 25 eksemplarer. Normalt leveres de uten omslag.

Manuskripter: Generelle retningslinjer vil en finne bl.a. i: Rapportskriving, Universitetsforlaget 1971; og *Ove Høeg:* Vitenskapelig forfatterskap, Universitetsforlaget 1968. Spesielt skal fremheves: tabeller innskutt i teksten bør unngås. Maksimum 2 stk. 1-spalte figurer pr. trykt side. Enkle matematiske formler og uttrykk settes fortløpende, eks.:
$y = (ax + b)/x^2$; $t_2 = t_1 (1 + \exp(t/RC))^{-1}$. Vektorer må symboliseres med pil over bokstavsymbolet, men streker, piler o.l. over eller under bokstaver og tall må tilføyes særskilt, derfor bør de unngås såvidt mulig. Redaksjonen har prøve av alle de bokstaver og tegn som setteriet rår over, og kopi kan sendes på anmodning. Symboler med indeks på indeks, eks.: A med indeks T_0, er uønsket.
I bokanmeldinger brukes skriftstørrelsen petit, og man har ennå sterkere begrensning, bl.a. i muligheter for bruk av matematiske tegn, og symboler med indeks. Redaksjonen må forbeholde seg rett til å gjøre forandringer i manuskriptet når settevansker oppstår.
Figurer trykkes normalt med bredde 1 spalte (= 72 mm) eller mindre. Når figurens utforming og innhold gjør det nødvendig, kan bredde på 1 1/2 spalte trykkes (108 mm). Figurer som krever større bredde enn dette, er uønsket. Til figurfremstilling kreves originaler med gode konturer og kontraster, og tydelige streker i strektegninger. Fotografier har tendens til å bli «grå» i tonen ved reproduksjonen. Tegninger må utføres slik at når de reduseres til trykkestørrelse, blir linjene ikke tynnere enn 0,15 mm og bokstavene minst 1,5 mm høye.
Artikkelens lengde bør ikke være mer enn 4—5 trykte sider, figurer inkludert. Man må regne med at artikkelen deles på to hefter hvis den er lenger.

Innlevering: I følge kontrakt med Postverket utsendes heftene innen siste dag i de 3 første kvartaler, og ca. 15 desember. Ca. 1 1/2 måned før blir manuskripter sendt til setting. Dette blir da tidsgrensen for tilsending av artikler, referater o.l. Små-notiser inntil 10-15 linjer kan tas ennå ca. 2 uker senere. Redaksjonen forbeholder seg rett til å prioritere inntaket av stoff som mottas.

Trondheim, mars 1978.

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Redaktør: OLAV STEINSVOLL
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

Nr. 2. - 1978
40. årgang
ISSN-0015-9247

Fra redaktøren.

Fysikermøtet 1978 som nettopp er avviklet brukte mye av sin tid til å diskutere problemkomplekset risiko og sikkerhet både fra en teoretisk/filosofisk og praktisk synsvinkel. I dette nummer av FFV følger vi opp med en artikkel om risikoanalyse med eksempler fra oljesektoren. Kompliserte statistiske metoder er blitt utviklet for dette formål der en prøver å komme fram til holdbare tall for sannsynligheten for at ulike uhellstyper kan forekomme i løpet av bruksperioden. For et godt konstruert system med pålitelige komponenter får en oftest som resultat et meget lite tall for uhellsrisikoen. Dette er et teoretisk tall, og beviset for at det var riktig beregnet kan en først få når atskillige slike systemer har vært i drift i en årrekke uten at uhell er inntruffet. Ved godt vedlikehold vil en kunne se bort fra slitasje og korrosjon osv. og da vil ikke et statistisk utsagn kunne forutsi noe om *når* et uhell vil inntreffe — det vil like godt kunne skje i morgen som om 30 år. Dette er et tankekors for mange.

I neste omgang må den beregnede uhellsrisikoen settes inn i en samfunnsmessig sammenheng, og en må vurdere om denne risikoen kan godtas ut fra sosiale eller økonomiske grunner. Når en risiko skal vurderes som aksepterbar må nytten og fordelene ved systemet veies mot ulempene, og som ulempe må en her ta inn både risikosannsynligheten og systemets skadepotensial (Farmer kriteriet).

En kommer da fram til at en teknologi først kan anses som *sikker* når ulempene (risiko x skade) forbundet med bruken av den aksepteres av et stort flertall av folket. Dette er en videre definisjon av *sikkerhet* enn den enkle der en setter risiko og sikkerhet mot hverandre som resiproke begreper. Teknologene må legge fram grunnlagsmateriale for en slik vurdering, men selve avveiningen ligger utenfor teknologenes område: her kommer etiske og sosiale verdier og holdninger til å spille hovedrollen.

I de siste 100 år har en gjentatte ganger innført ny teknologi i så stor skala at verdenssamfunnet er blitt preget av dette. En kan tenke på samferdsel (tog, bil, fly) eller telekommunikasjon (radio, TV). Store samfunnsinteresser blir fort knyttet til den nye teknologien (kapital, arbeidsplasser, bosteder) og innskrenker handlefriheten og valgmulighetene på et seinere tidspunkt.

Det er lett å avvise all ny teknologi som unødvendig fordi samfunnet har fungert bra nok uten denne teknologien tidligere. På et tidlig stadium vil heller ikke etablerte samfunnsinteresser være knyttet til teknologien. I en risiko/nytte vurdering av *ny* teknologi kommer derfor helt andre faktorer inn enn for allerede etablert virksomhet. En står friere og kan til en viss grad styre utviklingen i den retningen en ønsker.

Innenfor feltet kan en lett peke på irrasjonelle momenter som vil spille en rolle ved avveiningen (frykt for det nye og ukjente, frykt for stråling osv.). Slike faktorer kan vanskelig tallfestes. En bør også nevne det paradokset at store selvpåførte risikomonmenter (røyking, privat bilkjøring) vurderes lettere enn samfunnspåførte risikofaktorer (kjernekraftverk).

Det venter altså mange overraskelser på den som vil orientere seg i feltet, men som fysikere har vi en utdannelsesbakgrunn som gir oss gode forutsetninger for å kunne forstå og verdsette de ulike beregningsmetoder som nyttes av risikoanalytikere. Lykke til!

Møte i EPS Advisory Committee on Physics Education, Hanasaari, Finland, 13. og 14. mars 1978.

Til møtet i European Physical Society's rådgivende komite for fysikkundervisning (ACOPE) i Hanasaari svensk-finske kultursenter (6 km utenfor Helsinki) 13. og 14. mars 1978, møtte det representanter fra Italia, Yugoslavia, Romania, Sovjet-Unionen, Frankrike, Belgia, Nederland, Storbritania, Vest-Tyskland, Øst-Tyskland, Sverige, Finland, Norge og UNESCO.

På mandagsmøtet godkjente man referatet fra møtet i Brügge, Belgia 21. og 22. mars 1977. Man ble enige om å ha neste møte i York, England søndag 24. september 1978. Dette er dagen før the Fo-

urth General Conference of the European Physical Society starter, og det er meningen å ha en del små uformelle møter så lenge konferansen varer. ACOPE har ordnet med at J. Piaget fra Geneve holder forelesning om «Psychological Development of Physics Understanding in the Child and Adolescent» og R. G. Fuller, Lincoln, USA om «Recent Development in Physics Education». Professor dr. G. Born, Gesamthochschule Drusburg, Vest-Tyskland som er medlem av ACOPE, redegjorde for en undersøkelse som Det tyske fysiske selskap (DPG) hadde utført vedrørende fysikklærere i den videregående skolen. Undersøkelsen ble utført i andre halvdel av 1976 og omfattet 3100 skoler og 9500 fysikklærere. Spørreskjemaet som ble sendt ut til lærerne var meget omfattende. Medlemmene i ACOPE var enige om at det var av stor viktighet å få foretatt en tilsvarende undersøkelse også i de andre medlemsland. Det er å håpe at det også er mulig å få i stand en slik undersøkelse i Norge slik at jeg kan gi et positivt svar i York. Jeg vil være meget takknemlig for forslag til hvordan en slik undersøkelse kan utføres og finansieres. Undersøkelsen i Vest-Tyskland kom på ca. kr. 10,- per lærer.

Tirsdag ble deltakerne delt i to grupper. Den ene gruppen arbeidet med undervisnings-spørsmål på universitetsnivå. Den andre med undervisningsspørsmål i den videregående skolen. Som nevnt i min rapport fra Brügge hadde alle deltakerne fylt ut et større skjema vedrørende generell organisering av undervisningen i Den videregående skolen, fysikkens plass i undervisningen, fysikkpensum, fysikklæreren og elevene. Disse skjemaene var nå blitt bearbeidet av deltakerne. Professor Born lovet å sørge for den endelige finpussingen og publisering i Europhysics Education News.

De fleste deltakerne hadde med seg en del materiale (eksamensoppgaver, eksamensreglementer etc.) vedrørende avslutningseksamen i den videregående skolen. Dette materialet ble det for liten tid til å behandle. Men det vil bli gjort i York, og det er fortsatt mitt håp at man skal få oversatt en del oppgaver til engelsk og få dem publisert til gjensidig inspirasjon over landegrensene.

Knut Jostein Knutsen

EPS-MØTE I YORK 25.—29. SEPTEMBER 1978

Det er nå 10 år siden EPS — Europeisk Fysisk Selskap ble stiftet. Siden den gang er det blitt avholdt tre store møter: i Firenze 1969, i Wiesbaden 1972 og i Bukarest 1975. Alle har hatt som tittel: «Trends in Physics», og en har prøvd å belyse de framskritt som er skjedd innen faget fysikk i løpet av de siste åra. I år er det tre år siden siste møte ble avholdt, og EPS inviterer til nytt stort møte i York, England i tida 25.—29. september. «Trends in Physics» er atter hovedtittelen, og aktuelle emner fra forskningsfronten i fysikk skal behandles i plenarforedrag. Interesserte vil finne det foreløpige program i EPS-tidsskriftet for mars og april i år, men vi kan nevne at det vil bli hovedforedrag om synkrotron stråling, polymerer, isotop skilling, elementærpartikler, tung-ionefysikk, kvasarer og pulsarer, overflater, kritiske fenomener, framskritt i undervisningsteori (Piaget), fysikk og våpenkappløp og flere andre emner.

Om ettermiddagene vil det bli parallelle symposier innenfor de samme emner med korte innlegg fra europeiske fysikere.

Byen York ligger 2 1/2 time med tog fra London i nordøstlig retning. I vikingtida var den et viktig handelssentrum (Jordvik). Katedralen, museene og de historiske steder i og ved York er berømte. Påmelding sendes til:

EPS4, University of York, Heslington, York YO1 5 DD, Storbritannia

(se også side 48)

O.S.

EPS 4th General Conference

Name and Title : _____

First Name : _____

Affiliation : _____

Mailing Address : _____

_____

I aim to attend the Conference

☐ Alone

☐ Accompanied by ..... non-participants

Litt om risikoanalyse

S. Nuland)*

Bakgrunn for risikoanalyse.

Den sosiale utvikling har ført til at man stiller stadig strengere krav til sikkerhet og et godt arbeidsmiljø på arbeidsplassen. Samtidig har den tekniske utvikling ført til at mulige skader kan berøre langt større verdier enn før. Viktige faktorer er her produksjonsenhetens størrelse, energimengdene som blir håndtert og mengden av giftige stoffer som blir behandlet.

Dette har ført til et sterkt behov for metoder for å analysere kompliserte systemer med hensyn til deres funksjonsdyktighet og ulykkesmuligheter. Man kan ikke i samme grad som før tillate seg å luke bort feilkonstruksjoner etterhvert som uhell oppstår. Man må nå forsikre seg om en lav uhellsrisiko allerede ved første gangs bruk av en ny teknikk.

En måte å tallfeste risikoen eller sjansen for uhell, er ved å anvende symbolsk logikk og statistikk. Denne fremgangsmåte går under navnet pålitelighetsteknikk eller risikoanalyse.

Risikoanalysen kan være et hjelpemiddel innen forskjellige arbeidsområder, fra sikkerhetsarbeid, valg av utstyr innen en bedrift, til valg av teknologi for et helt samfunn. Omfanget av og kravene til analysen vil selvsagt variere sterkt. I det enkleste tilfellet vil det være enighet om mål og klare rammer for virksomheten. Man skal kanskje velge mellom løsninger med nokså like skadepotensial. Etter som virksomheten får samfunnsmessige virkninger, får man økende vanskeligheter ved vurdering av nytte og skader av en teknologi, særlig når vidt forskjellige løsninger vurderes. Nytte og ulempe vil kanskje berøre ulike sosiale grupper forskjellig. Risikoanalysen vil derfor føre utover seg selv til sosiale og politiske konflikter hvor risikoanalysen bare kan være med å gi et grunnlag for beslutningene.

Arbeidsoppgaver (figur 1)

Under risikoanalysen må vi skaffe en oversikt over mulige feil og deres skadepotensial. Skadepotensialet, dvs. mulige konsekvenser, må kunne kvantifiseres. Dette fører i første omgang til at skadepotensialet må uttrykkes i flere ikke sammenlignbare enheter (skader på eiendom, tap av menneskeliv, kronisk syke etc.).

Videre må vi skaffe oss et mål for hyppigheten av feil uttrykt ved deres sannsynlighet. Denne sannsynlighet kan vi tenke oss som den relative frekvens av en feil når vi har en mengde identiske systemer som opererer over en gitt tid.

På basis av skadepotensial og sannsynligheten, kan vi beregne den forventede skade, som vi kaller risiko, $R = S_i\, p_i$, altså summen av skadepotensialene veiet med deres sannsynlighet. Hvis skadepotensialene er uttrykt i sammenlignbare enheter, er saken grei, hvis ikke, må vi enten karakterisere systemet ved flere risikotyper eller innføre en felles enhet.

Kartlegging av feilfunksjoner.

Det første alvorlige problem vi møter under en risikoanalyse er å klarlegge alle vesentlige feilmuligheter og unngå å bruke innsats på å analysere ubetydelige uhell. Vi kan kalle dette identifikasjonsfasen. Man avgrenser og beskriver systemet ut fra den målsetting man har for analysen, dvs. klarlegger kritiske hendelser, figur 1.

En av de alvorligste svakhetene i en risikoanalyse er feilmuligheter som er ignorert. For å mini-

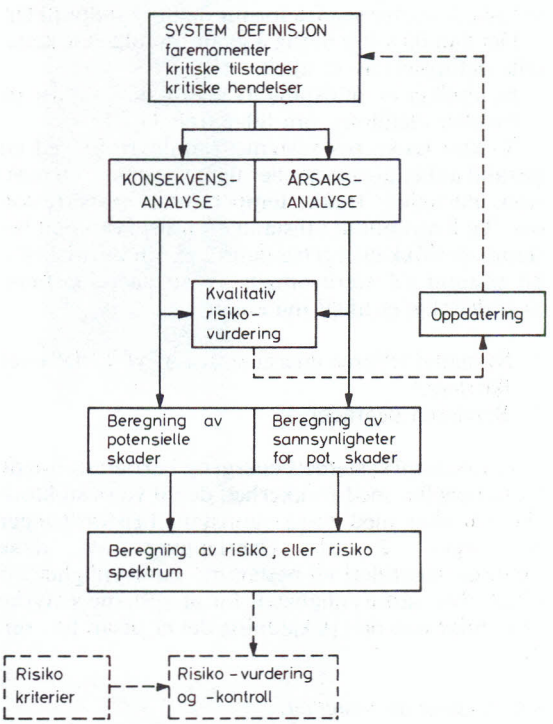


Fig. 1. Arbeidsgang under en risikoanalyse.

★) Institutt for Atomenergi.

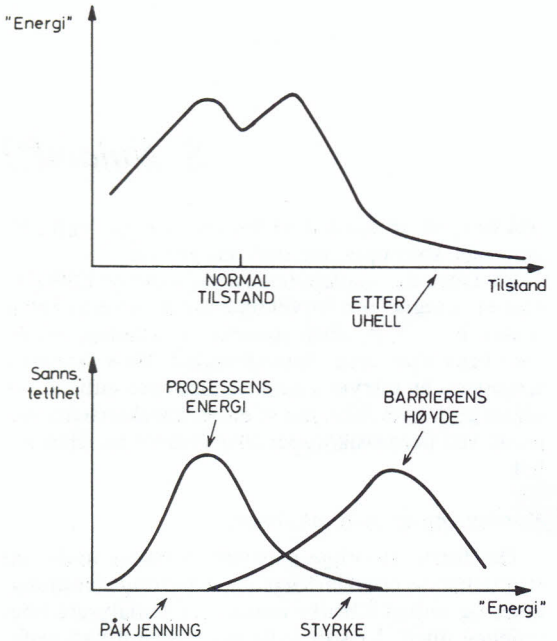


Fig. 2. a) Systemet stabilt i normal driftstilstand, men med en begrenset stabilitetsradius.
b) Påkjenninger og styrke i systemet som tilfeldige variable.

malisere denne faktoren er det viktig med en systematisk gjennomgang av systemet, hvor man må forsøke å løsrive seg fra forutinntatte standpunkter.

Det kan da være nyttig å gå ut fra følgende generelle definisjon av et uhell:

Et uhell er en utløsning av energi med skader på liv eller eiendom som følge (ref. 1)

Vi kan tenke oss systemet karakterisert ved en tilstand avhengig av en eller flere variable som posisjon, hastighet, trykk, temperatur, konsentrasjon osv. Til hvert punkt i tilstandsrommet svarer en bestemt spesifikk energi (se figur 2 a). En normal, stabil tilstand vil være omgitt av en energibarriere. Skal det skje et uhell må enten

1. Systemet tilføres energi som forflytter det over barrieren.
2. Barrieren degraderes.

I praksis vil systemets energi og barrierens høyde være beheftet med usikkerhet, de vil være stokastiske variable med visse sannsynlighetsfordelinger (se figur 2 b). Overlapping av disse (foldingsintegralet) vil bestemme sannsynlighet for uhell, dvs. sannsynligheten for at systemets styrke er mindre enn den påkjenning det er utsatt for, ref. 2.

Kartlegging av systemet.

En systemdefinisjon kan da være en første kartlegging av:

1. «Energi» konsentrasjoner i systemet.
   A. Karakterisering ved trykk, temperatur, brannfare, eksplosjonsfare etc.
   B. Spesielle virkninger på miljøet ved en utløsning: giftvirkning, stråling, andre kjemiske virkninger.
2. Kartlegging av barrierer mot en uønsket utløsning av energien, både fysiske komponenter og forskjellige prosedyre som skal holde barrieren intakt.
3. **Kilder til variasjon i påkjenning på barrieren utover de forhold som ble tatt hensyn til under konstruksjonen.**
4. Årsaker til svikt eller variasjon i barrierens styrke.

Poenget er ikke en stringent og gjennomført bruk av termer som energi, minimum osv., men å anlegge et synspunkt på systemet forskjellig fra den vante funksjons/produksjons tankegangen og løsrive seg fra mulig vanetenkning.

Feilmodianalyse.

Fra et slikt første overblikk over det totale system går man over til en studie av detaljene i systemet, en såkalt feilmodi/feileffektstudie. De komponenter og subsystemer som under systemdefinisjonen ble foreløpig beskrevet og satt i sammenheng blir nå undersøkt nøyere. Alle mulige feil som kan oppstå i en komponent eller delsystem og feilens virkninger på delen eller dens nærmeste naboer i systemet beskrives. Man tenker da mindre på det totale system eller omgivelsene og feilens virkninger her, for det er neste trinn i analysen, nemlig konsekvens- og årsaksanalyse.

Konsekvensanalyse.

Konsekvensanalysen tar sitt utgangspunkt i kritiske hendelser eller tilstander beskrevet under systemdefinisjonen og følger utviklingen fra initialhendelsen fremover i tid. Analysen skjer ofte ved hjelp av et såkalt konsekvenstre. Hver gren i treet representerer en tilstand, og knutepunktene representerer f.eks. utstyr som virker, eventuelt ikke virker med en viss sannsynlighet. Hvor langt frem i tid skal konsekvensanalysen føres? Selvfølgelig så langt at man får informasjon til å svare på de spørsmål som lå til grunn for undersøkelsen.

I en analyse av en oljeinstallasjon f.eks. kan man kvantifisere oljeutslippet eller gå videre og kvantifisere skade på liv i havet. Det vil være avgjørende om man bare skal dimensjonere sikkerhetssystemer på plattformen eller om man også skal vurdere samfunnsmessig aksepterbarhet av en oljeteknologi.

Konsekvensanalysen vil i typiske tilfeller føre utover grensen for det teknologiske systemet til omgivelser og miljø. Den kan da kreve hypoteser om omgivelsene, f.eks. spredningsmuligheter for radio-

aktivt materiale og biologiske hypoteser, f.eks. følsomhet for stråling.

Årsaksanalyse.

Årsaksanalysen forsøker å klarlegge alle mulige eller i praksis alle viktige årsaker til en kritisk hendelse eller tilstand. Analysen skjer ofte ved hjelp av et feiltre. Toppen av treet er hendelsen som skal analyseres, grenene er hendelser eller tilstander. Forgreningspunktene er logiske porter, f.eks. OG-porter og ELLER-porter. Det høyeste detaljeringsnivået i feiltreet kalles basisfeil, og man må velge dette nivået der man har best informasjon eller bedømmer at man lettest kan skaffe seg informasjon.

Anvendelse av feiltre og konsekvensanalyse.

For et stort system må man ofte kombinere konsekvensdiagrammer og feiltre. Ved hjelp av konsekvensdiagrammer som starter ut fra de mulige typer av kritiske hendelser definerer man mulige hendelsesforløp på et nokså lite detaljert nivå. På en oljeboringsplattform kan aktuelle kritiske hendelser være forskjellige typer lekkasjer, gassinvasjon i brønn under boring (kick), tretthetsbrudd osv. Neste skritt er å analysere hendelsene i konsekvensdiagrammet ved hjelp av feiltrær, både starthendelsen og forgreningspunktene, ref. 3.

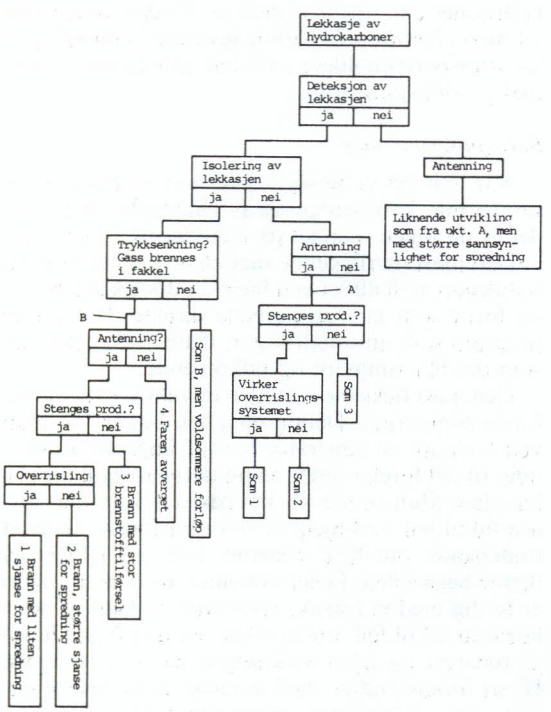


Fig. 3. Forenklet eksempel på konsekvens-analyse.

Oljelekkasjer og «blow-outs».

I eksemplet i figur 3 har vi startet med en hydrokarbonlekkasje på en oljeproduksjonsplattform. Det første sikkerhetssystem som ventes å gripe inn er gassdeteksjonssystemet som skal isolere lekkasjen ved å stenge diverse ventiler og eliminere antenningskilder. Lykkes disse tiltak er i det minste tilførselen av brennbart materiale begrenset. Lykkes de ikke, har man en vesentlig større sjanse for brann og eksplosjon, og større sjanse for spredning til andre deler av prosessystemet. Her er bare forløpet av uhellet fulgt et stykke frem, i en virkelig analyse må hendelsesforløpene følges så langt at konsekvensene i form av skade på liv og helse, miljø etc. kan beregnes.

Start og forgreningspunktene i konsekvensdiagrammet må så analyseres med feiltre for at man senere skal kunne beregne sannsynligheten hvis man ikke har anvendbare data direkte for hendelsen. Antenningssannsynligheten av en varslet luft-gassblanding på en plattform har man bra data for, mens avstenging av produksjonen i en kritisk situasjon må analyseres som antydet i figur 4. Som det fremgår av feiltreet er det to funksjoner som begge må lykkes om produksjonen skal stenges, varmedeteksjonen og stenging av ventiler. Avstenging av ventiler kan så analyseres videre, en har to klasser av ventiler, automatiske (feiler normalt i lukket tilstand, dvs. de kan åpne seg) og manuelle. Skulle de automatiske ventilene feile i åpen tilstand (altså ikke lukke seg) har man muligheten for å stenge de manuelle ventilene, men man er da av-

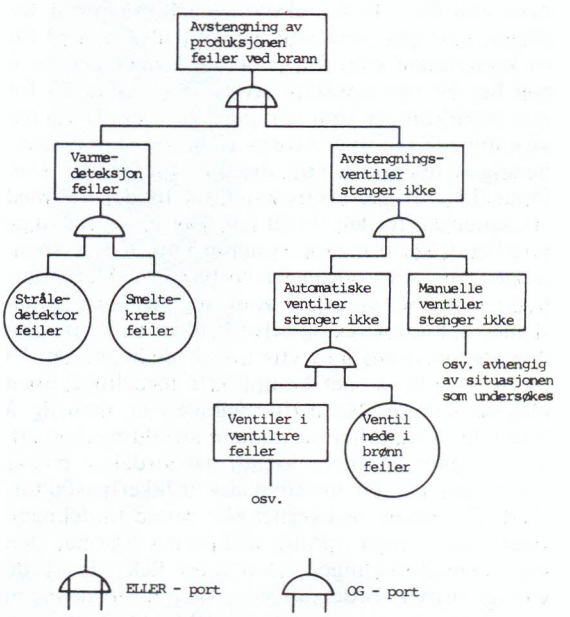


Fig. 4. Forenklet eksempel på årsaksanalyse ved hjelp av feiltre.

hengig av at folk når frem til ventilene. Det kan altså være aktuelt ved brann i perifert utstyr. Poenget er at man må huske på sammenhengen et feiltre skal stå i, samme begivenhet kan ha forskjellige feiltre etter hva som har gått forut, altså hvilken gren i konsekvensdiagrammet vi er på.

Kvantitativ analyse.

Skal analysen være kvantitativ må man kjenne sannsynlighetsfordelingen for tid fra en komponent er ny til feil oppstår, $f_F(t)$. En må også kjenne sannsynlighetsfordelingen for tid fra en feil oppstår til den er reparert $f_R(t)$. Ved hjelp av disse funksjonene kan vi beregne sannsynlighet for forekomst av feil, tilgjengelighet av sikkerhetsutstyr osv. i et visst tidsrom.

En viktig egenskap ved en feilfordeling er feilhyppigheten Z(t). Gitt at en komponent virker ved tiden t, så er sannsynligheten for feil i tidsintervallet dt ved tiden t: Z(t) dt. Påliteligheten som funksjon av tiden kan da generelt uttrykkes som:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t Z(t')\,dt'\right]$$

Av de mest vanlige feilfordelingene skal vi bare kort nevne eksponensialfordeling, normalfordeling, lognormalfordeling og Weibullfordeling, se figur 5.

Eksponensialfordelingen er den enkleste med bare én parameter, og man trenger den minste datamengde for å bestemme den. Karakteristisk for eksponensialfordelingen er den konstante feilhastighet.

Bruker man eksponensialfordeling ignorerer man slitasje for komponenten, eller rettere sagt, man kan bare bruke eksponensialfordelingen før slitasje gjør seg gjeldende. En fysikalsk modell for en komponent som følger denne fordelingen er at den har en viss konstant styrke, men er utsatt for ytre påvirkninger som kan ødelegge den. Disse påvirkningene kommer i form av pulser som er uavhengig av hverandre i tid, dvs. Poissonfordelte. Den første tid av lyspærers liv kan f.eks. modelleres med eksponensial fordelt tid til feil. Det er da tilfeldige ytre hendelser som støt, rystelser i huset, overspenninger osv. som ødelegger en lyspære. Men etterhvert begynner slitasje å gjøre seg gjeldende, småskader akkumuleres og selve bruken tærer på glødetråden uavhengig av ytre uønskede hendelser. Vi må da ta i bruk mer kompliserte fordelinger med økende feilrate. Normalfordelingen er naturlig å bruke hvor man har en midlere levetid med en additiv usikkerhet, mens lognormal fordeling passer hvor man har en multiplikativ usikkerhetsfaktor. Med stor relativ usikkerhet blir denne fordelingen svært skjev, med mindre usikkerhet nærmer den seg normalfordelingen. Den mest fleksible av de vanlige brukte fordelingene er Weibull-fordelingen som skifter fra eksponensialfordeling til noe tilnærmet normal fordeling etter som formparameteren varierer. ref. 2.

Databanker for feildata.

Å fremskaffe pålitelighetsdata, feilrater osv. er kanskje et av de vanskeligste punktene i en risikoanalyse. Det finnes en rekke databanker som både organiserer datainnsamling fra reaktorindustri, luft- og romfart og diverse militære anvendelser og som selger bearbeidede data. Karakteristisk for denne type data er at utstyret er gruppert i relativt omfattende kategorier, f.eks. ikke skille mellom forskjellige fabrikanter. Miljøpåkjenningen og vedlikehold vil være unøyaktig spesifisert.

Eksperimentelle feildata.

Alternativet til databanker er selv å fremskaffe data, enten fra anlegg som er igang eller fra eksperimenter. I det første tilfellet må man organisere en datainnsamling hvor feil, utstyr, miljøpåkjenninger og vedlikehold rapporteres ifølge kategorier som er de riktige for det aktuelle prosjekt. I det annet tilfelle må man under en årsaksanalyse (feiltreanalyse) arbeide seg ned til basisfeil som består av hendelser eller fysisk-kjemiske prosesser som kan testes i et laboratorium.

F.eks. kan man tenke seg at man ønsker feilfrekvensen for en nykonstruert transportbeholder for radioaktive materialer. Empirisk statistikk for feilfrekvensen vil da være umulig. Men kanskje kan man på den ene siden få statistikk for de påkjenningene den vil bli utsatt for utfra registrerte fall, kollisjoner etc. under transport. På den annen side vil man i laboratoriet kunne teste styrkefordelingen for transportbeholdere som har gått gjennom normal produksjonsprosess.

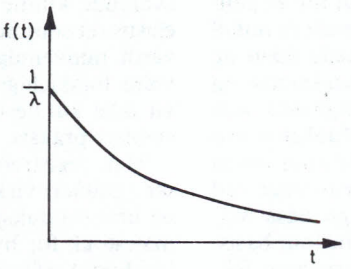
Beregningsmetoder.

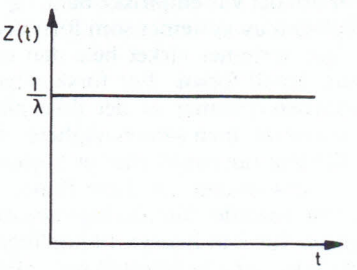
Når feiltreet er ferdig konstruert og alle data er samlet inn, kan beregning av pålitelighet begynne, det er da ingen mangel på metoder til å hjelpe en.

Den mest nærliggende metoden ville vel være en reduksjon av feiltreet ved hjelp av Boolsk algebra til en form som lar seg beregne direkte. Det finnes program som automatisk gjør dette, men det synes som det blir tungvint og tidkrevende.

Den mest fleksible metoden er vel kanskje Monte Carlo simulering. Denne metoden består i at man ved hjelp av en generator for tilfeldige tall trekker tider til feil forekommer og tid til reparasjon for alle basisfeil. Man finner så den basisfeil som har kortest tid til feil, ved hjelp av informasjonen i feiltreet undersøkes om hele systemet feilet som følge av denne basisfeilen. Feiler systemet, noteres det og vi er ferdig med et forsøk. Hvis ikke, trekker vi neste korteste tid til feil, undersøker om den første feilen er reparert og igjen virkningen på hele systemet. Hvert forsøk slutter med at enten feiler hele systemet eller så har man undersøkt hele tidsrommet man er interessert i. Dette gjentas en rekke ganger til man skaffer seg et datamateriale som behandles

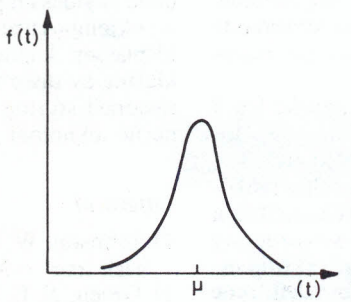
$f(t) = \frac{1}{\lambda} e^{-t/\lambda}$

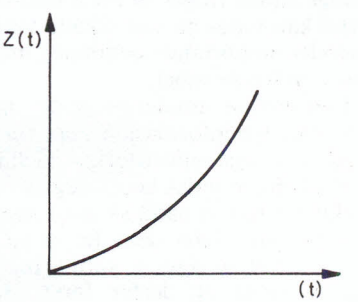




Normal fordeling

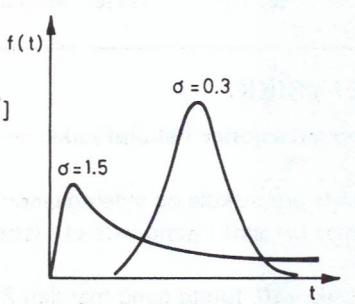
$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-(t-\mu)^2/2\sigma^2}$

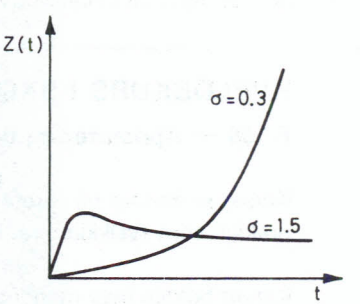




LOGNORMAL fordeling

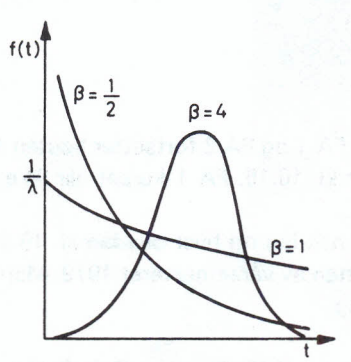
$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-[(\log t-\mu)^2/2\sigma^2]}$

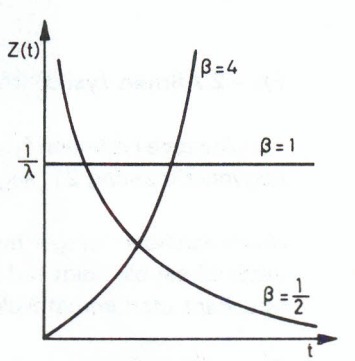




Weibull fordeling

$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\lambda^{\beta}} e^{-(\frac{t}{\lambda})^{\beta}}$





Fordelingsfunksjoner

Feilratefunksjoner

FIGUR 5.

som om det var empiriske data, og man finner pålideligheten av systemet som forholdet mellom antall ganger systemet virket hele den ønskede tiden og totale antall forsøk. For forskjellige deteksjons- og sikkerhetssystemer er det ikke pålideligheten som interesserer, men sannsynligheten for funksjon ved et tilfeldig tidspunkt eller et kortere tidsrom innen systemets levetid, alt dette finnes i prinsippet ved samme metode. Simuleringsmetoden gir også muligheter for å ta hensyn til koplinger mellom basisfeil, f.eks. såkalte fellesfeil som ofte dominerer feilsannsynligheten. Problemet er at beregningene tar tid, spesielt for meget pålitelige system hvor det må mange simuleringer til for å redusere feilgrensene. Dette kan rettes på ved såkalte variansreduserende metoder (importance sampling), men det gjør metoden mindre fleksibel.

I en direkte simulering er det også ganske lett å trekke ut nye informasjoner som er nyttig ved planlegging av systemforbedring, vedlikehold etc.

Med en numerisk beregning av risiko eller risikospektrum har vi nådd så langt som risikoanalysen kan føre oss. Etter dette følger en risikovurdering og -kontroll, se figur 1, som bringer inn verdimessige kriterier og derfor fører utenfor den rene risikoanalyse. Innen økonomi snakker man om en vares priselastisitet ettersom den er mer eller mindre nødvendig, kan erstattes av andre osv. Tilsvarende kunne man introdusere begrepet risikoelastisitet som bestemmes av en virksomhets nytteverdi, nødvendighet osv. Risikokriteriene vil derfor være forskjellige for forskjellige virksomheter, og vil ikke kunne overføres til nye virksomheter fra etablert praksis.

Man registrerer f.eks. ulykkes- og dødsfrekvenser i etablert virksomhet innen industri, samferdsel og kraftproduksjon med den hensikt å etablere en målestokk for hva samfunnet aksepterer av risiko. Imidlertid erfarer man da gjerne at folk tolererer en meget større ulykkesrisiko i en velkjent virksomhet enn i virksomheter basert på ny teknologi. Om dette skyldes en psykologisk tilvenning til fare, eller en «kjølig» vurdering av økonomisk verdi av arbeidsplasser, kapital osv. er i dag lite klarlagt. Avklaring av disse forhold vil være avgjørende for en rasjonell styring av samfunnets utnyttelse av moderne teknologi med akseptabel sikkerhet.

Litteratur:

1) Johnson, W. G. The management oversight and risk tree — MORT. Rapport: SAN 821—2.
2) Green, A. E. & Bourne, A. I. Reliability technology. Wiley — Interscience.
3) WASH — 1400. Reactor safety study. United States Nuclear Regulatory Commission.

KVELDSKURS I SKOLEFYSIKK

F 106 — Apparater og demonstrasjoner i skolefysikk — et brukerkurs.

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

Kurset holdes hver mandag kl. 16—20, første gang mandag 21. august 1978 og strekker seg over 15 ganger. Deltakere som er immatrikulerte får 3 vekttall for godkjent gjennomføring av kurset, andre får et tilsvarende vitnemål. Kurset er eksamenfritt.

FA - 2 Allmen fysikk II

Teorikursene i Allmenn fysikk FA 1 og FA 2 fortsetter høsten 1978 med FA 2-kurset som begynner mandag 21. august kl. 16.15. FA 1-kurset blir ikke gitt i høst.

Undervisningen foregår hver mandag og hver onsdag kl. 16.15—18. Eksamen i FA 2 for dette kurset blir holdt ved slutten av vårsemesteret 1979. Man kan gå opp i eksamen som hospitant uten immatrikulering.

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

Påmeldingsfrist 30. juni 1978.

Kollisjoner mellom komplekse atomkjerner

Jan S. Vaagen)*

INNLEDNING

Vår innsikt i atomkjernenes rike struktur og indre dynamikk er i stor grad et resultat av kollisjonsstudier. Fram til ganske nylig besto kjernefysikerens utvalg av prosjektiler hovedsakelig av de letteste atomkjernene; nukleonene, deuteronet, tritonet og alfa-partikkelen. Konsentrasjonen om forholdsvis enkle lette prosjektiler (ioner) var ganske naturlig i en periode hvor grunnarbeidene i kjernespektroskopi og i studiet av reaksjonsmekanismer ble utført. Gjennom sin forholdsvis beskjedne påvirkning av kjernematerien har de lette ionene først og fremst vært et nøkkelredskap til å avsløre fundamentale egenskaper for tilstander nær kjernens grunntilstand. Triumfer som avklaringen av de enkelte nukleoners bevegelse, av kjernenes kollektive rotasjons- og vibrasjonsbevegelser og av samspillet mellom disse bevegelsesformene er blitt muliggjort.

Reaksjonsforløpene i lett-ione induserte reaksjoner har stort sett latt seg klassifisere i to hovedgrupper: direkte reaksjoner og compoundkjerne (mellom-kjerne) reaksjoner. I de raske direkte reasjonene er der en sterk sammenheng mellom bevegelsen før og etter kollisjonen, og kjernen forstyrres lite. Reaksjonstiden svarer anslagsvis til den tid det tar prosjektilet å passere over en kjernediameter. Compoundkjerne-reaksjonene er derimot av statistisk natur og skjer over et vesentlig lengre tidsrom.

Forskningsinnsatsen i kjernefysikk har det siste ti-år undergått en markant karakterendring hvor tyngdepunktet i reaksjonsstudiene mer og mer er blitt forskjøvet til tyngre og til dels svært tunge prosjektiler. En ny forskningsfront er blitt skapt, hvor kjernematerien studeres under de helt nye fysikalske betingelsene som skapes i de voldsomme støt mellom to høyenergetiske, mangepartikkel systemer.

Etter en serie pioner-arbeid i 1960-årene kom utviklingen av feltet i gang for fullt i begynnelsen av dette ti-år. De aller seneste års nærmest eksplosjonsartede utvikling av tung-ione fysikken er et resultat av vesentlige eksperimentelle nyvinninger; a) en ny generasjon akseleratorer som er i stand til å levere tung-ione stråler med god intensitet, og b) nyutviklet deteksjonsapparatur. Vårt solsystem frambringer selv aldri tilstrekkelig høye temperaturer til å bringe de tyngre grunnstoffenes kjerner i kontakt med hverandre, og menneskets evne til å gjøre dette i laboratorier representerer i seg selv en aldri så liten seier.

For teoretikere så vel som for eksperimentalister har muligheten for presisjonsstudier med tunge ioner vært en enorm stimulans og gitt grunnlag for en rekke nye idéer, også for spekulasjoner om eksotiske fenomener forårsaket av kjernemateriens spesielle egenskaper og kjernens størrelse. Mange av vyene går langt ut over rammen for tradisjonell kjernefysikk og kan få betydningsfulle allmenne implikasjoner. T. D. Lee har påpekt at mens høyenergifysikken har pumpet stadig større energimengder inn i stadig mindre volum (definert av elementær-partiklenes størrelse), byr nå tung-ione fysikken på muligheten til å studere konsekvensene av stor energi tilførsel til det mye større volum av kjernematerie som atomkjernene representerer.

Reaksjonstyper

De tunge ionene byr med deres mangfoldighet og store utvalg av høye ladninger og masser på et rikt spektrum av kombinasjonsmuligheter. Kollisjoner mellom tunge ioner lar seg ikke på enkelt måte inndele i raske direkte prosesser og sene compoundkjerne reaksjoner. Reaksjonsforløp som tidsmessig ser ut til å ligge mellom disse yttergrensene er av stor betydning og danner bakgrunnen for en hel del av entusiasmen i feltet. Det er likevel vanlig å skille ut de minst voldsomme reaksjonsforløpene, under fellesbetegnelsen «kvasielastiske reaksjoner». I disse prosessene som nærmest lar seg sammenligne med de direkte reaksjonene i lett-ione fysikken, overføres små energimengder og få partikler mellom kollisjonspartnerne. Denne kategorien omfatter således elastisk- og uelastisk spredning (eksitasjon) og overføring av et moderat antall nukleoner til lavt eksiterte sluttilstander.

De kvasielastiske reaksjonene danner en naturlig bro mellom gammelt og nytt område. Disse reaksjonene dominerer med lave energier. Ved høyere energier (vel over Coulombbarrieren) blir de mer voldsomme kollisjonsforløp av vesentlig betydning. I stedet for ren fusjonering av de to fragmentene til et vanlig compoundsystem, er det stor sannsynlighet for dannelse av mellom-system med langt kortere levetid. Ofte er reaksjonsforløpet karakterisert av at en stor del av den kinetiske energien i relativbevegelsen blir overført til indre fragmentenergi, uten at de kolliderende kjernene undergår drastiske masseendringer. Denne viktige observasjonen som

*) NORDITA, København.

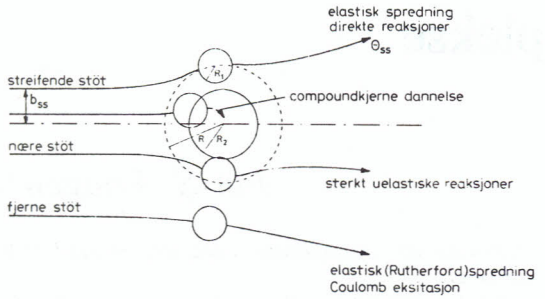


Fig. 1 Klassisk bane-bilde av forskjellige reaksjonsforløp i tung-ione kollisjoner.

vi skal komme tilbake til, har som for mangt et kjært barn medført uenighet om det mest passende døpenavn. Betegnelsen «sterkt uelastiske reaksjoner» vil her bli benyttet. Ved de mest sentrale kollisjonene vil mer tradisjonell fusjon kunne finne sted. Det kan ofte være nyttig å tenke på de forskjellige reaksjonsforløp ved hjelp av et klassisk trajektoriebilde som skjematisk illustrerer det romlige området hvor sannsynligheten for den enkelte prosess er størst. En slik inndeling er angitt i Fig. 1.

Akseleratorer

Kjernefysikkens utviklingstempo er godt illustrert ved hjelp av akseleratorutskiftningene ved vårt ledende nordiske laboratorium, Niels Bohr Institute i Danmark.

I 1935 ble der ved instituttet installert et høyspenningsanlegg på ca. 1MV (millioner volt), og i årene deretter en syklotron som leverer deutreoner med en energi på ca. 10 MeV. Disse akseleratorene spilte en betydningsfull rolle i studiet av fisjonsprosessen og ble videre benyttet til å framstille radioaktive stoffer til pionerundersøkelser av biologiske stoffskifteprosesser basert på tracermetoden. Under og etter 2. verdenskrig ble der bygget to elektrostatiske van de Graaff akseleratorer med spenninger på henholdsvis 1.5 og 4.5 MV. Disse maskinene ga muligheter for de første studier av Coulombeksitasjons prosessen som kom til å spille en nøkkelrolle i utforskningen av kjernenes rotasjons- og vibrasjonsbevegelser.

En ny type van de Graaff, den såkalte tandem akselerator, ble kommersielt tilgjengelig i slutten av 1950-årene. I denne type maskin blir spenningen utnyttet to ganger, først ved akselerasjon av et negativt ion som så omdannes til et positivt ion og akselereres videre av den samme spenningen. En maskin av denne typen ble i 1959 installert i instituttets nybygg på Risø, opprettet for dette formål. Denne første tandem ble så ca. 10 år senere skiftet ut med en større tandem med en maksimal spenning på omkring 9 MV. Tandem anlegget muliggjorde omfattende undersøkelser til belysning av kjernenes elementære eksitasjoner og til utforskning av nye sider av fisjonsprosessen, knyttet til kjernenes skallstruktur.

Tandem anlegget på Risø ble også benyttet til en del tidlige tung-ione studier med karbon- og oksygen-ioner som prosjektiler. Det var imidlertid på et tidlig tidspunkt klart at tung-ione fysikken ville kreve større akseleratorer. Ved flere tandem installasjoner i USA og Europa ble således i første halvdel av 1970-årene maskinene modifisert til å operere ved spenninger opp til 13 MV. Nye maskiner av denne typen ble også bygd. En vesentlig del av de spektroskopiske tung-ione studiene skriver seg fra disse anleggene.

Tandem maskinene er blitt vesentlig forbedret i de senere år. Selv om maksimum energien for svært tunge ioner er begrenset, leder disse maskinene fremdeles hva angår presisjon og fleksibilitet i måleoperasjonene. I Daresbury i England bygges for tiden en 45 m høy vertikal tandem som er prosjektert for en terminalspenning på 30 MV. Videre er en foldet tandem type med en mer kompakt og mekanisk sett stabil geometri som illustrert i Fig. 2, under bygging i USA og Japan. Et dansk forslag om en 25 MV akselerator av denne typen, plassert på Risø, behandles for tiden. Et slikt forskningssen-

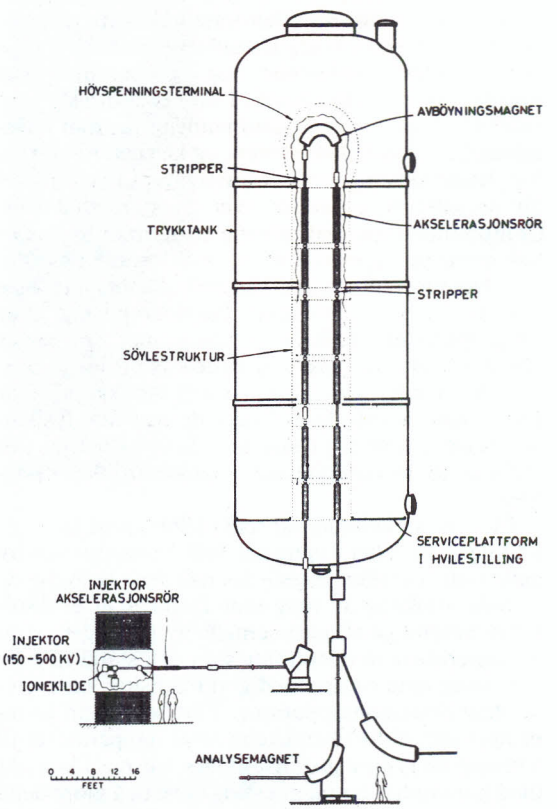


Fig. 2 Et skjematisk bilde av en 25 MV foldet tandem van de Graaff akselerator.

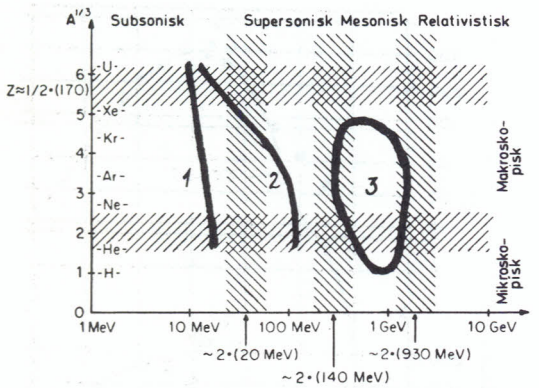


Fig. 3 Swiateckis terrengkart for tung-ione fenomener. Klassifiseringen er basert på energi/nukleon og massetall (egentlig radius) for prosjektilet. De tre karakteristiske masse-senter energiene 20, 140 og 930 MeV/ nukleon er estimater for overgangen mellom subsoniske, supersoniske, mesoniske og relativistiske områder. Ved kryssing av et skravert band forventes en kvalitativt endret fysikk hvor nye fenomener kan opptre. De inntegnede linjene (1) og (2) indikerer maksimum energiene for henholdsvis UNILAC og GANIL. Det lukkede området (3) angir operasjonsområdet for BEVALAC.

ter i Danmark vil gi vesentlige ringvirkninger og også bli av stor betydning for utviklingen av norsk kjernefysikk.

De mer voldsomme tung-ione kollisjonene har hittil vært studert hovedsakelig ved hjelp av syklotroner, synkrotroner eller lineære akseleratorer. Til den siste kategorien hører UNILAC-maskinen ved GSI i Darmstad i Tyskland. Skandinaviske fysikere har deltatt som brukergrupper ved dette senteret i de to år maskinen har vært i drift. Franske fysikere har i likhet med tyskerne gått sammen om et stort laboratorium i Caen i Normandie. Akseleratoren, som bærer navnet GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds) vil i hovedtrekkene bestå av to identiske isokrone separerte sektor-syklotroner. Fig. 3 gir et innblikk i prosjektil- og energiområdene for de nevnte maskinene. Også angitt er området for den såkalte BEVALAC ved Lawrence berkeley Laboratory i USA. Denne komplekse giganten produserer de høyeste energier for tiden (opp til flere GeV/nukleon) og er en kombinasjon av Berkeley Bevatronen og den lineære akseleratoren SUPER-HILAC.

Som et apropos kan det være verd å nevne at det i begynnelsen av 1970-årene forelå planer om et felles nordisk tung-ione laboratorium, NORDAC. Planene var å benytte 9 MV tandemen i Risø som injektor til en ny stor syklotron. Av bevilgningsmessige grunner ble som kjent dette prosjektet skrinlagt.

Deteksjonsutstyr

De tunge ionene har satt nye krav til registreringsutstyret og vesentlige framsteg har funnet sted. Utviklingen av deteksjonsutstyr for registrering av

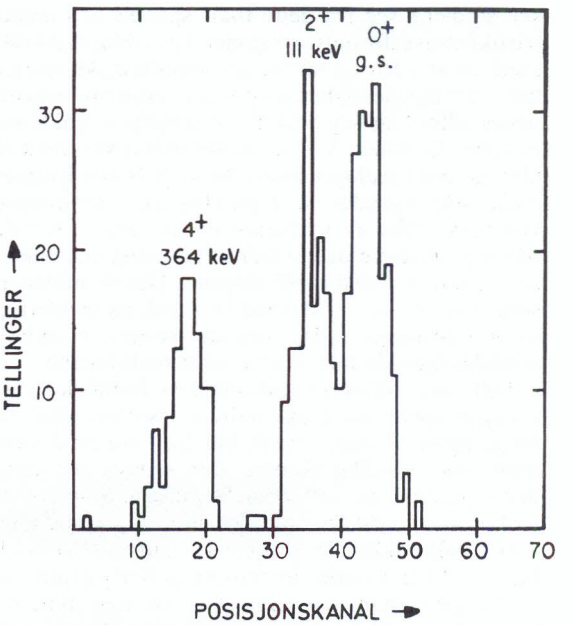


Fig. 4 Spektrum for reaksjonen ^{186}W (^{12}C, ^{14}C) ^{184}W med prosjektilenergi 70 MeV, registrert ved hjelp av et magnetisk spektrometer.

reaksjonsproduktene fra de voldsomme kollisjonsprosessene er således et felt som i innsats og til dels apparaturtyper har fått fellestrekk med elementærpartikkelstudiene. Vi skal her nøye oss med å gi et eksempel på den høye kvaliteten som er oppnådd i spektroskopiske studier av kvasielastiske reaksjoner. Fig. 4 viser et eksperiment med lavt reaksjonstverrsnitt, utført ved Brookhaven National Laboratory (USA). En ^{12}C beam fra tandem van de Graaff-maskinen ble brukt til å bombardere et tynt målobjekt av wolfram og reaksjonsproduktet ^{14}C ble detektert ved hjelp av et magnetisk spektrometer.

Det gode resultatet ble betinget av den høye oppløsningen og store romvinkelen for spektrometret. Den benyttede spektrometertypen ble utviklet av den norskfødte H. Enge (professor ved M.I.T. i USA) og medarbeidere.

Kvasielastiske reaksjoner

Studiet av kvasielastiske tung-ione reaksjoner kan sies å ha to siktemål: a) De representerer et mulig nytt redskap for kjernespektroskopi, og b) En bedre forståelse av disse prosessene vil kunne bli avgjørende for en avklaring av mekanismene i de mer voldsomme reaksjonsforløpene.

Så tidlig som for mer enn tjue år siden foreslo G. Breit og medarbeidere eksperimenter med tungione prosjektiler for å belyse teoretiske problemstillinger knyttet til partikkel-overføringsreaksjoner. Selv om en del eksperimentelle pioner-studier ble foretatt i 1960-årene, skriver de fleste spektroskopi-

ske studiene seg fra dette ti-år, spesielt hva angår partikkel-overføringsreaksjoner. En viktig drivkraft med røtter i 50- og 60-årenes semiklassiske teorier har vært nysgjerrigheten etter å avsløre om tungionenes adferd lar seg beskrive ved hjelp av enkle semiklassiske bilder. Vesentlige semiklassiske trekk er blitt funnet i reaksjonsmønstrene. Selv om kvantemekaniske metoder nå er praktisk gjennomførbare ved beskrivelse av kvasielastiske prosesser, har de semiklassiske metodene bidratt vesentlig ved billeddannelsen av reaksjonsforløpene. Denne informasjonen er av stor verdi med henblikk på etablering av et erfaringsgrunnlag som kan komme til nytte i arbeidet med de mer voldsomme reaksjonene.

Lett-ione induserte reaksjoner er fremdeles vårt viktigste spektroskopiske redskap. Nytteverdien av tunge ioner til dette formål har fra flere hold vært møtt med adskillig skepsis. Den seneste utvikling har imidlertid gitt løfter for framtiden. Som spektroskopiske redskap står lett-ione og tung-ione reaksjonene ikke i et direkte konkurranseforhold. De supplerer i stedet hverandre dels på grunn av vesentlige dynamiske forskjeller. De nye dynamiske trekk skyldes i vesentlig grad det sterke elektrostatiske feltet mellom to kolliderende tunge ioner. Dette feltet er av så stor betydning for relativbevegelsen og reaksjonsforløpet at den såkalte Coulomb-barrieren benyttes som referanseenergi for energien forbundet med ionenes relativbevegelse. (Coulomb-barrieren er den elektrostatiske potensielle frastøtningsenergi for en konfigurasjon hvor ionene berører hverandre). En rekke studier av reaksjoner med energi både under og over Coulomb-barrieren er nå blitt foretatt. Et spørsmål som er blitt viet en hel del interesse har vært spørsmål om hvor langt ned i energi en må gå for at minimumsgapet mellom kjerneoverflatene skal være stort nok til å garantere rene Coulomb-effekter. Et gap på minst en kjerneradius ser ut til å være påkrevd. Interessante målinger av elektromagnetiske momenter er blitt foretatt i dette lavenergiområdet.

Ved hjelp av tung-ione indusert Coulomb eksitasjon har man vært i stand til å produsere og identifisere tilstander i yrast* området med spinn (I) opp mot 30 enheter. (Det laveste nivå for gitt I kalles yrastnivået, og samlingen av disse nivå som funksjon av økende I kalles yrastlinjen). Spektroskopi i dette området representerer en attraktiv utfordring, og observerte fenomen som den markerte endring av rotasjonsspekteret for deformerte kjerner med A ~ 160 og spinn $I \sim 20$ (populært kalt «back-bending») er allerede blitt belyst fra flere teoretiske angrepspunkt. Spesiell interesse er knyttet til spektroskopi i området like over yrastlinjen. I dette området er kjernen fremdeles kald, til tross for at den er høyt eksitert, siden nesten hele eksitasjonsenergien

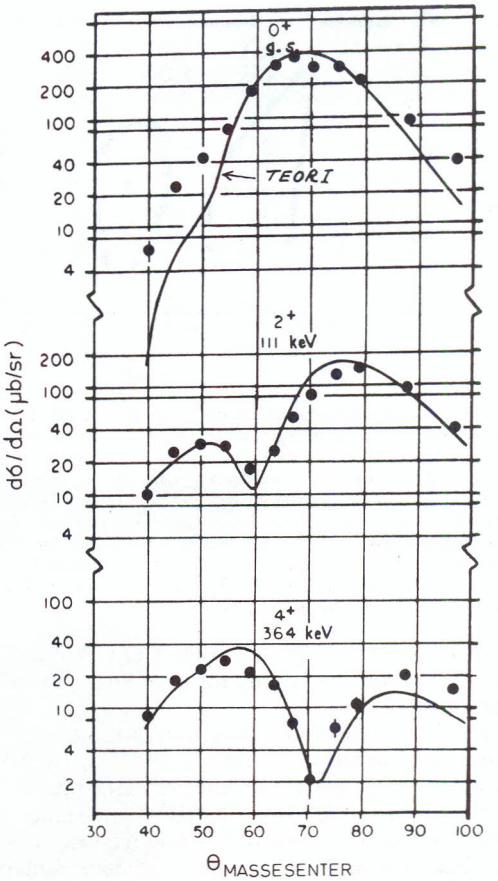


Fig. 5 Eksempel på interferens mønster. Vinkelfordelingene svarer til populasjon av de tre laveste medlemmer av grunn-tilstandsbandet i den deformerte kjernen ^{184}W, ved hjelp av reaksjonen ^{186}W (^{12}C, ^{14}C) ^{184}W. Hvis overføringen av de to nøytronene til 2^+ og 4^+ tilstandene skyldtes samme mekanisme som for populasjonen av grunntilstanden, ville disse vinkelfordelingene også ha samme klokkeform. I stedet observeres markerte interferens minima. Disse er forårsaket av den store sannsynlighet for inelastisk eksitasjon i disse kjernen. Denne eksitasjonsmuligheten medfører at fler-stegs prosesser som involverer eksitasjon underveis, konkurrerer sterkt med den direkte overføring.

er knyttet til rotasjonsbevegelsen. Man skulle således forvente et eksitasjonsspektrum som minner om spektret nær grunntilstanden; muligheten for at kjernestrukturen har en mer drastisk respons på økt rotasjon er imidlertid et av de interessante spørsmål.

Studiet av interferens fenomener foråsaket av konkurranse mellom det repulsive Coulomb felt og det tiltrekkende kjernefeltet er et av de rike felt som vi ennå bare har sett en del av. Vi har hittil fått verdifull informasjon om vekselvirkningen mellom de kolliderende ionene, men har også funnet avhengighet av detaljerte egenskaper til de nivåene som eksiteres. I systemer med lett eksiterbare kollektive bevegelser har behovet for en detaljert beskrivelse av samspillet mellom flere reaksjonsforløp stadig

*) Ordet yrast er et superlativ av det svenske ordet yr, som på norsk er det samme som ør, dvs. svimmel.

kommet klarere fram, dvs. vi må ta med mulighetene for at en viss sluttilstand kan nås via flere mellomtilstander. Disse flerstegs reaksjonsforløp, som ofte tidligere ble sett på som uønskede komplikasjoner, kan produsere enkle og forståelige interferensmønster med stor følsomhet overfor den underliggende kjernestrukturen. Eksempler på slike interferensmønster er gitt i Fig. 5.

Sammenliknet med lett-ioner viser vinkelfordelingene for tung-ione induserte overføringsreaksjoner ofte mer markert avhengighet av hvilken mekanisme, en-stegs eller mangestegs, som dominerer. Disse reaksjonene har således velutviklede «stifinner»-egenskaper og gir verdifull informasjon for analyse av korresponderende lett-ione induserte reaksjoner.

En anseelig mengde en-nukleon overføringer er også blitt foretatt så vel som alfa-partikkel overføringer. Det vil gå for langt å komme inn på disse i detalj. Vi må her nøye oss med å si at mens mye av datamaterialet har latt seg forklare, gjenstår fremdeles en rekke interessante uløste problemer. Naturen selv ser ikke ut til å produsere noen grunn for arbeidsledighet på dette området.

Sterkt uelastiske reaksjoner

Disse reaksjonene ble først observert av Kaufmann og Wolfgang for vel femten år siden, men det er i dette ti-år fenomenet er blitt viet den helt store interesse. Spøkefugler har sagt at disse prosessene er naturens trøst til fysikerne for hittil ikke å ha avslørt super-tunge kjerner. Mer seriøse uttalelser påpeker at vi her har å gjøre med et enestående stykke fysikk av allmenn interesse, nemlig dempnings (relaxation) prosesser i små kvantesystem som opprinnelig er langt fra likevekt.

Den eksperimentelle informasjon om de sterkt uelastiske reaksjonene kan kort summeres i følgende punkter:
1) Identiteten til de kolliderende kjernene bevares i store trekk, selv om 2) et betydelig antall nukleoner kan bli overført. 3) Vinkelfordelingen er sterkt anisotrop og gjenspeiler karakteristiske egenskaper for raske perifere kollisjoner med vekselvirkningstid i området $T_{int} \sim (10^{-20}...10^{-22})$ sek. 4) En stor del av den totale relative energi over Coulomb-barrieren blir overført til indre frihetsgrader («fragment oppvarming») på mindre enn 10^{-21}sek.. 5) På grunn av fragmentenes høye eksitasjonsenergi observeres bare midlere størrelser. Fig. 6 er et av mange eksempler. Et interessant spørsmål har vært om man ut fra eksperimentelle data kan bestemme en tidsskala for energioverføringsprosessen. I et enkelt og populært bilde er vekselvirkningstiden og avbøyningsvinkel θ_{obs} blitt knyttet sammen ved $T_{int} \sim |\theta_{ss} - \theta_{obs}|$. (Se Fig. 1) Vekselvirkningstiden øker med avtagende avbøyningsvinkel. Sammenhengen ser imidlertid nå ut til å være noe mer komplisert i lys av den seneste tids data.

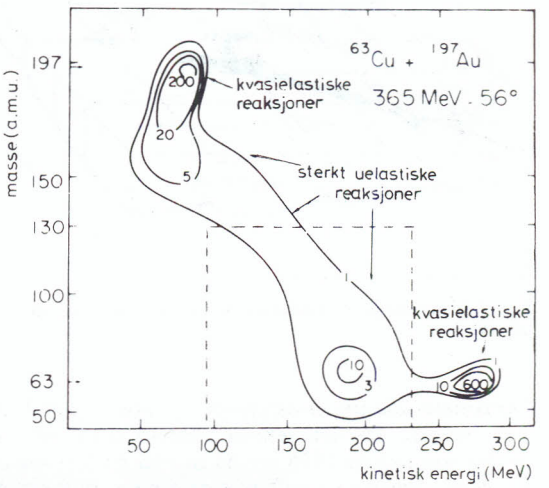


Fig. 6 Konturtegning for masse og energi fordelingen for reaksjonsproduktene i reaksjonen $^{63}Cu + ^{197}Au$. De kvasielastiske massekonsentrasjonene er tydelig adskilt fra de mer lavenergetiske produktene fra de sterkt uelastiske reaksjonene.

Det grunnleggende teoretiske problem ser ut til å bestå i at både kollektive og singelpartikkel frihetsgrader må inkluderes samtidig. En rekke framgangsmåter er blitt prøvd, med mer eller mindre suksess. En del av disse modellene er av klassisk natur som friksjonsmodeller for energioverføringen, og rullings-, glidnings- og sammenlimnings-modeller for kjernenes bevegelse i kontaktperioden. Andre modeller er av kvantemekanisk karakter som tidsavhengig Hartree-Fock teori eller modeller for energiabsorpsjon gjennom kollektive svingninger. Hydrodynamiske teorier og mikroskopiske transportteorier er også gjenstand for stor interesse. En skikkelig vurdering av de forskjellige teorier mot hverandre har hittil vært vanskelig og nye data ser ut til å være påkrevd.

Eksotiske fenomener

Finnes super-tunge atomkjerner? Dette er et av de spørsmål som har gitt opphav til tung-ione fysikkens raske framdrift. I dag kjenner vi 106 grunnstoffer og ca. 1500 isotoper. I et (Z = protontall, N = nøytrontall) — diagram danner disse et smalt, langstrakt nes i sjøen av ustabilitet overfor decayprosesser. Se Fig. 7. Den økende Coulomb frastøtning med økt protontall som resulterer i alfa-decay og fisjon, har således gjort det vanskelig å forlenge neset mot høyere Z-verdier. Teoretikere har imidlertid forutsagt eksistensen av en øy eller en serie av øyer, av relativt stabile kjerner utfor nesets odde, basert på argumenter om lukkede skall-strukturer. De fleste forutsigelsene har konkludert med at kjernene rundt (Z = 114, N = 184) skulle ha de beste stabilitetsegenskapene. Til tross for ekspedisjoner av mange slag mot det nye «India», og adskillige rop om land i sikte, finnes det ennå ikke noe klart

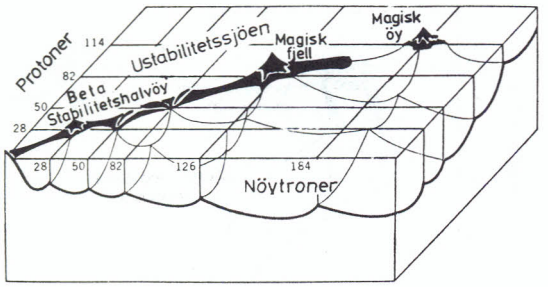


Fig. 7 Illustreasjon av kjente og antatte stabilitetsområder for atomkjerner.

bevismateriale for eksistensen av super-tunge kjerner. Bølgene fra den seneste rapport fra Gentry et al. fra sommeren 1976 ser nå ut til å ha lagt seg etter at gruppens røntgenstråle data nå er blitt gitt en mer konvensjonell forklaring enn forårsaket av eksistens av supertunge kjerner.

Forsøk på å produsere disse kjernene ved hjelp av tung-ione kollisjoner ved de nye akseleratorene vil helt sikkert fortsette. Hittil har imidlertid resultatet vært lite oppløftende og tverrsnittet for produksjon av super-tunge kjerner, om de finnes, ser ut til å være svært lite. Fusjon av de kolliderende massene til et super-tungt compound-system ser ut til å være en svært lite sannsynlig prosess.

Et svar på spørsmålet om eksistens eller ikkeeksistens av super-tunge kjerner er av vesentlig interesse. Mange kjerne- og atomfysiske teorier som gir sammenfallende svar for de kjente elementene gir helt forskjellige resultater når de ekstrapoleres til de super-tunge områdene. Selv om disse kjernene aldri kan framskaffes kan jakten på dem likevel gi overraskelser av stor interesse, jfr. oppdagelsen av Amerika.

Av andre spekulasjoner som vi bare har plass til å nevne ved navn er spørsmålene om eksistens av super-tett kjernematerie og videre sjokk-bølgedannelser i kjernematerien under tung-ione kollisjoner. Disse idéene venter ennå på eksperimentell avklaring. Derimot er «ild-kule»-liknende fenomener blitt observert i høyenergetiske sentrale kollisjoner ved BEVALAC-senteret i California. I ildkulemodellen er det kun nukleonene i den lokale kollisjonssonen mellom prosjektil og target som antas påvirket i vesentlig grad; de resterende fragmentdeler opptrer kun som tilskuere. Nukleonene fra kollisjonssonen danner en «ildkule» som eksploderer. Denne modellen har i overraskende grad vært i stand til å beskrive trekkene i de innsamlede data.

Det har i den senere tid vist seg mulig å produsere atomkjerner med opp mot hundre spinnenheter ved hjelp av tung-ione kollisjoner. Dette ser ut til å være en tilnærmet grense for hvor mye spinn kjernen kan tilføres før den blir ustabil overfor fisjon. For svært høye spinn er det grunn til å anta at de klassiske sentrifugalkreftene vil indusere en fasongforandring mot oblat diskos fasong om rotasjonsaksen, slik tilfellet er for jordkloden. Dette er en rotasjonsform som er helt forskjellig fra den vi møter i lavenergispektret for en deformert kjerne, hvor rotasjonsaksen er vinkelrett på symmetriaksen. Muligheten for eksistens av slike yrast tilstander med relativt lang levetid undersøkes for tiden; deres decay vil gi oss informasjon om kjernens rotasjonsegenskaper ved svært høye spinn.

Vi vil avslutte med å nevne et prosjekt med mulig framtidig betydning for vår energiproduksjon; det foreligger nå forslag om å benytte en tung-ione stråle av f.eks. uran ioner med omkring 200 MeV/nukleon til å starte en termonuklear deuterium tritium fusjonsprosess. En stråle med adskillig større intensitet enn det man i dag kan frambringe er imidlertid nødvendig. Der finnes imidlertid adskillig optimisme blant de forskere som arbeider med slike prosjekt.

Avsluttende bemerkninger

Vi har kun vært i stand til å gi en smakebit av et felt i sterk utvikling, og nødvendigvis i temmelig kvalitativ form.

Til avslutning kan det være på sin plass å peke på spennvidden i tung-ione forskningen. Tung-ione fysikk begrenser seg ikke til kjernefysikernes tradisjonelle område. En hel del av den spennende utviklingen skjer i atomfysikk og i grenselandet mellom atomfysikk og kjernefysikk. Jeg vil i denne sammenheng henvise til J. M. Hansteens artikkel i dette tidsskrift for kort tid tilbake. Tung-ione fysikken er videre blitt en vitenskap med store innvirkninger på et helt spektrum av arbeidsfelt, grunnforskning så vel som anvendte fag, med spennvidde fra grunnleggende fysikk til biomedisin og teknologi som materialvitenskap. Mange av disse anvendelsene er fremdeles i sin spede barndom, men stor optimisme er til stede. Det er derfor grunn til å vente at den fremtidige utvikling vil avsløre adskillige spennende overraskelser.

Litteraturhenvisninger

1. *«International Conference on Reactions between Complex Nuclei»*, ed. R. L. Robinson, F. K. Gowan, J. B. Ball and J. H. Hamilton. Vols I and II (North-Holland Pub. Co. (1974)).
2. *European Conference on Nuclear Physics with Heavy Ions*, Caen 1976, Journal de Physique, Colloque No. 5, Supplément au Journal de Physique, Fasc. 11, C-5 1976.
3. *Comments on Nuclear and Particle Physics*, Volume VII, No. 1 (1976) 17, No. 2 (1977) 41, No. 3 (1977) 65.

Elektrokjemiske strømkilder nå og i fremtiden

T. Våland

Kjemisk og elektrisk energi — to viktige energiformer.

Energikrise er et ord som stadig får større aktualitet og vi har etterhvert fått øynene opp for hvor viktig det er at man utnytter de energikildene man har, slik at mest mulig av den energien som tappes fra disse kan bli omdannet til direkte nyttbar energi.

Kull, olje og naturgass lagret i millioner av år dekker mesteparen av vår tids energibehov. Det er alt sammen kjemisk energi som, for å kunne utnyttes, må omformes til annen energi.

Kjemisk energi er en meget lagrings- og transportvennlig energiform. Liksom naturen har lagret fortidens solenergi, må man vente at også fremtidens energi fra f.eks. atomreaktorer, vil delvis bli lagret og transportert som kjemisk energi.

Transport av store energimengder over lange avstander vil kunne foretas mer økonomisk og mer effektivt i form av gass i gassledninger enn i form av elektrisk strøm i elektriske ledninger. Dette prinsippet danner grunnlaget for den såkalte «hydrogen economy» som det tales så meget om, særlig i USA.

Da kjemisk energi i seg selv ikke er særlig nyttbar, men må overføres til andre og mer anvendelige energiformer, er effektive omvandlere en nødvendighet. Kravet til effektive omvandlere må ventes å stige i fremtiden, bl.a. på grunn av ressursbegrensninger.

Elektrisk energi er vel den energiform som enklest og mest effektivt lar seg utnytte. Det er derfor ikke unaturlig om nettopp energiomvandling fra kjemisk til elektrisk energi vil komme i søkelyset.

De fleste omvandlere som brukes i dag baserer seg på en eller annen form for varmekraftmaskiner. Som kjent må slike systemer nødvendigvis ha et Carnottap som setter en grense oppad for virkningsgraden. Direkte omvandlere, d.v.s. slike som ikke går veien om varme, er teoretisk sett mer effektive, fordi de ikke har denne begrensningen. Det har derfor lenge vært arbeidet med slike omvandlere i den hensikt å øke virkningsgraden utover det man har i dag.

Elektrokjemiske strømkilder — bindeleddet mellom kjemisk og elektrisk energi.

Elektrokjemiske strømkilder hører til typen direkte omvandlere. De omfatter de to viktige gruppene batterier og brenselceller. I teorien er det mulig å omdanne kjemisk energi via elektrokjemiske reaksjoner fullstendig til elektrisk energi. Som en kuriositet kan det nevnes at man sammenlignet med varmekraftmaskiner i prinsippet kan få en virkningsgrad på over 100%.

Årsaken til dette er at man ved beregninger av virkningsgrad for varmekraftmaskiner som regel bare tar hensyn til stoffenes varmeinnhold. Den eventuelt resterende del av den kjemiske energien, som altså da ikke blir tatt hensyn til, vil kunne utnyttes ved elektrokjemisk energiomvandling og således føre til en øket virkningsgrad. I praksis er imidlertid dette av mindre betydning.

Men hvorfor blir ikke elektrokjemiske strømkilder benyttet i langt høyere grad enn tilfellet er i dag? Årsaken er for en stor del at man i dag ikke er teknisk istand til å utnytte de mulighetene som teorien byr på. Det eksisterer ennu mange problemer som må løses før de elektrokjemiske energiomvandlerne er istand til å konkurrere med de mer konvensjonelle omvandlerne når det gjelder store energileveranser.

Romfart og energikrise har imidlertid ført til en økning av innsatsen for å løse problemene og man haler mer og mer inn på det forspranget som de konvensjonelle energiomvandlerne har.

Vi skal nå se litt nærmere på situasjonen for de to viktigste elektrokjemiske strømkilder, nemlig batterier og brenselceller.

Batterier — pakker med energi.

For de fleste er batterier ensbetydende med lommelykt- og transistorbatterier samt bilbatteriet. De første kastes etter bruk mens de siste lades opp og brukes om igjen. Prinsipielt er de alle pakker med kjemisk energi. Mens man for primærbatterienes (de som kastes) vedkommende ikke trenger å bekymre seg om hvorledes tilstanden i batteriene er etter at de er utladet, må man for sekundærbatterienes (de som lades) vedkommende sørge for at de er i en tilstand som gjør det mulig å bringe den kjemiske energien tilbake til batteriet ved å tilføre elektrisk strøm. Denne forskjellen har gjort at man også i batteriforskningen har funnet det nødvendig å skille de to batteritypene.

Leclanché batteriet, populært kalt tørrbatteriet, har vært og er fremdeles det dominerende primærbatteriet. Det har vært gjort mange forsøk på å utkonkurrere batteriet, men p.g.a. sin enkelhet og fremfor alt sin billighet, har dette ikke lykkes.

Ved siden av sine fordeler, har det imidlertid sine mangler og kommer ofte til kort. Energitettheten (Wh/kg) er ikke særlig høy, effektleveransen (W/

kg) er ikke stor, lavtemperaturegenskapene er ikke gode og tilsist, lagringsbestandigheten er heller ikke god. Den siste ulempe kan bøtes på ved å lagre dem kaldt. Selv oppbevaring i kjøleskap hjelper betraktelig.

Til vanlig bruk er imidlertid batteriene tilfredsstillende, selv med sine mangler. Det er først når kravene øker ut over det vanlige at man ser seg om etter andre batterier.

Et typisk eksempel er lette bærbare radiostasjoner. Moderne elektronikk har gjort at disse kan lages meget små og lette. De har lang rekkevidde og har alle mulige elektroniske finesser. Selv om man ved hjelp av miniatyrisering har nedsatt strømforbruket til hver enkelt funksjon, er antall funksjoner øket slik at radiostasjonen krever store strømmengder for å virke. Batteriene kan dermed lett komme til å veie mer enn radiostasjonen.

Andre batterityper med høyere effektleveranse og høyere energitetthet er derfor nødvendig for drift av slike stasjoner.

Leter man etter mulige kjemiske systemer som kan kombineres til et batteri, finner man at blant de mest energirike systemene er kombinasjonene sink-luft, magnesium-luft, aluminium-luft, natrium-luft og litium-luft. De kan gå under fellesbetegnelsen metall-luft-batterier. Felles for dem er at de forbruker metall og benytter oksygenet i luften. Å benytte luftens oksygen betyr en vesentlig vektbesparelse i forhold til andre batterier som også må inneholde et oksydasjonsmiddel. Man oppnår derfor en høy energitetthet. Bortsett fra sink-luft batteriene er de alle eksperimentceller som ikke kan skaffes kommersielt. De er med andre ord fremtidens batterier. Litium-luft batterier hører med til de mest energirike systemer man kjenner. Da systemet er meget reaktivt, har man store vanskeligheter med å temme det. Det vil derfor antagelig ta adskillige år før dette batteriet kommer på markedet. Men når dette skjer, vil man ha et høyenergibatteri som virkelig teller med en teoretisk energitetthet på 11 kWh/kg. Selv med en virkningsgrad på f.eks. bare 10% vil det si akseptable energitettheter.

I motsetning til de øvrige metall-luft cellene kan sink-luft batteriene fås kjøpt i flere utforminger. For tiden har de en energitetthet på 350 Wh/kg ved liten belastning, og med vanlig belastning mellom 200 og 300 Wh/kg, se figur 1.

Temperatur og lagring er et stort problem for disse batteriene. Når temperaturen synker under ca. -10°C, avtar den nyttbare energien betraktelig. Da batteriene «puster», trenger de lufttilførsel. Dette gjør at de ikke kan lukkes inne i tette beholdere under bruk. Under lagring må de derimot forsegles fordi luftelektroden lett ødelegges når den kommer i langvarig kontakt med luftens karbondioksyd.

Et annet viktig batteri som er blitt kommersielt tilgjengelig den siste tiden er litium-svoveldioksyd-batteriet, se figuren. Det kan i energitetthet sammenlignes med sinkluftbatteriet ved romtemperatur, men lavtemperatur-egenskapene og lagringsegenskapene er uhyre meget bedre. Da det er helt selvforsynt med kjemisk energi, kan det lukkes hermetisk inne uten at dette påvirker energileveransen.

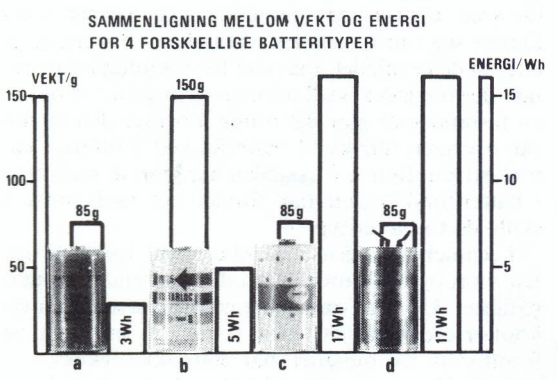


Fig. 1. Vekt og energiinnhold i de fire batteritypene Leclanché (a), nikkel-kadmium (b), sink-luft (c) og litiumsvoveldioksyd (d).

«Solide-state» batterier — en elektronisk komponent?

Vi har nå omtalt høyenergibatterier. Også i annen retning har det skjedd en rivende utvikling, nemlig innen «solide-state» batteriene. Dette er batterier hvor spenningen er det viktigste og hvor det ikke kreves nevneverdige strømleveranse. I stedet for vanlig flytende elektrolytt har man benyttet dopede ionekrystaller. Ved dopingen oppnår man tilstrekkelig høy ioneledningsevne til at man kan få virksomme batterier ut. Det som særpreger disse batteriene er at de kan miniatyriseres, har en spenning som er stabil og uhyre lite følsom for omgivelsene. Man tar i dag sikte på å levere batteriene like små som vanlige elektroniske komponenter slik at de kan benyttes som disse. Dermed kan man forsyne et kretskort med batterier for referansespenninger o.l. Levetiden ved lavt strømforbruk regner man med vil være den samme som for kondensatorer o.l. Også under forhold som krever stor mekanisk stabilitet og relativt høye temperaturer som f.eks. i borekronen til oljeboring, har disse batteriene vært benyttet med hell.

Batterier til elektriske biler.

De omtalte batterier er alle primærbatterier og kan ikke lades. Til mange formål kan det være nyttig å kunne lade batteriene og benytte dem på ny. Dette gjelder for bl.a. batterier til elektriske biler. Disse bilenes være eller ikke være er i høy grad avhengig av at man kommer frem til et godt batteri. Derfor arbeides det også meget med å forbedre de eksisterende og utvikle nye ladbare batterier.

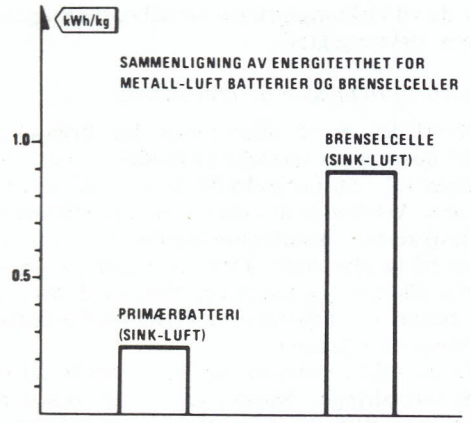


Fig. 2. Energitetthet i et sink-luft batteri og i en sink-luft brenselcelle.

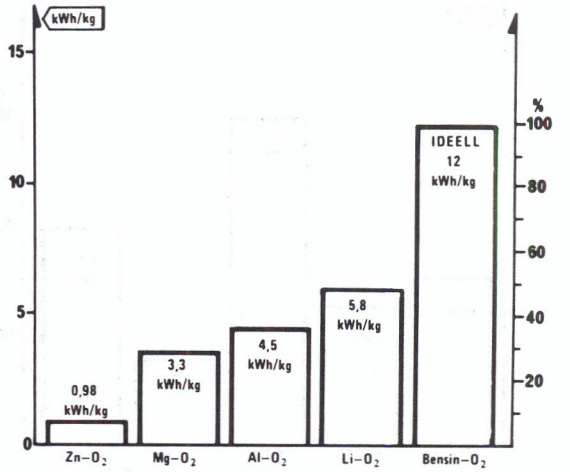


Fig. 3. Energitetthet pr. vektenhet av forskjellige metall-luft brenselceller.

Blyakkumulatoren er det dominerende ladbare batteriet i dag. Det er imidlertid tungt, slik at energitettheten blir lav. Dette gjør det nokså uegnet i bruk hvor vekten teller, som f.eks. i fremtidige biler.

Nikkel-kadmiumbatteriet, se figur 1, er et ladbart batteri som etterhvert har blitt meget populært og som i mange tilfeller går inn og erstatter bly-batteriet. Det har en noe høyere energitetthet enn blyakkumulatoren og tåler store belastninger. Dette gjør at det er godt egnet der hvor det er behov for store strømtrekk. Det faller imidlertid noe dyrere enn bly-batteriet.

Et batteri med adskillig høyere energitetthet og som tåler store strømtrekk er sølv-sink-batteriet. Det er imidlertid dyrt og man har ennå ikke mestret ladeegenskapene. Det tåler kun ca 50 opp- og utladninger. Noen generell anvendelse i elektriske biler får vel neppe dette batteriet.

Derimot må man vente at høyenergibatterier som f.eks. natrium-svovel og litium-klor batteriene vil få stor betydning. De er begge høytemperaturbatterier og benytter ioneledende, fast stoff membraner som elektrolytt. Selv om de i startøyeblikket må varmes opp, vil de holde varmen under bruk, slik at ytterligere oppvarming ikke er nødvendig. I eksperimentceller har man oppnådd mellom 200—500 Wh/kg for disse cellene, hvilket er uhyre gunstig for ladbare systemer. Det er imidlertid ennå så store problemer med driftssikkerheten og oppladningen at det nok vil gå en del år før disse kommer på markedet.

Selv om man i fremtiden vil få ladbare høyenergibatterier som vil kunne gi bilen en akseptabel kjørelengde og kjørehastighet for de fleste formål, må man vente problemer med de elektriske bilene. Anta at batteriet er tomt og man skulle ønske å kjøre litt til. Med dagens biler kjører man inn på nærmeste bensinstasjon og fyller 30 l bensin på ca. 3 min. Skulle elektrisk energi fylles på batteriet like raskt, måtte laderen kunne levere 7,2 MW. Selv om ladestasjonen skulle kunne levere dette, er det lite rimelig å tro at batteriene kunne ta imot med så store hastigheter.

En løsning på problemet er å bytte batteri. Selv om det lar seg gjøre, ville det være adskillig enklere å fylle energien på tanken i form av kjemisk energi som så etter behov omdannes til elektrisk energi. Og da er man over på brenselceller.

Brenselcellen — en kontinuerlig energiomformer.

En brenselcelle er i virkeligheten ikke annet enn et batteri som kontinuerlig tilføres ny kjemisk energi. Et metall-luft-batteri hvor man stadig fornyer metallet etterhvert som det blir brukt opp, vil således være en brenselcelle.

Sammenlignet med primærbatterier gir brenselcellen muligheter til å øke energitettheten kraftig, idet man bare erstatter brenselet og ikke hele cellen. Etterhvert som brenselet tilføres, vil vekten av brenselet bli dominerende i forhold til vekten av selve cellen. Ved beregning av brenselcellens energitetthet trenger man således bare å ta i betraktning selve brenselets energi.

Hva dette betyr, kommer tydelig frem når man ser på sink-luft systemet. Som antydet på figur 2, vil man kunne øke energitettheten ca. tre ganger. Enda kraftigere økning får man ved å ta i bruk andre metaller. På figur 3 har man sammenlignet energitettheten for forskjellige metaller med energitettheten til bensin.

Ser man på energien pr. volumenhet, se figur 4, får man et ennu gunstigere billede for metall-luft cellene. Som man ser, er da f.eks. en aluminium-luftcelle energimessig bedre enn bensin-luft. En utnyttelse av dette systemet ville kunne gi store energimessige fordeler.

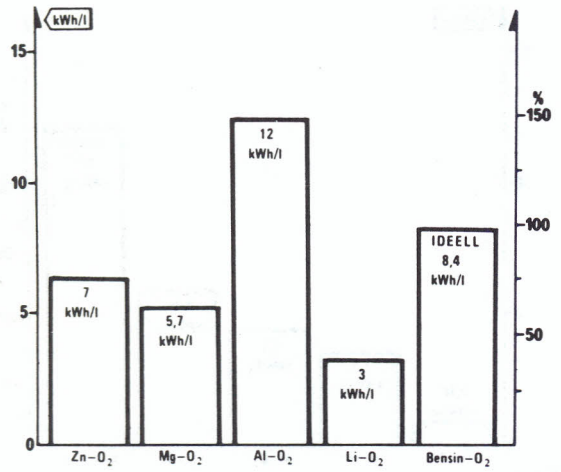


Fig. 4. Energitetthet pr. volumenhet for forskjellige metall-luft celler.

Virkningsgrad og belastning

En annen faktor er virkningsgraden som funksjon av belastningen. Virkningsgraden er høyere for brenselcellen enn for varmekraftmaskiner. De har en vanlig batterikarakteristikk hvor effektiviteten øker med synkende belastning. Det vil med andre ord si at brenselcellen blir mer og mer effektiv jo mindre den utnyttes.

Karakteristikken for en forbrenningsmotor kan grovt sett betraktes som omvendt parabel med en maksimal effektivitet ved en bestemt belastning. Ethvert avvik fra denne belastning vil føre til en senket effektivitet.

For å se hva dette betyr, kan vi ta for oss en radiostasjon montert i en bil. Utstyret kan få strøm enten fra et eget aggregat eller fra bilen som går på tomgang. På tomgang yter dynamoen ca. 250 W mens motoren bruker ca. 1,3 kg bensin i timen. Omregnet til full utnyttelse av bensinen skulle dette svare til 15,3 kW. Selv om dynamoen blir brukt fullt ut, vil således kun 1,6% av bensinenergien bli brukt.

Blir et separat aggregat benyttet, blir effektiviteten betraktelig bedre. Imidlertid må aggregatet dimensjoneres etter maksimalbelastninger som man grovt sett har 10% av tiden. Resten av tiden trekkes det meget mindre eller slett ingen strøm. Bensinforbruket er tilnærmet uavhengig av belastningen da aggregatet går med tilnærmet konstant hastighet. Det sier seg selv at økonomien neppe blir god, selv med egen generator. Kunne man i fremtiden komme frem til en brenselcelle som kunne plasseres i bilen sammen med utstyret, ville man kunne rette på økonomien ganske betraktelig, idet cellen mesteparten av tiden ville gå med lav belastning og dermed ha særlig høy virkningsgrad. Kun 10% av tiden ville virkningsgraden være nedsatt. Selv da vil virkningsgraden være bedre enn generatorens virkningsgrad.

Gradvis introduksjon av brenselceller.

Hvorledes er så situasjonen for brenselceller idag? Bortsett fra spesielle anvendelser som i romfartøyer o.l., har brenselceller ikke til nå vært noen suksess. Årsaken er at man har hatt problemer med driftssikkerhet, katalysatorforgiftninger og høye priser på katalysatorer. Dessverre viste det seg som så ofte ellers at platina er det beste og dyreste man kan bruke. Det arbeides imidlertid med å finne erstatninger for platina.

På en rekke områder har man imidlertid oppnådd forbedringer. Således kan det nevnes at man for brenselceller til romfergen i laboratoriet har kommet opp i en levetid på 26 tusen timer. Til sammenligning har bilmotoren en levetid på ca. 5 tusen timer. Noe stort gjennombrudd vil neppe intreffe. Brenselcellen vil antagelig bli gradvis introdusert på markedet etterhvert som man øker driftssikkerheten og presser ned prisene. Derfor er det viktig at vi ikke glemmer cellen, men stadig har den i tankene.

For sivil anvendelse er United Technologies to prosjekter angående brenselceller av særlig interesse. Allerede i år (1978), regner man med å ha ferdig en 26 MW brenselcelle som skal kunne forsyne en bydel med elektrisitet. Brenselcellen benytter naturgass som først blir konvertert til hydrogen. Cellen lages i forbindelse med det amerikanske «TARGET» prosjektet hvor man bl.a. ser på muligheten for å bruke brenselceller i forbindelse med den tidligere nevnte «Hydrogen economy».

Det andre prosjektet går ut på å fremstille 15 kW brenselceller for plassering i bolighus for å dekke strømforsyningen der. Også disse cellene går på naturgass som konverteres til hydrogen. Cellene er allerede plassert i en rekke privathus og kontorbygninger rundt omkring i USA. Etter noen års prøveperiode vil resultatene bli analysert og vurdert. Utviklingen synes således å gå fremover, om enn ikke med den ønskede farten. Behovet for brenselceller er så opplagt tilstede. Det er heller ingen teoretiske hindringer i veien for at man skal lykkes med å komme frem til gode celler.

Solen og elektrokjemiske strømkilder.

Også i forbindelse med direkte bruk av solenergi synes elektrokjemiske strømkilder å ha noe å gi.

Plantene omdanner solenergi til kjemisk energi ved hjelp av fotokjemiske prosesser. Ved å la de fotokjemiske reaksjonene skje på elektrodeoverflater, skulle det være mulig å gå et skritt lenger, nemlig å omdanne solenergien direkte til elektrisk energi. Rundt omkring i verden er man nå i ferd med å undersøke mulighetene for å la de fotokjemiske prosessene skje direkte i elektrokjemiske celler. Man har hatt stor fremgang med disse eksperimentene, særlig i forbindelse med produksjon av hydro-

gen. Sannsynligvis skyldes denne fremgangen en økt forståelse av de prosesser som foregår på elektroder laget av halvleder materialer. Dersom man lykkes med eksperimentene, vil man kunne fremstille elektrokjemiske solceller i langt større målestokk og sannsynligvis også billigere enn det man kan med de nåværende solcellene. Det vil være av stor betydning når solenergien i fremtiden skal utnyttes direkte i stor skala.

Økonomi og elektrokjemiske strømkilder.

Dagens overflod av råstoffer har ført til at man ikke er så nøye med hvor god virkningsgraden er ved overgangen mellom energiformene. Etterhvert blir man mer oppmerksom på hvor viktig det er å ta vare på ressursene. Imidlertid bør man være klar over at en rekke av de energiomvandlerne vi bruker i dag kun har virkningsgrader på 10% eller under det. Resten, altså over 90%, går tapt ved omvandlingen, som oftest i form av varme. Disse tap kan i lengden ikke tillates, og en rekke av de eksisterende energiomvandlere må forbedres eller nye tas i bruk for å få en mer effektiv omvandling.

Som påpekt tidligere, danner elektrokjemiske strømkilder et naturlig bindeledd mellom de for menneskene så viktige former for energi som kjemisk og elektrisk.

Teoretisk skulle en slik direkte omvandler gi maksimalt utbytte ved omvandlingen fra kjemisk til elektrisk energi. Dette er da også vist ved at brenselceller som opererer i romskip, hvor forholdene er lagt ekstra godt tilrette, kan ha en virkningsgrad på oppimot 80%.

I dagliglivet spiller imidlertid økonomien en stor rolle. Olje og gass er fremdeles så billig at man kan tillate seg sløsing. Derfor er man ikke innstilt på energiøkonomisering for enhver pris. Derfor har elektrokjemiske strømkilder i form av brenselceller vanskelig for å vinne innpass. I dag er de prismessig ikke istand til å konkurrere med konvensjonelle omformere. Man må imidlertid vente at dette gradvis vil forandre seg, både fordi kravet til energiøkonomisk omvandling vil øke og fordi de elektrokjemiske strømkildene vil bli stadig billigere og bedre. Det er derfor grunn til å tro at elektrokjemiske strømkilder vil få innpass på flere og flere områder i fremtidens dagligliv.

Bøker

Dailey, Combs, Zinn: Analysis Instrumentation, Vol. 12. ISA, J. Wiley & Sons Ltd. Ca. A-4, 175 s. £ 7,25. 1974.

Instrument Society of America er en aktiv organisasjon som ofte arrangerer symposier, kurser o.s.v. med instrumentering og måleteknikk som hovedemner. Det foreliggende hefte er en samling foredrag fra 20th Annual Instrumentation Symposium (12-15. mai -74). «Analysis» i denne sammenheng er målemetoder og -instrumenter for kjemiske undersøkelser av forskjellige slag. Emnene omfatter måling av kvaliteten av luft, vann, oksygen; registrering og overvåking av forbrenningsprodukter; kjemisk analyse m.hj.a. mikrobølger; væske-kromatografi; o.s.v., 24 foredrag ialt.

Heftet er maskinskrevet og trykt i offset, hvilket setter preg på den trykningsmessige presentasjon av stoffet, men har den fordel at prisen blir rimelig. Her er ikke plass til å behandle hvert bidrag, men det er grunn til å fremheve det som er særlig aktuelt nå: de metoder og instrumenter som brukes i miljøvern-sammenheng (jeg forkorter titlene noe). 1) Instr. for S-odorant emissions. 2) SO_2 -analysis, 3) Interface for extractive stack monitors, 4) Ambient level $NO/NO_2/NO$ monitor, 5) Gas detector by the acre, 6) pH-System for control of chemical plant sewage, 7) Trace Sulfur air monitor, 8) Calibration of industrial environment monitors, - for å nevne noen.

De fleste artiklene omfatter også illustrasjoner og tabeller i grei, oversiktlig form, men som så ofte i slike symposiehefter, må teksten bli nokså kortfattet. Imidlertid er også firma-adressen til forfatterne oppgitt, så interesserte kan eventuelt henvende seg direkte om detaljer.

Halvard Torgersen

Gunnar Randers: Lysår, Gyldendal norsk forlag 1975, 304 s. pris kr. 98,-

Jeg gir meg ikke inn på noen fortolkning av tittelen på denne publikasjon,men nøyer meg med å konstatere at det dreier seg om en memoarbok som dekker tiden fra slutten av trettitallet og fram til utgivelsesåret. Både den profesjonelle og den private del av forfatterens tilværelse får sin plass. Mange av de temaer som blir tatt opp er kontroversielle, og da gjør man best i å betrakte framstillingen som et partsinnlegg.

Boken er ikke bygget opp kronologisk. Første kapittel gjelder hendelser i august 1946 da forfatteren og Odd Dahl var på «spiontur» i Amerika for å skaffe seg opplysninger - frigitte eller hemmelige - som de trengte for å bygge en reaktor. Vi får lenger ute også et godt inntrykk av arbeidet med å skaffe de rette kontakter i det politiske spill omkring atomenergien i Norge. Jens Christian Hauge blir omtalt som støttespiller nummer én.

Selv om atomenergien spiller hovedrollen i boken, blir en rekke andre vitenskapelige områder streifet. Og så politikken da. Vi får høre en hel del om de kjendiser av ymse slag som forfatteren har hatt fornøyelsen (som regel) av å treffe, og det er ikke få.

Randers later ikke til å være særlig begeistret for universiteter og professorer av den europeiske typen. Heller ikke er han glad i komiteer, bortsett da fra slike hvor han selv har valgt ut medlemmene.Andre lesere får hver især gjøre seg opp sin mening om hans filosofi på disse og andre punkter.

Hvem kan man så regne med vil ha glede av denne boken? Først og fremst folk som er interessert i norsk forskningspolitikk etter krigen og problemene omkring kjerneenergien nasjonalt og internasjonalt. De populærvitenskapelige avsnittene er neppe til glede for noen, dertil er det hele for springende. Boken er forsynt med et rikholdig billedmateriale.

Njål Hole

Metalliske glass —
Framstilling, struktur og stabilitet. Del I.

Ola Hunderi)*

Sammenfatning.

Metalliske glass kjennetegnes av gode mekaniske egenskaper slik som høy hardhet, høy flytespenning og forholdsvis god plastisk formbarhet. Den høye hardheten og flytespenningen kan kombineres med ekstremt bløt magnetisme og forholdsvis god elektrisk ledningsevne. Korrosjonsegenskapene er hos visse ferrolegeringer uovertruffen, og sammen med lave produksjonskostnader gjør dette at metalliske glass spås gode framtidsutsikter med hensyn til industriell bruk. Vi skal i to artikler gi en kort oversikt over framstillingsmetoder, samt over en del mekaniske og fysiske egenskaper til metalliske glass.

I. INNLEDNING

I løpet av de siste 4—5 år har det vært en voldsom økning i interessen for en ny form av metall, spesielt da i USA og Japan. Denne form, som kalles metallisk glass, har en rekke interessante egenskaper, den stiller oss overfor en rekke fundamentale problemer, men gir oss også et bredt spektrum av anvendelsesområder. Metalliske glass er amorfe, det vil si *ikke*-krystallinske materialer, men med mekaniske og elektriske egenskaper som ligner et vanlig metall. Metallisk glass ble sannsynligvis framstilt for første gang så tidlig som i 1845. Wurtz beskrev da en metode for kjemisk deponering av nikkel på jern fra en oppløsning av nikkeljoner med hypofosfitt. En amorf metallisk tilstand ble første gang foreslått i 1950 etter en røntgen diffraksjonsundersøkelse av kjemisk deponert (elektrodeløs) NiP, men at disse belegg virkelig var amorfe ble først entydig bevist i 1964.

Man kan si at interessen for metalliske glass startet i 1960 da Pol Duwez[1] utviklet «splat quenching» teknikken. Dette er en metode til bråkjøling av væsker med avkjølingshastigheter på opp til 10^8K/sek. Man fant da at bråkjøling av visse legeringer med en slik hastighet forhindret nukleasjon og kornvekst. Den underkjølte væsken ble omvandlet til et glass, og man fikk et metall uten krystallstruktur. At materialet virkelig var et glass ble vist ved at det oppviste en typisk glassovergang, det vil si et steg i den spesifikke varme ved en glassomvandlingstemperatur T_g. Den store utviklingen og interessen kom dog først da metoder for kontinuerlig framstilling av smale bånd og tynne fibre ble oppfunnet i begynnelsen av syttiårene.

*) Institutt for fysikalsk metallurgi. Norges Tekniske Høgskole, Trondheim.

II. SAMMENSETNING OG FRAMSTILLINGSMETODER.

A. Legeringssammensetning.

En del elementære metalliske glass kan framstilles ved fordampning på underlag (substrat) avkjølt til 4 K[2—3]. Disse er meget ustabile og krystalliserer under 40 K avhengig av element og filmtykkelse. Det må likevel understrekes at de fleste rene metaller ikke lar seg framstille i amorf tilstand selv ved fordampning på substrater avkjølt til under 1 K. Rene metaller som lar seg framstille i amorf tilstand har gjerne en lav krystallsymmetri slik som for eksempel gallium og vismut.

Metalliske glass som er stabile (metastabile) opp til temperaturer over romtemperatur består alltid av to eller flere elementer, enten to metaller ($Ni_{60}Nb_{40}$) eller et metall og et metalloid ($Pd_{80}Si_{20}$). Ved å benytte flerkomponent systemer stabiliseres den underskjølte væsken ytterligere, og dermed reduseres kravene til avkjølingshastigheten. Disse legeringene kan være meget komplekse, et eksempel er $Ni_{36}Fe_{32}Cr_{14}P_{12}B_6$.

En rekke ikke-metaller blir amorfe selv ved moderat hurtig avkjøling fra væskefasen, en avkjølingshastighet på 10^2 C/sek. er ofte tilstrekkelig. For å beholde en væskelignende, amorf struktur i et metall ved avkjøling fra væskefasen behøves en avkjølingshastighet på mellom 10^5 og 10^8 C/sek. Dette lar seg ikke oppnå ved konvensjonell luft eller væskekjøling av smelten. En hel rekke metoder har derfor vært utviklet for å framstille metalliske glass, og det er ikke hensikten her å gi en detaljert oversikt over alle, men vi vil gi en kort oversikt over de viktigste metoder.

B. Elektrokjemiske metoder.

Disse er i hovedsaken konvensjonelle elektrolyttiske og elektrodeløse kjemiske metoder. Om belegget skal bli amorft eller ikke ser ut til å avhenge av kjemisk sammensetning, oppløsningens pH og temperatur, samt strømtettheten i det elektrolyttiske tilfelle. De vanligste amorfe belegg framstilt på denne måte er legeringer av overgangselementer med fosfor slik som NiP, FeP og CoP.

C. Vakuum fordamping og sputtering.

Ved en pådamping i vakuum, blir atomene termisk fordampet fra kilder, og treffer deretter et substrat. Dersom substratet er tilstrekkelig avkjølt, vil

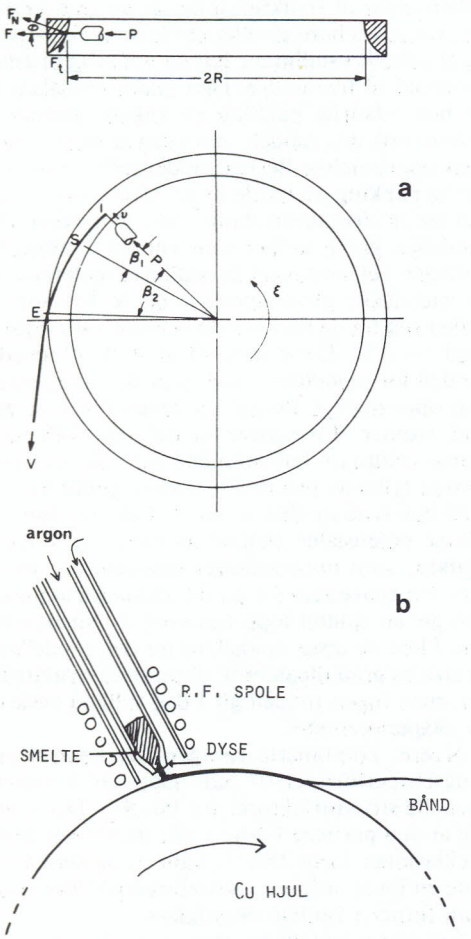


Fig. 1. Skjematisk illustrasjon av sentrifugalspinningsteknikken.

diffusjon av atomer på overflaten reduseres drastisk, og dette kan forhindre nukleasjon og kornvekst. Denne metoden er den enkleste og tillater oss å framstille rene metaller i glassform under helt rene betingelser, men metall-metall og metall-metalloidlegeringer har også vært framstilt i glassform på denne måten. Når vi går bort fra de rene metaller blir substratets temperatur av mindre betydning, og NiP[4] kan for eksempel framstilles ved fordamping på et substrat ved romtemperatur.

Sputtering har vært anvendt til å framstille CuZr-glass, samt glass bestående av legeringer mellom overgangsmetaller og sjeldne jordarter. Utviklingen av store sputter-systemer tillater oss nå å framstille amorfe belegg med en hastighet av flere mikron pr. minutt.

D. Bråkjølingsmetoder.

Den første metoden som gir høy nok avkjølingshastighet til å produsere en amorf metallisk tilstand ved bråkjøling av væskefasen, ble som tidligere nevnt utviklet av Pol Duwez i 1960. En trykkbølge atomiserer en smelte til svært små dråper (diameter 1—40 μ), og skyter disse med en hastighet av typisk 300 m/sek. mot en metallplate. Ved denne metoden kan man lage små folier med tykkelse opp til 10 μ. Avkjølingshastigheten avhenger av dråpestørrelsen, og ligger i området 10^6 til $5 \cdot 10^8$ C/sek. I en lignende teknikk fanges en fallende smeltedråpe opp mellom to kopperstempel som med stor kraft slås mot hverandre. Disse teknikkene har på engelsk fått betegnelsen «splat quenching». Den siste teknikken har blitt videreutviklet av Chen og Miller[5]. Her er kopperstemplene erstattet av to rotorende kopperruller. En kontinuerlig strøm av smelte tilføres, og man får ut et kontinuerlig bånd av amorft materiale. Avkjølingshastigheten er av størrelsesorden 10^5 C/sek. To nyere og industrielt interessante metoder for å framstille bånd av metalliske glass er sentrifugal spinning og smelte-ekstraksjon teknikkene. Den første gir den høyeste avkjølingshastigheten, og blir sannsynligvis den viktigste i framtiden. Her skytes smelteståle mot et hurtig roterende hjul. (Se figur 1(a).) Smelten presses ut av en rund dyse med diameter 0,25—1 mm. Hjulet har en diameter på 15—30 cm, og roterer med en hastighet av 2000—3000 O/min. Hjulet er laget av en kopperlegering og høyglanspolert. Dersom en kontinuerlig smelteståle blir skutt mot innsiden av hjulet mens det roterer, vil den bli presset mot det av centrifugalkraften. Dette vil gi god termisk kontakt, og dermed hurtig avkjøling. Samtidig vil en kraft F_t virke tangentielt langs sidekrumningen av hjulet. Denne vil presse det størknede materialet utover den glatte overflaten, og båndet vil til slutt forlate hjulet. Strålene kan også skytes mot yttersiden av et polert roterende kopperhjul. Denne siste oppstilling gir litt lavere avkjølingshastighet enn den første, men gir ofte mer veldefinerte bånd. Produksjonshastigheten for begge ligger rundt 2000 m i minuttet. Disse kontinuerlige prosessene kan i dag produsere bånd med dimensjoner på 3—4 mm x 0.05 mm, men Allied Chemical Corporation i USA har også lykkes i å produsere bånd med bredde opp til 5 cm. En interessant side ved metalliske glass er økonomien. Produksjonskostnadene er svært lave, bare 20% av det det vil koste å fremstille bånd av samme dimensjoner av godt rustfritt stål, fordi metalliske glass i liten eller ingen grad trenger mekaniske bearbeiding, mens konvensjonelle materialtyper må støpes, valses og trekkes, og dessuten trenger en eller flere varmebehandlinger. Videre krever ikke produksjonen tungt utstyr, den kan automatiseres i høy grad, og forurensningene er små.

E. Overflateglasur og overflatebelegg.

To interessante metoder for å skape et belegg med glasstruktur på overflaten av et materiale er for tiden under utforskning. Den første er plas-

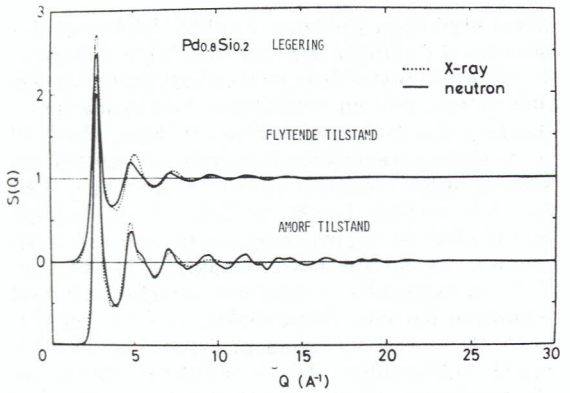


Fig. 2. Strukturfaktoren til en amorf og en smeltet $Pd_{80}Si_{20}$ legering.

masprøyting av overflaten. Her smeltes et fint pulver i et høyt jonisert argonplasma, og skytes med stor hastighet mot overflaten som skal belegges. Ved å bevege argonkanonen eller substratet kan man dekke overflaten av substratet med et jevnt belegg. Amorfe belegg av $Ni_{60}Nb_{40}$ er framstilt av Krishnanand[6] på denne måten. Tilsvarende belegg av amorft $Cu_{60}Zr_{40}$ er produsert av Giessen[7].

Den andre metoden er laserglasur-metoden som er utviklet av Breinan[8]. Her sveiper en velfokusert kraftig laserstråle over flaten med en slik hastighet at den lokalt gir overflatesmelting. Det underliggende materialet gir så god termisk kontakt at en avkjølingshastighet på 10^6 C/sek. oppnås. På grunn av de gode korrosjonsegenskapene til visse metalliske glass kan denne siste metoden bli viktig da den er enklere og billigere enn plasmasprøyting.

III STRUKTUR OG TERMISK STABILITET

Røntgen-, elektron og neutron-diffraksjon har vært anvendt for å studere strukturen i metalliske glass. De resulterende diffraksjonsbilder består vanligvis av et par diffuse ringer. Den totale strukturfaktoren S(Q) er blitt studert i detalj ved hjelp av røntgenspredning for en rekke overgangsmetall-legninger slik som Pd-Si, Au-Si, Fe-C-P, Mn-C-P, Ni-Pt-P, Fe-Pd-P og Ni-Pd-P. (Se figur 2). Det framgår av denne at strukturfaktoren for det amorfe stoffet ligner sterkt på en væskes, men det er også karakteristiske forskjeller. Det første maximum i S(Q) er skarpere i glasset enn i væsken, likeledes finner man som regel at neste maximum er splittet i to i metallisk glass. Det samme er også tilfelle for radialfordelingsfunksjonen, den viser også en splitting av topp nummer 2.

Det har vært gjort flere forsøk på å beskrive strukturen i amorfe metaller, og det finnes i dag to hovedgrupper av modeller: mikrokrystallitt modellen, og det som på engelsk har fått betegnelsen «continous random model». Mikrokrystallitt modellen antar at strukturen består av små krystallitter, vanligvis bare en eller et lite antall enhetsceller, og at disse krystallittene har en vilkårlig orientering i forhold til hverandre. Den andre modellen antar en helt vilkårlig pakking av enkelte atomer. Den siste er nok den modell som i dag er mest akseptert. Den opprinnelige Bernal modellen[9] antok en vilkårlig pakking av harde kuler, den eneste betingelsen var at strukturen skulle være tettpakket. Denne modellen ga en tetthet som var 14% mindre enn tettheten i et tettpakket krystallinsk materiale, mens de metalliske glass oppviser en tetthet som bare skiller seg fra de tilsvarende krystallinske legeringer med 1—2%. Dette førte til at Polk[10] foreslo en modell for metallmetalloid glass der hulrommene i den opprinnelige Bernal modellen fylles av metalloid atomer. En senere modell av Polk tillot et større volum av hulrommene enn i Bernals modell som så fylles av metalloid atomer. Andre har startet med den siste modellen, antatt Lennard Jones eller Morse potensialer mellom atomene og funnet den struktur som minimaliserer totalenergien til systemet. En prøvestein for en slik modellstruktur er om den gir en splittet topp nummer 2 i strukturfaktoren. Flere av disse modellene gir det, modellen kan **til en viss grad tilpasses til observerte strukturfaktorer, men ingen modell gir i dag fullgod beskrivelse av eksperimentene.**

Nyere, kombinerte røntgen- og neutron-spredningseksperimenter[11] har tillatt en å bestemme partielle strukturfaktorer for $Pd_{80}Si_{20}$. Der viser det seg at den partielle Pd-Si strukturfaktoren oppviser oscillasjoner forbi 25Å^{-1}, figur 3, og dette kan antyde en lokal ordning i strukturen på linje med den man finner i vanlige oksydglass.

En rekke metalliske glass oppviser en ordinær glassomvandling ved en temperatur T_g som enklest kan defineres som den temperatur der en kollektiv bevegelse av atomene begynner. T_g er alltid nær den temperatur der det metalliske glasset begynner å krystallisere, og er i enkelte tilfeller skjult av krystallisasjonsprosessen. T_g kan enklest bestemmes

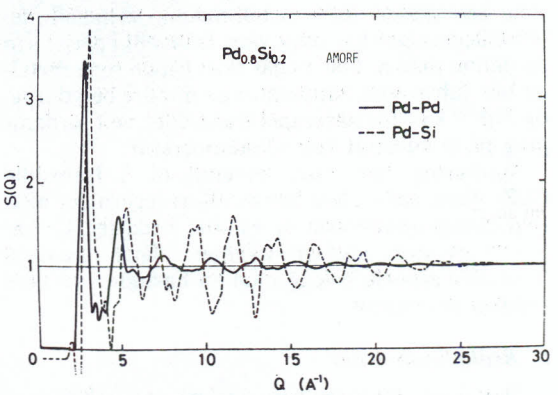


Fig. 3. Partiell strukturfaktor for Pd-Pd og Pd-Si korrelasjon i en amorf $Pd_{80}Si_{20}$ legering.

ved å måle den spesifikke varme som funksjon av temperaturen, den oppviser en rask økning nær T_g. Alle metalliske glass krystalliseres når de varmes til en tilstrekkelig høy temperatur. Omvandlingen er en hastighetsbegrenset prosess, det finnes ingen veldefinert krystallisasjonstemperatur, men istedet er det et *temperaturområde* der krystallisasjonshastigheten er relativt høy. Ved hurtig oppvarming skjer krystallisasjonen i løpet av noen millisekunder, og en veldefinert temperatur, T_B, som på engelske har fått betegnelsen «burst temperature», brukes for å beskrive krystallisasjonen. Ved lavere oppvarmingshastigheter bruker man den temperatur der krystallisasjon først observeres T_c, som et mål på stabiliteten til det metalliske glasset. For de mest stabile glass som er Ni-Nb baserte, ligger T_c på over 600°C. Krystallisasjonskinetikken til metalliske glass har vært studert ved hjelp av en rekke metoder slik som differentiell scanning kalorimetri, elektron mikroskopi, røntgen diffraksjon, elektriske motstandsmålinger, magnetiske målinger, hårdhetsmålinger, og studeres nå ved NTH ved hjelp av termosonometri. *Isoterm* krystallisasjonskinetikk har blitt studert for en rekke metalliske glass ved hjelp av DSC eksperimenter. Man finner da ofte at krystallisasjonen følger klassisk nukleasjons- og vekstkinetikk med en Avrami eksponent som ligger mellom 3 og 5. Aktivasjonsenergien for krystallisasjon kan også tas som et mål på stabiliteten på glasset, og for Ni-Nb baserte glass ligger den nær 6 eV. Den høye aktiveringsenergien er hva man kan vente for viskøs transport, og dette antyder at krystallisasjon nær T_g er begrenset av viskøs transport.

En del legeringer slik som $Pd_{80}Si_{20}$ og $Pd_{77.5}Cu_6Si_{16.5}$ danner metalliske glass selv ved relativt langsom avkjøling, slik som bråkjøling i vann. Den mikroskopiske årsak til den høye tendensen til å danne glass for disse legeringene er på det nåværende tidspunkt ikke forstått. Man har foreslått en modell der metalloidatomene fyller opp hulrommene i en Bernal struktur av vilkårlig tettpakkede metallatomer, og på den måten stabiliserer strukturen, *spesielt* for de konsentrasjoner der man finner høy tendens til glass-dannelse, men alvorlige innvendinger har vært reist mot denne modellen. Den andre modellen man har betraktet involverer stabile kjemiske bindinger slik som til en viss grad indikeres av den partielle Pd-Si strukturfaktoren i dette systemet. Røntgen fotoemisjonsmålinger[12] ga ikke støtte for slike antakelser. En nyere modell[13], tilskriver stabiliteten til at disse materialene er slike legeringer der Fermi energien ligger ved et minimum i tilstandstettheten, små perturbasjoner rundt denne tilstand vil øke den totale energi.

Referanser

1. W. Klemen, R. H. Willens og P. Duwez, Nature *187*, 869 (1960).
2. W. Buckel og R. Hilsch, Z. Phys. *138*, 109 (1954).
3. P. K. Leung and J. C. Wright, Phil. Mag. *30*, 185 (1974).
4. B. C. Bagley og D. Turnbull, Acta Met. *18*, 857 (1970).
5. H. S. Chen og C. E. Miller, Rev. Sci. Inst. *41*, 1237 (1970).
6. K. D. Krishnanand, D. Phil. Thesis, Univ. of Sussex (1975).
7. B. C. Giessen, N. M. Madhave, R. J. Murphy, R. Ray og J. Surette, Met. Trans. *8A*, 364 (1977).
8. E. M. Breinan, B. Kear og M. Banas, Phys. Today *29*, 44 (1976).
9. J. D. Bernal, Proc. Roy. Soc. *A280*, 299 (1964).
10. D. E. Polk, Scripta Met. *4*, 117 (1970); Acta Met. *20*, 485 (1972).
11. K. Suzuki, T. Fukunaga, M. Misawa og T. Masamuto, Sci. Rep. RITV *26*, I (1976)
12. S. R. Nagel, G. B. Fisher og J. Tauc, Phys. Rev. *B13*, 3284 (1976).
13. S. R. Nagel og T. Tauc, Phys. Rev. Lett. *35*, 380 (1975).

Bøker

Landolt-Börnstein: Redaktører: H. Fischer og K. H. Hellwege. New Series. Klassiske Oppslagsverk fra Springers Verlag med ny 6. utgave.

Oppslagsverkene er delt inn i 6 grupper: 1. Kjerne- og partikkelfysikk, 2. Atom- og molekylærfysikke, 3. Krystall- og faststoffysikk, 4. Materiens makroskopiske egenskaper, 5. Geofysikk og romforsking, 6. Astronomi og astrofysikk. Innen hver gruppe fins det opp til 9 bind som hver igjen er delt opp i bøker av passende størrelse. Vi har fått tilsendt 8 bøker som inngår som deler av gruppene 2, 3 og 4. Dessuten har vi fått en bok som tilhører en annen del av verket, nemlig området teknikk.

Hver bok inneholder først en kort innføring i bruken av boka, hvilket system som er nyttet i tabellene og deretter en oversikt over de fysiske lover og formler som er nyttet ved tilpasning og tyding av eksperimentelle data. En får på denne måten en grei oversikt over hvilke parametre som er samlet i tabellene og hvilke enheter som er nyttet. Teksten er trykt over to spalter på hver side der den ene spalten er på tysk og den andre på en engelsk parallellutgave.

Bøkene gir inntrykk av tysk grundighet og nøyaktighet, og dataene er ført ajour opp til årene 1973/74. Alle bøker er solid innbundet og papiret er førsteklasses. Oppslagsverket vil være uunnværlig for universitetsbiblioteker og forskningsinstitusjoner der det er behov for pålitelige fysiske og kjemiske parametre. Prisen for de enkelte bøker varierer fra kr. 762,- til kr. 2.051,- for de tykkeste — så ingen enkelt person vil vel ha anledning til å anskaffe seg verket. Vi gir nedenfor en liste over de bøker vi har fått tilsendt til nå:

II/7 Structure Data of Free Polyatomic Molecules
Berlin 1876, 395 s, DM 360,-.

II/9a Magnetic Properties of Free Radicals Part a
Berlin 1977, 341 s, DM 350,-.

II/9b Magnetic Properties of Free Radicals Part b
Berlin 1977, 782 s, DM 780,-.

III/7e Crystal Structure Data of Inorganic Compounds
Berlin 1976, 739 s, DM 680,-.

III/7f Crystal Structure Data of Inorganic Compounds
Berlin 1977, 777 s, DM 780,-.

IV/b Densities of Binary Aqueous Systems
Berlin 1977, 335 s, DM 290,-.

IV/2 Heats of Mixing and Solution
Berlin 1976, 695 s, DM 580,-.

IV/3 Thermodynamic Equilibria of Boiling Mixtures
Berlin 1975, 376 s, DM 320,-

Technik /4c 1 Varmeteknikk: Absorpsjon av gasser i væsker med lavt damptrykk.
Berlin 1976, 479 s, DM 390,-.

Olav Steinsvoll

EPS-møtet i York

(forts. fra side 26)

Påmelding eller ønsker om opplysninger sendes til:

The Meetings Officer
The Institute of Physics
47 Belgrave Square
London SW1X 8QX
Storbritannia

Møteavgiften er gradert på følgende måte:

Medlemmer av EPS	£ 38.-
Medlemmer av NFS	£ 48.-
Ikke medlemmer	£ 65.-
Studenter	£ 27.-

Full kost og losji på York University Campus kommer på £ 11 pr. døgn.

Medlemmer opptatt på styremøtet 28/4 1978

Vit.ass. Erling Fjær, Inst. for almen fysikk, 7034 Trondheim-NTH.

Siviling. Magne Waskaas, Yrkesmedisinsk avd., 3900 Porsgrunn.

Studentmedlemmer:

Marianne Foss, M-2, Breivika Studenthjem, 9000 Tromsø.

Arild Wikan, Nordlysobservatoriet, 9001 Tromsø.

Bøker

SCANNING — RASTER — ELLER S(T)EM — MIKROSKOPI?

L. Reimer og G. Pfefferkorn: Raster-Elektronenmikroskopie. 2. rev. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1977. 282 sider. DM 78,-.

Det er tegn på mangfoldigheten innenfor den stadig voksende familie av elektronstråleinstrumenter at de enkelte medlemmer stadig oftere blir omtalt med forbokstaver: TEM er det «konvensjonelle» transmisjonselektronmiskorskopet, scanning (raster) elektronmikroskopet blir kalt SEM mens STEM er scanning transmisjonselektronmikroskopi, — det er mange flere. Enda mer mangfoldig blir bildet om en tar med alle muligheter for å danne og behandle signal. I boka «Raster-Elektronenmiskoskopie» gir forfatteren en tabell som viser 19 forskjellige former for scanning mikroskopi, basert på registrering av ymse former for spredte elektroner, sekundære elektroner, røntgenstråler, synlig lys osv. som sendes ut fra objektet. Bildet dannes ved at elektronstrålen i mikroskopet fokuseres innenfor et lite område med en diameter som er begrenset av objektivets oppløsningsevne — og i prinsippet kan være et par Å; i kommersielle instrumenter fra 20—30 Å og oppover. Signalet styrer intensiteten av elektronstrålen i et billede. Elektronisk behandling av signaler gir enda flere muligheter for å variere den kontrast som opptrer når strålen mot objektet og strålen i billedrøret beveges simultant.

Innenfor knapt 300 sider gir Reimer og Pfefferkorn en ganske fullstendig oversikt over alle disse mulighetene i et moderne scanning elektronmikroskop, både i transmisjon og fra massive prøver. Beskrivelsen av de fysiske mekanismene må selvsagt bli knapp og det er heller ikke plass til noen inngående behandling av de mange anvendelsene i biologi, medisin, metallurgi, halvlederteknologi osv.

Resultatet er ei bok som vil være svært nyttig for alle som har interesse for å bruke scanning mikroskopi — og det er etter hvert blitt nokså mange forskere på forskjellige felt. Den er full av opplysninger og ført frem til de aller siste åra. Boka bygger nok på kjennskap til begrepene i feltet og helst noe forhåndskunnskaper om metoden. Men alle som er interessert i å lære noe om scanning mikroskopi vil få et levende inntrykk av feltet ved å studere de mange figurene og lese litt her og der. Referanselistene er fyldige.

For noen er det kanskje et aber (tysk for «drawback») at boka er på tysk, men ordet «Raster elektronmikroskopi» er muligens et brukbart alternativ til scanning elektronmikroskopi?

Jon Gjønnes

S. Bashkin (ed.): Beam-Foil Spectroscopy (Topics in Current Physics, Vol. 1). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1976. 91 figurer, 318 sider. DM 69,-.

Ved de største kjernefysiske laboratorier finnes i dag partikkel-akseleratorer som akselererer fra protoner til urankjerner opp til energier nær 10 MeV pr. nukleon. Selv om disse instrumenter fortsatt har sin største anvendelse til kjerne-fysiske eksperimenter, har den tekniske utvikling av partikkelakseleratorene de siste 10—15 år resultert i nye og interessante forskningsfelt. I boken «Beam-Foil spectroscopy» diskuteres en av disse nye anvendelser av partikkelakseleratorene.

Ionene ut fra akseleratoren går gjennom en tynn karbon-folie, hvor den finner sted en utveksling av elektroner mellom ionene og karbonatomene. Ionene er eksiterte etter å ha passert folien, og eksitasjonsenergien avgis ved at ionene sender ut lys eller Auger-elektroner. Strålingen inneholder spektroskopisk informasjon, og den registreres enhet ved optiske metoder eller med elektronisk detektorutstyr.

Boken inneholder 10 kapitler som på ulike måter belyser den eksperimentelle teknikken og dens anvendelser. De er skrevet av forskjellige forfattere som alle hører til ledersjiktet innenfor denne forskningsgren.

Det vil føre for langt å gå inn på innholdet i de enkelte kapitler. Noen anvendelser bør likevel nevnes.

Metoden er godt egnet til målinger av atomære overgangssannsynligheter. Etter å ha passert folien beveger ionene seg med nær konstrant hastighet, slik at det er en entydig korrespondanse mellom levetiden til en eksistert tilstand og strekningen ionet tilbakelegger før det deeksiterer.

Metoden er i særklasse når det gjelder å gjøre spektroskopi på meget sterkt ioniserte atomer. F.eks. har en observert kryptonatomer (Z = 36) med kun ett og to elektroner. Studier av slike systemer har stor betydning i seg selv (Lamb shift), men er også vesentlig for andre forskningsfelt (Plasmafysikk, astrofysikk, solfysikk).

Boken er interessant og kan anbefales til alle som ønsker å holde seg orientert om nyere forskningsfelt innenfor akseleratorfysikk. Den gir en grei innføring i metoden og dens anvendelser, selv om enkelte avsnitt nok krever spesielle forkunnskaper hos leseren.

Boken er første bind i en ny serie «Topics in Current Physics» fra Springer-Verlag. Serien er viet grunnforskning i fysikk, og skal gjøre det lettere for spesialister å orientere seg innenfor beslektede forskningsfelt. I den foreliggende bok har en levd opp til denne målsetting.

J. Rekstad

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for Atomenergi, Kjeller

KURS HØSTEN 1978

DATABEHANDLING

11/9 —15/9	Grunnkurs i databehandling
18/9 — 6/10	FORTRAN
4/12— 7/12	Bruk av NORD-10
16/10—27/10	Assembly programmering — MIXAL
13/11—17/11	Videregående programmeringsmetodikk i FORTRAN
30/10—31/10	INTERCOM
1/11— 2/11	NOS/BE, operasjonssystem for Control Data CYBER 74
6/11— 7/11	UPDATE
27/11— 1/12	Filbehandling

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

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim — NTH

Norsk Fysisk Selskap

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

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

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

Postgirokonto: 5 88 38 89 Bankgirokonto: 5102.20.16001

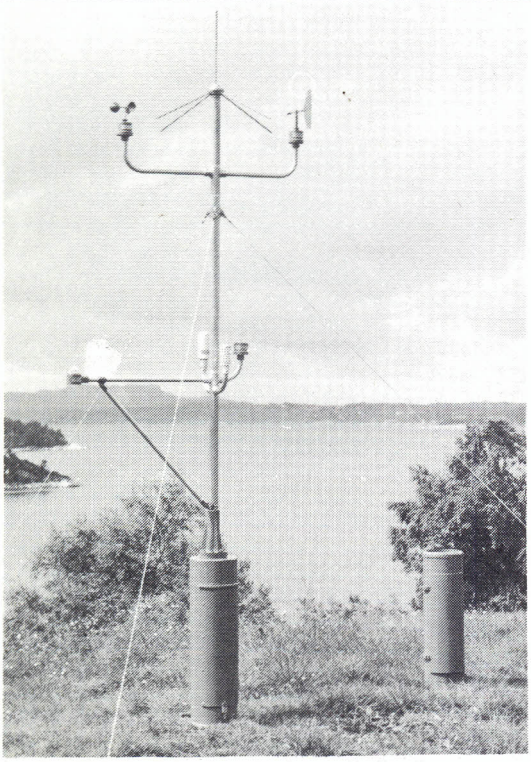
Fra Fysikkens Verden

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

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

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

Postgirokonto: 5 10 47 24 Bankgirokonto: 8601.36.12279



AUTOMATISK VÆRSTASJON 2346
er bygget opp omkring datalogger DL-1 som har samme måleprinsipp og registrering som den velkjente Aanderaa strømmåler RCM4. Dataloggen og de flest følere har vært produsert og brukt i en årrekke til forskjellige måleprosjekter.

STRØMMÅLERE

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

TEMPERATUR MÅLERE

For registrering av vertikale temperatur profiler i sjø og vann.

VANNSTANDSMÅLERE

For nøyaktig registrering av vann-nivå.

AUTOMATISKE VÆRSTASJONER

For montasje på land eller bøye.

DATALESINGSUTSTYR

For oversetting av registrerte data til EDB media.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR

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

NTH-Trykk
Trondheim