Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Fra redaktøren	25
Møte i EPS, fysikk-undervisning	25
Kvinner og matematiske fag	26
Nye medlemmer	26
Energia '79	26
Kjernekraftverket ved Harrisburg ...	27
Informasjonsteori og statistisk mekanikk	31
Nøytronvåpen	35
Halo over Oslo-området	39
Påmindelse om energiproblemene	42
Bøker	30, 38, 41, 44

Halo over Oslo-området (foto: Aftenposten)
Se artikkelen side 39.

Nr. 2 - 1979
41. 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.

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 2 - 1979

Redaktør: OLAV STEINSVOLL
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

41. årgang
ISSN-0015-9247

Fra Redaktøren

Det er Kjeller-området som setter hovedpreget på dette nummeret av tidsskriftet med artikler om dystre ting som nøytronvåpen og uhell ved kjernekraftverk. Resultatet av fysisk forsking nyttes både i våpenproduksjon og til fredelige formål, og begge kjennetegnes ved stor energikonsentrasjon. Vi må derfor se i øynene at fredelige innretninger kan komme ut av kontroll ved feilbehandling og oppføre seg alt annet enn «fredelig» overfor omgivelsene. Det må regnes på kjernekraftens plusside at skadene i Harrisburg ble av materiell og økonomisk art, og at ikke noe menneskelig gikk tapt. Reaktorhavariet vil nok få stor betydning for kjernekraftens framtid, både rent konstruksjonsmessig og politisk.

Begrepet entropi måtte vi alle lære om i varmelæren og i statistisk mekanikk. Det er derfor overraskende å få påvist at dette begrepet prinsipielt ikke er et fysisk begrep, men er av helt generell statistisk eller informasjonsteoretisk art.

Noen naturfenomen krever så spesielle atmosfæriske forhold at de er meget sjeldne, og vil oppleves bare én gang i livet av de fleste. Halofenomenet over Østlandet i fjor kommer inn under denne kategorien. Iskrystaller, plater eller nåler, som faller i stille luft, vil orientere bestemte krystallakser i forhold til tyngdefeltet og gi vakre lysbrytingsfenomener som fra en stor himmelsk prismelysekrone. E. Hylleraas opplevde det sist kjente tilfellet i Engerdal i 1947.

Redaksjonen har merket en nedgang i antall tilsendte artikler det siste halve året. Vi ber derfor alle lesere om å overveie å skrive en populærartikkel om sitt spesialområde i nærmeste framtid. Råd og rettleiing kan fås hos medlemmer av redaksjonskomiteen for FFV.

God sommer!

Møte i Geneve 2. og 3. mars 1979 i European Pjysical Society's Rådgivende Komite for fysikkundervisning (ACOPE)

I løpet av det siste året har medlemmer fra følgende land sluttet seg til komiteen: Danmark (som representeres av professor Poul Thomsen, Danmarks Lærerhøjskole, best kjent i Norge som medforfatter av lærebøkene «Spørg Naturen» beregnet på sammenholdte klasser i ungdomsskolen), Belgia, Finland, Italia, Portugal og Yougoslavia. Mesteparten av fredagen gikk med til å behandle et utkast til regler for utveksling over lengre tid av forelesere mellom universitetene i EPS-regi.

Mens utvekslingen av rene forskere er relativt godt utbygget, foregår det liten utveksling av forskere som kan gi nye bidrag til undervisningen, som f.eks. nye laboratorieopplegg, nye forelesningsteknikker etc.

Etter forslag fra professor Zichichi som er president i EPS, ble det i ACOPE i september 1978 nedsatt en komite med dr. B. Robinson, UNESCO som formann til å utarbeide forslag til regler for utveksling av personer med undervisning som hovedinteresse. Dette forslaget ble drøftet og en del forandringer foreslått, men jeg er forhindret i å gå detaljert inn på dette da utkastet foreløpig er fortrolig. Zichichi var til stede en kort tid under møtet.

Lørdagen gikk stort sett med til å foreslå 10 kandidater med en del varamenn til redaksjonskomiteen i European Journal of Physics. Arbeidet var vanskelig da det selvsagt er mange hensyn å ta til øst og vest og til store og små land.

Forslaget er også fortrolig, men jeg kan vel si så meget at det er god sjanse for at Norden skal få sin representant i redaksjonen. Av andre viktige ting som ble tatt opp på møtene, bør nevnes dr. H. C. Kramers ønske om å få undersøkt hvordan profesjonelle fysikere ble utdannet i de forskjellige land i Europa. Kramers lovet å søke samarbeide med andre for å arbeide videre med dette problemet.

Professor Born som sørger for den endelige utformingen av rapporten om fysikkundervisningen i de videregående skolene i Europa, møtte ikke i Geneve. Men han hadde sendt et foreløpig utkast til rapport til formannen.

Dr. Meesen, Belgia redegjorde for et undervisningsprosjekt i fysikk beregnet på den videregående skolen. Dette prosjektet har antakelig liten interesse for norske forhold.

Planer om å diskutere alternativer til fysikkolympiader og Piagets innvirkning på fysikkundervisningen, ble utsatt da man foreløpig ikke har samlet nok materiale.

Neste møte i komiteen vil bli holdt i et østeuropeisk land, sannsynligvis Ungarn.

Knut Jostein Knutsen

Bibliografi vedrørende kvinner og matematiske fag

Redaksjonen har fått tilsendt en liten bibliografi med tittelen «Women and Mathematics, Science and Engineering», skrevet av Else Høyrup ved Roskilde Universitetsbibliotek. De siste par årene har hun arbeidet med sosiologiske og psykologiske problemer vedrørende matematikk, og har særlig tatt opp spørsmålet om hvorfor jenter antas å ha mindre legning for matematikk enn gutter. Hvorfor velger så få kvinner matematiske fag i den videregående skolen og ved universitetene? Bibliografien dekker amerikanske og danske publikasjoner om emnet fra sekstiåra fram til 78. Kapitlene har overskrifter som: Kvinner og matematikk, kvinnelige matematikere, kjønnsforskjeller i romforestillinger, tenkemåter, problemløsning, skaperevner. Ett avsnitt omhandler kvinner og fysikk.

Høyrup vil arbeide videre med emnet og setter pris på kommentarer og mulige tillegg til bibliografien hvis noen her Norge har arbeidd med liknende problemstillinger.

Henvendelse: E. Høyrup
Bøgevej 8
DK-3599 Værløse
Danmark

Nye medlemmer tatt opp på styremøtet 19/3 1979

Cand.real. K. H. Bendiksen, Institutt for atomenergi, Kjeller.

Høyskolelektor J. Frihagen, Krigskolen, Linderud, Oslo 5.

Lektor J. Døhl, Oslo 8.

Cand.real. I. Dyrdal, 3500 Hønefoss.

Energia'79

Energia'79 med arbeidstittel «Informasjonsforum for Energiforvaltning», ble arrangert på Sjølystsentret i Oslo 23.-28. januar 1979. Arrangør var Norges Varemesse i samarbeid med Olje- og Energidepartementet samt aktuelle bransje- og interesseorganisasjoner.

Energia-utstillingen ble arrangert første gang i 1976. Dette arrangementet var kun for fagfolk. Oppslutningen om de faglige foredragene ble dengang meget god, mens oppslutningen om selve utstillingen ble vesentlig mindre enn ventet. En undersøkelse etter utstillingen viste at en av hovedårsakene for dette var at industrien stilte seg avventende til et utspill fra myndighetene. Likeledes hevdet flere firmaer at de på det tidspunkt ikke var kommet langt nok i produktutviklingen, slik at det var få konkrete produkter å vise frem.

For Energia'79 ble det derfor valgt et annet opplegg. Denne gangen ble det ikke noen fagmesse i tradisjonell forstand, men et informasjonsforum primært for publikum, skoleelever i den videregående skole, kommunale og statlige politikere og myndigheter. Målsettingen var å gi en helhetlig og objektiv vurdering av dagens og morgendagens energisituasjon og retningslinjene i myndighetenes offisielle energipolitikk. Utstillingens hovedinnhold kom derfor til å bestå av meninger, synspunkter og idéer, mens mindre vekt ble lagt på produkter bortsett fra de tilfelle der slike naturlig hørte hjemme eller var nødvendig for å utdype eller forklare de meninger man ønsket å få frem, f.eks. lavenergihus og forskjellige typer boligisolasjon.

I tillegg til selve utstillingen ble det arrangert et omfattende seminarprogram som besto av tre hoveddeler: En del for fagfolk, en del for skoleelever og en del for publikum. Fagseminaret henvendte seg til fagfolk innenfor energisektoren, politikere og myndigheter. For skoleelever var det lagt opp til en kombinasjon av organisert omvisning med kortere foredrag, demonstrasjoner og filmprogram. Spesialprogrammet for publikum besto av temadager, f.eks. «Politikernes ansvar i planleggingen av fremtidens energiforsyning», «Energi og hjem» og «Energi og arbeidsplass». Det ble her lagt stor vekt på spørsmål og diskusjoner mellom publikum og paneldeltagere.

Et hovedtrekk i utstillingen var en presentasjon i Olje- og Energidepartementets regi som besto av følgende hovedtemaer:

- Vekst i forbruk, økonomisering - hva kan den enkelte borger gjøre?
- Vannkraft, varmekraftutbygging
- Offisiell norsk oljepolitikk
- Alternative energikilder

Et annet hovedtrekk var at industrien, da i første rekke den kraftkrevende industri på en klar og oversiktlig måte fikk belyst sin plass i energibildet, og sitt syn på dagens og fremtidens energipolitikk.

Rundt Olje- og Energidepartementets stand var diverse forskningsinstitutter gruppert. Presentasjonene dreide seg her om energiforskning, dvs. forskning på alternative energiformer som sol-, vind- og bølgeenergi. Sentralinstitutt for industriell forskning (SI) presenterte f.eks. en modell av sitt eget bølgekraftprosjekt der hovedprinsippet er et system av fokuserende linser som konsentrerer energien i

en utstrakt del av bølgefronten til et relativt lite område slik at en vannstrøm kan presses opp i et høyereliggende basseng.

Rammen for Institutt for atomenergis stand var alternative energiformer, nye energiteknologier og energiøkonomisering - utnyttelse av spillvarme. Hovedinnslagene var her omtale og presentasjon av NTNF-prosjektet «Spillvarme fra kraftkrevende industri», også kalt Jernverkprosjektet, og Instituttets innsatser på studiet av nye energibærere som sol- og vindenergi. NTNF-prosjektet «Energimodell for Norge» ble også presentert samt innsatser på utvikling av simuleringsmodeller for olje- og gassreservoarer. Opplegget var altså å gi et innblikk i den ikke-nukleære delen av Instituttets energiarbeid. Dette er oppgaver som bare et fåtall personer hittil har forbundet med IFA's virksomheter, mens Instituttets kjernekraftaktiviteter synes alment kjent. Målsettingen er jo videre den at ikke-nukleære energiinnsatser skal øke i omfang i årene fremover, mens kjernekraftaktiviteten skal holdes konstant.

I totalpresentasjon av IFA var også kjernekraftinformasjon inkludert. Det var lagt frem brosjyrer og særtrykk vedrørende kjernekraft.

Men det manglet ikke motinformasjon på dette området. Forskjellige miljøgrupper var gått sammen om en utstillingsstand der det var lagt vekt på informasjon om nullvekst og kjernekraftens påståtte farer for menneskeheten.

Energia'79 ble i alt besøkt av ca. 28000 personer i de seks dagene utstillingen varte. Av disse var ca. 8000 skoleelever. Dette er jo meget gode besøkstall spesielt for skoleelevenes vedkommende. Nå fant jo besøkende her sted i skoletiden og en avveksling fra klasserommet er vel ofte kjærkommen.

Min egen vurdering av utstillingen som helhet blir at opplegget denne gangen nærmest må bli å betegne som en suksess i forhold til arrangementet i 1976. I hvilken grad folk fikk korrigert eventuelt befestet sine oppfatninger om energispørsmål generelt er selvsagt umulig å ha noen sikker formening om. Ett forhold bør likevel fremheves, og det er at forbausende mange synes å være av den oppfatning at alternative energikilder nok kan være interessante å forske på, men noe vesentlig bidrag til landets energiforsyning i de nærmeste ti-år skal vi ikke vente fra den kanten. Kanskje det her ligger signaler som visse politikere ikke bør glemme.

IFA

Per I. Wethe

Kjernekraftverket ved Harrisburg: Katastrofe, ulykke eller uhell?

Eigil Andersen)*

Hvor alvorlig var det som hendte?

Onsdag 28. mars 1979 kl. 04.00 om morgenen startet en serie av hendelser ved kjernekraftverket på Three Mile Island nær Harrisburg i Pennsylvania, hendelser som i de påfølgende timer og dager gjorde dette spesielle kraftverket kjent over hele verden.

Gjennom massemedia kunne en følge utviklingen fra time til time og mange tenkte vel at en nå stod overfor en reaktor-katastrofe av enorme dimensjoner og at tusenvis av mennesker var i livsfare. Etterhvert er det vel blitt klart for de fleste at dette ikke på noen måte var tilfelle. Men redselen for hva som kunne komme til å skje og usikkerheten omkring radioaktivitet og stråling hos mange av menneskene som bodde i nærheten av kjernekraftverket, vil ganske sikkert få betydelig politisk innvirkning på den videre utbygging av kjernekraften. Selvsagt bør ingen forsøke å bagatellisere hendelsen. Den granskningskommisjon som president Carter har nedsatt, vil sikkert legge frem en meget betydningsfull rapport som vil bli studert flittig av motstandere så vel som av tilhengere av kjernekraften.

Til nå har påviselig intet menneske blitt drept og heller ingen alvorlig skadet av det som skjedde. En del av personellet ved reaktoren har fått strålingsdoser som nok kan sies å være en del over det normale for slikt personell. (Tre ansatte fikk mer enn kvartalsdosen på 3 rem, henholdsvis 3.1, 3.4 og 3.8 rem). Befolkningen nær reaktoren har fått en tilleggsdose over den normale bakgrunnsstråling av meget beskjeden størrelse, noe vi senere skal komme tilbake til.

Var det da en katastrofe, en ulykke eller et uhell det som hendte ved kjernekraftverket på Three Mile Island? Ordvalget vil være farget av den innstilling en har til kjernekraften generelt.

Den mest korrekte betegnelse for det som hendte vil vel være reaktorhavari. Hvorvidt det er et fullstendig havari slik at kjernekraftverket ikke kan brukes mer, er umulig å si med sikkerhet på det nåværende tidspunkt. At det viser seg å bli en *økonomisk* katastrofe for kraftselskapet er meget mulig, de første overslag går ut på at skadene ved kjernekraftverket beløper seg til 140 millioner dollar.

*) Institutt for atomenergi, Kjeller.

Vi skal i det følgende se på handelsesforløpet litt mer detaljert, og også kort omtale hvilke strålingsdoser som er målt rundt anlegget. Fremstillingen bygger vesentlig på stoff fra «Nucleonics Week» og en spesialutgave av Nuclear News (1). En mer fullstendig beskrivelse av havariet og vurdering av alle konsekvenser vil neppe foreligge før om et halvt års tid.

Teknisk beskrivelse av anlegget

Kjernekraftverket Three Miles Island har 2 enheter, begge er trykkvannsreaktorer bygget av Babcock og Wilcox.

Enhet nr. 2, den reaktoren det gjelder, hadde en kapasitet på 2770 MW termisk effekt og 900 MW elektrisk effekt. Denne enheten hadde bare vært i drift siden desember 1978, mens enhet nr. 1 hadde vært i drift siden oktober 1974. (For beskrivelse av ulike kraftreaktorer henvises til (2)).

Trykkvannsreaktoren er den mest alminnelige vannmodererte kraftreaktor i dag. Foruten i USA er det slike reaktorer i drift i Sverige, Tyskland, Frankrike, Sovjet og Japan.

I en trykkvannsreaktor vil varmeoverføringen fra reaktorbrenselet til dampturbinen skje ved hjelp av en primærkrets og en sekundærkrets. Trykket i primærkretsen er ved normal drift 158 atm. og vanntemperaturen ca. 320°C. I reaktoren er det da ingen koking. Vannet i primærkretsen transporterer varmen fra reaktorkjernen til to separate dampgeneratorer og pumpes så tilbake til reaktortanken ved hjelp av to hovedsirkulasjonspumper.

I figuren er vist meget skjematisk de viktigste komponenter av kjernekraftverket. (Bare en av de to dampgeneratorene er tegnet inn). Det gasstette kombinerte stål- og betonghuset som omgir reaktoren og dampgeneratorene betegnes som reaktorinneslutningen. (Angitt med skravert dobbeltvegg på tegningen).

Trykket i primærsystemet må holdes innen meget bestemte grenser for å unngå koking i kjernen. Dette trykket reguleres ved en egen trykk-kontrolltank med en trykkavlastningsventil (6 på figuren). Fra trykkavlastningsventilen (6) føres dampen ned til en kondensasjonstank (ikke vist på figuren) som befinner seg nær bunnen av reaktorinneslutningen. Denne kondensasjonstanken er utstyrt med en sprengplate som automatisk gir etter ved overfylling av tanken, og vannet fra denne vil da renne ut i bunnen av reaktorinneslutningen.

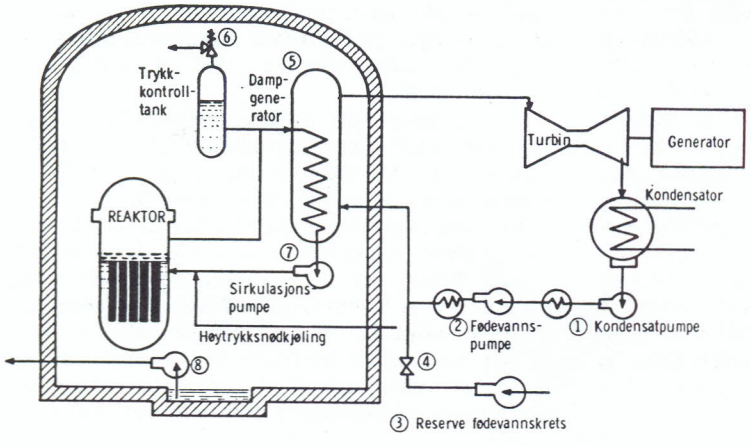
I dampgeneratoren produseres damp som går til turbinen. Fra denne går dampen til kondensatoren og kondensatet går som fødevann tilbake til dampgeneratoren. For å sikre tilførsel av fødevann til sekundærsiden av dampgeneratoren er det også installert tre reservepumper (3). Mellom disse pumpene og dampgeneratoren sitter sperreventiler (4). Disse lukkes og åpnes manuelt og hadde vært testet noen dager før uhellet, men var ved en forsømmelse blitt stående i lukkede posisjoner.

Reaktoren er utstyrt med en lang rekke sikkerhetssystemer som trer i funksjon når feil oppstår. Det resulterer i momentan avstengning av reaktoren og stopp av kjedereaksjonen i uranet. Det er imidlertid en betydelig ettervarme i uranet på grunn av radioaktiv desintegrasjon av fisjonsprodukter. Derfor må reaktorkjernen kjøles i lengre tid også etter avstengning for å unngå en eventuell smelting av brenselselementene.

Svikter det normale kjølesystem, har en tre uavhengige nedkjølesystemer: et høytrykkssystem og et lavtrykk-system basert på pumper, og et lavtrykksystem basert på trykk-beholdere.

Reaktorinneslutningen for en trykkvannsreaktor er laget av forspent betong med en veggtykkelse på 1,2 m og innenfor betongen er det en stålvegg av 38 mm tykkelse.

For en omfattende beskrivelse av reaktorenes sikkerhetssystemer og en detaljert vurdering av mulige helseskader ved utslipp av radioaktivitet til omgivelsene henvises til NOU 1978: 35A og tillegget NOU 1978: 35B (Kjernekraftutvalgets innstilling, se også omtale av denne i ref. (3)).



Sterkt forenklet diagram over reaktoranlegget.

Hendelsesforløpet ved reaktorhavariet

I det følgende skal gis en summarisk gjengivelse av hendelsesforløpet slik som det er beskrevet i de første tekniske publikasjoner som er tilgjengelige nå noen uker etter uhellet. Detaljerte undersøkelser og «hearings» er i full gang, og mer fyldige rapporter vil senere komme.

1. Kl. 04.00 lokal tid 28. mars 1979 stoppet fødevannstilførselen til begge dampgeneratorene på grunn av en feil i et rensesystem for fødevannet. Reservepumpene som er nevnt tidligere ((3) på figuren) skulle ha startet automatisk og sørget for tilførsel av tilstrekkelig fødevann til dampgeneratoren. Dette skjedde imidlertid ikke, og grunnen var at de før nevnte sperreventiler (4) utilsiktet var blitt stående i lukket stilling.
2. Uten fødevannstilførsel til dampgeneratorene begynte trykket og temperaturen i reaktorens primære kjølesystem i stige. Turbin og el-generator ble som følge av dette automatisk koblet ut, og sikkerhetsstavene sørget for en momentan stopp av kjedereaksjonen i reaktoren. Trykkstigningen i primærsystemet førte til at trykkavlastningsventilen åpnet og en blanding av vann og damp førtes inn i kondensasjonstanken. Av årsaker som ennå ikke er klarlagt lukket denne ventilen ikke automatisk som den skulle ha gjort, og trykket i primærsystemet fortsatte å falle. Dette var en alvorlig mekanisk svikt som førte med seg en rekke andre uhell.
3. Etter ca. 2 1/2 minutt var trykket i reaktoren falt til 110 atm. mot normalt 157 atm. Høytrykksnødkjølingen startet da automatisk og etter ytterligere 2-8 minutter registrerte operatørene i kontrollrommet at trykket var steget sterkt og instrumentene viste et for høyt trykk. Høytrykksnødkjølingen ble derfor stoppet av en operatør.
4. Reservekretsen for tilførsel av fødevann til dampgeneratorene var kommet i orden. En hadde fått åpnet ventilene og en fikk da kaldt vann inn i dampgeneratorene, som da sannsynligvis var kokt tørre. Temperatursjokket førte til lekkasje av radioaktivitet fra primærsystemet til sekundærsystemet i en av dampgeneratorene og den ble stengt av.
5. Reaktoroperatørene registrerte igjen sterkt trykkfall i primærsystemet og høytrykksnødkjølingen ble igjen startet.
6. Trykkavlastningsventilen (6) som skulle ha lukket var fortsatt åpen, og etter ca. 15 min. ble kondensasjonstanken på bunnen av reaktorinneslutningen full og sprengplaten ga etter og ca. 40 m^3 av primærkjølesystemets vann strømmet ut på gulvet i reaktorinneslutningen. (Total vannmengde i primærkretsen var 340 m^3). En del av dette vannet ble så feilaktig ved en pumpe (8) ført over til en tank i hjelpebygningen, og noe lekket også ut på gulvet der fordi kapasiteten av lagertanken ble overskredet. Dette vannet inneholdt radioaktive edelgasser, mest krypton og xenon, og radioaktivt jod. (For detaljer om slike utslipp se ref. (4)). Edelgassene ble gjennom ventilasjonssystemet delvis ført ut i luften omkring bygget, mens det radioaktive jod ble holdt tilbake av filtre.
7. Ca. 1 1/2 time etter uhellets start var trykket i primærkretsen så lavt at operatøren stoppet sirkulasjonspumpen (7) for å unngå at denne skulle ødelegges. På dette tidspunkt var altså reaktorkjernen uten kjøling i det hele tatt og trykket var under metningstrykket slik at koking har funnet sted. Dette førte igjen til at brenselselementene ble tørrlagt, og dermed steg temperaturen på kapslingsrørene. Dette har ført til betydelige skader på kapslingsmaterialet, en zirkoniumlegering.
8. Etter ca. 15 timer fikk en både dampgenerator og turbinkondensator i gang og den ene av sirkulasjonspumpene startet også. En fikk dermed igjen i gang den nødvendige nedkjøling av reaktorkjernen, og hadde situasjonen under kontroll. I løpet av det følgende døgn ble kjøling av kjernen holdt i gang og det så ut til at tilstanden ved reaktoren var stabil. En begynte imidlertid å registrere økende mengder radioaktivitet i prøver fra kjølevannet, og dette tydet da på omfattende skader av kapslingen. Etter ytterligere ca. et døgn stanset en igjen nedkjølingen.

Det ble også antatt at det over kjernen var dannet en gassboble, bestående vesentlig av hydrogen, men også av radioaktive fisjonsgasser. Høy temperatur på zirkonium i forbindelse med vann gir nemlig en kjemisk reaksjon der hydrogen frigjøres. En mente på dette tidspunkt at dannelsen av denne boblen utgjorde en alvorlig trusel for videre nedkjøling av reaktoren, og dermed økt fare for kjernesmelting. (Etter de siste meldinger ser det ut til at volumet av gassboblen var betydelig overvurdert).

En fikk så startet en hjelpekrets som riktignok ikke bidro vesentlig til en rask nedkjøling av kjernen, men som langsomt fjernet gassen fra primærsystemet. Bruken av dette hjelpesystemet reduserte volumet av gassboblen langsomt, men førte også til at det samlet seg hydrogengass i reaktorinneslutningen. En rekombineringsenhet ble så installert utenfor reaktorinneslutningen, og en fikk langsomt redusert hydrogenkonsentrasjonen i luften rundt reaktoren. En målte på det høyeste 2,3% hydrogen i luften. En antar at en lokalt har hatt hurtig forbrenning av hydrogen inne i reaktorinneslutningen, en trykkøkning ble målt. Forbrenningen ble imidlertid hurtig stoppet av et automatisk overrislingsanlegg.

Utslipp av radioaktive gasser

Gassen som var i kjølevannet var sterkt radioaktiv og ble etterhvert overført til tanker i den nærliggende hjelpebygning. Disse tankene var beregnet for lagring av slike gasser. Det ble etterhvert fare for at trykket i disse tankene skulle bli så stort at sikkerhetsventilene åpnet. For å unngå ukontrollert utslipp fikk operatørene myndighetenes tillatelse til kontrollerte utslipp av radioaktive gasser. Det hadde også tidligere skjedd en del mindre ukontrollerte utslipp.

Målinger med instrumenter i helikoptere kunne til enhver tid avgjøre strålingsnivåene og størrelsen av gass-utslippene. Det ble etter flere utslipp fredag 30. mars målt 20-25 mrem/h i anleggets umiddelbare nærhet, men ellers var nivået noen få mrem/h. Helikoptermålingene viste at skyen med radioaktiv gass ikke lenger kunne registreres 8-10 km fra anlegget.

Rundt anlegget var det fra før plassert termoluminesens dosimetre for kontinuerlig overvåking av strålingsnivået ut til en avstand av 25 km fra anlegget. Den maksimale dose registrert nær reaktorområdet lå 80-85 mrem over bakgrunnsdosen. (For at en person skulle ha oppnådd denne dose måtte vedkommende ha stått på samme sted i 43 timer). Til sammenlikning kan nevnes at medisinsk bruk gir hver innbygger ca. 20 mrem/år, og at den naturlige bakgrunnsstråling i middel er på ca. 90 mrem/år i USA. (Det er store lokale variasjoner i bakgrunnen, bl.annet er høyden over havet avgjørende på grunn av komponenten fra kosmisk stråling. I Denver, Colorado vil bakgrunnsdosen være ca. 50 mrem/år høyere enn ved havnivået).

Den vesentlige strålekilde rundt reaktoranlegget har vært edelgassen xenon, og den inngår vanskelig forbindelse med andre stoffer som kjent. Mer alvorlig ville utslipp av jod ha vært, men disse har heldigvis vært ubetydelig takket være filterne. Det ble foretatt mange jodanalyser (I-131) av melk og en fant aktiviteter i området 14-40 pCi/liter, grensen satt av helsemyndighetene er 12000 pCi/liter.

Senvirkning av bestråling i form av kreft som kan utvikles i løpet av mange år har vært mye omtalt i aviser. Det er oppgitt av kontrollmyndighetene at kollektivdosen etter uhellet er ca. 3500 mannrem. En regner med at en kollektivdose på 10000 mannren vil kunne gi ett krefttilfelle i løpet av en periode på 25 år.

Hvem må ta ansvaret for det som skjedde?

Det er naturligvis ikke mulig på det nåværende tidspunkt å si noe sikkert om hvem som har størst ansvar for det som skjedde. Reaktorleverandøren hevder at den eneste komponentfeilen som var av betydning for reaktorhavariet var svikten i trykkavlastningsventilen. Den vesentlige årsak til havariet vil da skyldes menneskelig svikt. Det blir da ikke bare feil begått av operatørene som kommer inn i bildet, men også hele den administrative kontroll ved kjernekraftverket som kommer i søkelyset.

Granskingen av det som skjedde har allerede ført til endring av visse regler gitt av den kjernetekniske kontrollkommisjonen. Etter hvert som fler detaljer i hendelsesforløpet er gransket mer inngående og en har sikrere konklusjoner, vil uten tvil en rekke nye sikkerhetsforskrifter og kontrollbestemmelser bli innført. Disse nye bestemmelser vil sikkert også ha betydelige virkninger, (ikke minst økonomiske), for både bygging og fremtidig drift av kjernekraftverk både i USA og andre land.

Referanser

1. Nucleonics Week, (Incorporating Nucleonics), A McGraw Hill Publication Special Issue April 2, 1979 og påfølgende nummere av Vol. 20, fra og med nr. 14.
   Spesialnummer av Nuclear News April 6, 1979 «The ordeal at Three Mile Island», Utgitt av American Nuclear Society.
2. O. G. W. Øye
   Energikrise og kjerneenergi. F.F.V. Nr. 2 - 1974, side 31.
3. A. F. Andresen.
   Er kjernekraft sikkert nok? F.F.V. Nr. 1 - 1979, side 3.
4. U. Tveten og D. Thomassen.
   Normal drift av kjernekraftverk. Er det riktig at stråledosene fra utslipp til atmosfæren er så lave? F.F.V. Nr. 3 - 1975, side 58.

Bøker

R. Glowinsky og J. L. Lions (ed). Computing Methods in Applied Sciences. Lecture notes in Physics nr. 58. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1976, 593 sider, Heftet. DM 37,-.

Denne boken inneholder foredrag og rapporter presentert under «the second International Symposium on Computing Methods in Applied Science and Engineering», holdt ved IRIA-LABORIA, le Chesnay, Frankrike, desember 1975.

Foredragene og rapportene beskriver numeriske metoder til løsning av ulike problemer innen meteorologi, oseanografi og hydrodynamikk, og metoder for beregning av belastninger og spenninger i tynne bjelker og i kule-skall. Mye av det som er gjengitt i boken kan i dag finnes innen spesiallitteratur på området, men en fordel med en slik samling av artikler fra ulike fagområder er at selv om problemene synes ulike, er løsningsmetodene ofte de samme, fordi de fleste problemene fører til et sett med partielle differensialligninger. Ligningene kan løses enten ved hjelp av endelige differanse metoder eller ved hjelp av element metoder. Ligningene kan også transformeres fra det geometriske rom til et bølgetallsrom. I noen tilfeller fører dette til en enklere og nøyaktigere løsning.

De ulike artiklene i boken beskriver modeller hvor disse metodene er benyttet. Valg av metode er ofte avhengig av integrasjonsområdets geometri, hvilken nøyaktighet som kreves i løsningen, og den tid det vil ta å løse problemet på en elektronisk regnemaskin. Boken gir en indikasjon på dette.

En vanskelighet møter en alltid når man har en samling artikler fra forskjellige fag. Det er det at nomenklatur og fremstillingsmåte er så ulike fra fag til fag. Her burde redaktøren ha forsøkt å få til en sterkere samordning.

A. Grammeltvedt

Informasjonsteori og statistisk mekanikk

S. Skavlem)*

Vi skal betrakte følgende fundamentale problem i den såkalte informasjonsteori: Gitt en størrelse x (en såkalt stokastisk variabel) som kan anta de diskrete verdier $x_1, x_2, ..., x_n$. Hvilken av disse verdier som vil inntreffe ved en observasjon av x kan ikke predikeres med sikkerhet. Det eneste vi kan gjøre er å assosiere bestemte sannsynligheter med hver enkelt verdi. Som et eksempel kan vi tenke på terningkast. I alminnelighet er sannsynlighetene $p_1, p_2, ...,$ p_n ikke kjent. Det eneste vi har av informasjon er kjennskapet til forventningsverdien av en eller annen funksjon f(x) av x:

$$<f(x)> = \sum_{i=1}^{n} p_i f(x_i) \qquad (1)$$

Dessuten skal sannsynlighetene p_i tilfredsstille normaliseringsbetingelsen

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \qquad (2)$$

Man kan så stille spørsmålet: Hvordan skal man på grunnlag av denne informasjon predikere forventningsverdien av en vilkårlig funksjon g(x)? Dette problem synes jo å være uløselig, idet den gitte informasjon er utilstrekkelig for bestemmelse av sannsynlighetene p_i. Ligningene (1) og (2) måtte jo suppleres med (n-2) tilleggsbetingelser for at $<g(x)>$ skulle kunne beregnes.

Vi står altså overfor det problem å skulle spesifisere sannsynligheter i tilfeller hvor det foreligger liten eller ingen informasjon. Allerede Laplace var oppmerksom på problemer av denne art. Det er klart at det finnes en uendelighet av forskjellige sannsynlighetsfordelinger som tilfredsstiller den gitte, men ufullstendige informasjon. De sannsynligheter vi her opererer med er uttrykk for manglende kunnskap om det objekt eller de prosesser vi ønsker å studere. Den sannsynlighet som assosieres med en bestemt begivenhet er bare et formelt-matematisk uttrykk for vår forventning om at denne begivenhet skal inntreffe, basert på den mengde av informasjon som måtte foreligge. Slike sannsynligheter kalles i sannsynlighetsteorien for subjektive, i motsetning til objektive sannsynligheter som karakteriseres ved at de i prinsippet skal kunne direkte måles ved observasjon av frekvensforhold. I det problem jeg nettopp har skissert adopterer vi det subjektive synspunkt, idet vi bare bygger på den informasjon som er gitt ved betingelser av typen (1), uten å støtte oss til objektiv, direkte kunnskap om selve sannsynlighetsfordelingen.

Vårt problem er nå å finne frem til en sannsynlighetsfordeling som det vil være rimelig å foretrekke fremfor alle andre sannsynlighetsfordelinger som er i overensstemmelse med den gitte informasjon. Med andre ord, det gjelder å finne frem til et kriterium for *valg* av den sannsynlighetsfordeling som på *best mulig måte* representerer vår mer eller mindre ufullstendige viten om et aktuelt objekt eller en aktuell prosess. Jeg vil her understreke at denne problemstilling ikke på noen som helst måte er spesifikk for fysikken, den er av helt generell informasjonsteoretisk art.

Shannons grunnleggende arbeider

Det jeg hittil har sagt bygger stort sett på en avhandling av E. T. Jaynes [1]. For å komme videre vil jeg, i likhet med Jaynes, gå tilbake til C. E. Shannons to grunnleggende arbeider om informasjonsteorien fra 1948[2]. Disse to arbeider er trykket om igjen i boken: «The Mathematical Theory of Communication»[3].

Shannon's arbeider betegnet et meget stort fremskritt innen informasjonsteorien. Det lyktes ham nemlig å finne et entydig, kvantitativt mål for den usikkerhet eller den frihet med hensyn til valg som er assosiert med en diskret sannsynlighetsfordeling. Dette mål må være en funksjon av de enkelte sannsynligheter $p_1, p_2, ..., p_n$. For å bestemme denne funksjon, som vi betegner med $H(p_1, p_2, ..., p_n)$, formulerte Shannon tre konsistenskrav som funksjonen skulle tilfredsstille. De tre kravene er:

(a) H skal være en kontinuerlig funksjon av sannsynlighetene p_i.

(b) Når alle p_i er like, skal størrelsen $A(n) = H(1/n, ..., 1/n)$ være en monotont økende funksjon av n.

(c) Sammensetningsloven eller additivitetsloven som vi også kunne kalle den. Innholdet i dette krav er følgende: Vi kan dele begivenhetene $x_1, x_2, ..., x_n$ opp i grupper. La oss slå sammen de k første begivenheter i en gruppe, de m neste begivenheter i gruppe nummer to etc. Disse grupper vil da ha assosiert med seg sannsynlighetene $w_1 = p_1 + p_2 + ... + p_k$; $w_2 = p_{k+1} + ... + p_{k+m}$ etc. Usikkerheten assosiert med de sammensatte begivenheter er $H(w_1, w_2, ..., w_r)$. Hvis første sammensatte begivenhet har inntruffet, vil begivenhetene $x_1, ..., x_k$ ha assosiert med seg de be-

*) Universitetet i Bergen - Fysisk Institutt

tingede sannsynligheter $p_1/w_1,....,p_k/w_1$, og tilsvarende for de øvrige sammensatte begivenheter. Det må nå være et konsistenskrav til informasjonsmålet H at vi må få den samme mengde av usikkerhet uavhengig av hvordan den nevnte gruppeinndeling foretas. De enkelte usikkerheter som fremkommer på grunnlag av gruppeoppdelingen settes sammen additivt. Vi får derfor at

$$H(p_1 \ldots . p_n) =$$

$$H(w_1 \ldots . w_r) + w_1 H(p_1/w_1 , \ldots , p_k/w_1) +$$

$$w_2 H(p_{k+1}/w_2 , \ldots , p_{k+m}/w_2) + \ldots . \qquad (3)$$

Vektfaktoren w_1 inngår i det andre leddet fordi tilleggsusikkerheten $H(p_1/w_1,....,p_k/w_1)$ har assosiert med seg sannsynligheten w_1, og tilsvarende for de resterende ledd. For eksempel er
$H(1/2, 1/3, 1/6) =$
$H(1/2,1/2) + (1/2)H(2/3,1/3)$

Størrelsen H et mål for informasjon

Jeg brukte for en kort stund siden ordet informasjonsmål om H. Tidligere betegnet jeg H som et mål for den usikkerhet eller den valgfrihet vi står overfor når det gjelder observasjon av en stokastisk variabel x. I informasjonsteorien tenker man gjerne på en informasjonskilde som skal velge ut en melding eller et budskap («message») blant mange mulige meldinger. Via en informasjonskanal skal så meldingen i form av et signal overføres til en mottaker hvor signalet igjen omformes til en melding. Informasjonskildens valg skjer i henhold til en sannsynlighetsfordeling, og er altså en stokastisk prosess. Skal meldingen kunne sies å overføre informasjon må den inneholde noe nytt, det vil si noe som mottakeren ikke med sikkerhet kunne vente. Jo større usikkerheten var før meldingen ble sendt, desto mer informasjon er overført når meldingen er mottatt. Hvis for eksempel mottakeren på forhånd sikkert visste hvilken melding han ville få, så har han ikke fått vite noe mer enn han visste på forhånd, det vil si at det ikke er blitt overført noen informasjon. I informasjonsteorien er derfor begrepet informasjon et mål for den valgfrihet man har når det gjelder å velge ut et budskap blant mange mulige. Vi innser derfor at $H(p_1....p_n)$ også kan tolkes som et mål for informasjon.

Det er nå, som Jaynes sier, et bemerkelsesverdig faktum at de tre formulerte krav entydig bestemmer funksjonen $H(p_1....p_n)$ på en vilkårlig konstant nær. Resultatet er at

$$H(p_1 \ldots . p_n) = -K \sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i , \qquad (4)$$

hvor K er en positiv, men forøvrig vilkårlig konstant. Valget av K er i alminnelighet et rent hensiktsmessighetsspørsmål og har å gjøre med valget av en enhet for informasjon.

Shannon's fullstendige bevis for formelen (4) finnes som appendix 2 i den tidligere nevnte bok av Shannon og Weaver.

Litt om informasjonsmålets egenskaper

Hvis alle sannsynligheter p_i er null unntagen en som da er lik 1, blir $H = 0$. Det er da ingen valgfrihet, ingen usikkerhet, ingen informasjon. I alle andre tilfeller antar H bare positive verdier. Vi ser lett at H, for fiksert n, har sin maksimale verdi når sannsynlighetsfordelingen er uniform, det vil si når alle $p_i = 1/n$. Det sees ved å løse ekstremumsproblemet

$$H(p_1 \ldots , p_n) = -K \sum^{n} p_i \log p_i = \text{ekstr.}$$

når bibetingelsen

$$\Sigma_i p_i = 1$$

skal være oppfylt.

Vi varierer sannsynlighetene p_i og har

$$\delta H = -K \sum_i (\log p_i + 1)\delta p_i = 0$$

$$\sum_i \delta p_i = 0$$

Dette problem er identisk med problemet

$$\sum_i (\log p_i + \lambda)\delta p_i = 0$$

hvor λ er en Lagrangesk multiplikator. Herav får vi at

$$\log p_i + \lambda = 0,$$

som medfører

$$p_i = e^{-\lambda} = \text{konst.} = 1/n.$$

Det finnes altså bare en ekstremumsverdi, og dette må da være en maksimumsverdi, som er gitt ved

$$A(n) = H(1/n , \ldots , 1/n) = K \log n \qquad (5)$$

Denne verdi øker monotont med økende n, det vil si med økende usikkerhet.

La oss betrakte to sett *statistisk uavhengige* begivenheter.

$$\begin{pmatrix} x_1 , x_2 , \ldots , x_n \\ p_1 , p_2 , \ldots , p_n \end{pmatrix} \text{ og } \begin{pmatrix} y_1 , y_2 , \ldots y_m \\ q_1 , q_2 , \ldots q_m \end{pmatrix}$$

Vi kombinerer de to settene. Den kombinerte begivenhet $x_i y_j$ har sannsynligheten $p_i q_j$. Usikkerheten for det kombinerte sett er

$$H = -K \sum_{i,j} p_i q_j \log(p_i q_j) = -K \sum_{i,j} p_i q_j (\log p_i + \log q_j)$$

$$H = -K \sum_i p_i \log p_i - K \sum_j q_j \log q_j \qquad (6)$$

H er altså additiv for statistisk uavhengige stokastiske prosesser.

Som eksempel betrakter vi det enkle tilfelle hvor det dreier seg om bare to mulige, like sannsynlige begivenheter. Da er

$$H = K \log 2$$

Vi tar denne to-valgs situasjon som enhet for informasjon - enhet for valg - enhet for usikkerhet. Da er H = 1 og

$$K = \frac{1}{\log 2} \tag{7}$$

Hvis vi ovenikjøpet velger det logaritmesystem som har basis (grunntall) lik 2, blir K = 1, og denne enhet for informasjon kalles for en «bit». Ordet er en forkortelse for «binary digit». Med «bit» som enhet blir altså

$$H(p_1, \ldots, p_n) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \tag{8}$$

Brukes Brigg'ske logaritmer blir $K = 1/\log_{10} 2 \cong 3{,}32$, og derfor

$$H(p_1, \ldots, p_n) = -3{,}32 \sum_{i=1}^{n} p_i \log_{10} p_i \tag{9}$$

La oss anta at vi har en informasjonskilde som består av N uavhengige to-valgs kilder med informasjon lik 1 bit. På grunn av additiviteten vil da den sammensatte kilde ha et informasjonsinnhold lik N bits. Man kan si at kilden representerer et informasjonslager eller en hukommelse lik N bits.

Sannsynlighetsfordelingens entropi

Vi skal nå innføre en ny betegnelse for funksjonen H. Vi skal kalle den for sannsynlighetsfordelingens entropi. Dermed skal vi vende tilbake til vårt opprinnelige problem, nemlig problemet om å finne den sannsynlighetsfordeling som på best mulig måte representerer vår partielle informasjon. Det er klart at vi i grunnen bare har én vei å gå, vi må søke å bestemme den fordeling som har maksimal usikkerhet, maksimal entropi med andre ord, under hensyntagen til all den informasjon som foreligger. Vi er likesom på den trygge siden når vi gjør usikkerheten så stor som mulig innenfor rammen av den gitte informasjon. Dette er det eneste «unbiased» valg av fordeling vi kan gjøre, alle andre valg ville måtte bero på vilkårlige antagelser om informasjon som vi forutsetningsvis ikke har. Vi skal altså maksimalisere (4) under bibehold av betingelsene (1) og (2). Dette gjøres ved å innføre Lagrangeske multiplikatorer λ, μ og løse variasjonsproblemet på vanlig måte. Resultatet er

$$p_i = e^{-\lambda - \mu f(x_i)} \tag{10}$$

Konstantene λ, μ bestemmes ved å sette inn i (1) og (2). Fra (2) finner vi

$$\lambda = \log Z(\mu), \tag{11}$$

hvor

$$Z(\mu) = \sum_i e^{-\mu f(x_i)} \tag{12}$$

Da blir

$$p_i = (1/Z) e^{-\mu f(x_i)} \tag{13}$$

Fra (1) har vi

$$\langle f(x) \rangle = \frac{1}{Z} \sum_i f(x_i) e^{-\mu f(x_i)}$$

$$\langle f(x) \rangle = -\frac{\partial}{\partial \mu} \log Z(\mu) \tag{14}$$

Z(μ) kaller vi partisjonsfunksjonen.
For entropien S = H finner vi

$$S_{max} = -K \sum_i p_i \left(-\log Z - \mu f(x_i)\right)$$

$$S_{max} = K(\log Z + \mu \langle f(x) \rangle) \tag{15}$$

Disse resultater kan lett generaliseres til et vilkårlig antall funksjoner $f_r(x)$, r = 1,2,....,m.

I tillegg til avhengigheten av x kan funksjonen f(x) også avhenge av visse parametre $\alpha_1, \alpha_2, \ldots$. Forventningsverdiene av de deriverte med hensyn på disse parametre blir

$$\left\langle \frac{\partial f}{\partial \alpha_k} \right\rangle = \sum_i p \frac{\partial f(x_i|\alpha_k)}{\partial \alpha_k}$$

$$= \frac{1}{Z} \sum_i \frac{\partial f}{\partial \alpha_k} e^{-\mu f(x_i|\alpha_k)}$$

$$\left\langle \frac{\partial f}{\partial \alpha_k} \right\rangle = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial \alpha_k} \log Z \tag{16}$$

Som tidligere nevnt får man entropien i bits ved å sette K = 1 og velge logaritmer med basis 2.

Anvendelse på fysiske systemer

Vi vil til slutt anvende våre resultater på et generelt, makroskopisk *fysisk* system av endelig utstrekning. Systemets energitilstander er da prinsipielt diskrete, men nivåtettheten er uhyre stor. Symbolet x står nå for et sett kvantetall som tilsammen gir en fullstendig definisjon av systemets tilstand. Vi kan betegne et bestemt sett verdier av dette settet av kvantetall med x_i, eller kort og godt bare med indekset i. Systemets energinivåer betegnes med

$$E_i(\alpha_1, \alpha_2, \ldots),$$

hvor de såkalte ytre parametre α_k står for slike størrelser som volum, gitte ytre elektriske eller magnetiske felter, gravitasjonspotensial, deformasjonstensor, etc. La oss nå si at den eneste informasjon vi har om systemet er kjennskap til dets midlere energi $<E>$. Svarende hertil, og til gitte verdier av de ytre parametre, kan systemet befinne seg i en eller annen av et stort antall forskjellige kvantetilstander eller mikrotilstander som vi gjerne sier. Den sannsynlighetsfordeling som er assosiert med disse mikrotilstander, og som svarer til maksimal entropi, er da ved hjelp av (13) gitt ved

$$P_i = (1/Z)e^{-\mu E_i} \tag{17}$$

Dette er jo nettopp den Boltzmannske fordeling eller kanoniske fordeling som den også kalles. La oss sette K = k og velge naturlige logaritmer. Dessuten definerer vi en ny konstant T gitt ved

$$\mu = 1/kT \tag{18}$$

Dette gir oss følgende formler

$$p_i = (1/Z)e^{-E_i/kT} \tag{19}$$

$$Z = \sum_i e^{-E_i/kT} \tag{20}$$

$$U = <E> = kT^2 \frac{\partial}{\partial T} \ln Z \tag{21}$$

$$S = k \ln Z + (1/T)U \tag{22}$$

$$U - TS = -kT \ln Z = F(T, \alpha_1, \alpha_2, \ldots) \tag{23}$$

$$S = k \ln Z + kT \frac{\partial}{\partial T} \ln Z = \frac{\partial}{\partial T}(kT \ln Z)$$

$$S = -\frac{\partial F}{\partial T} = -k \sum_i p_i \ln p_i \tag{24}$$

$$\beta_k = -<\frac{\partial E}{\partial \alpha_k}> = kT \frac{\partial}{\partial \alpha_k} \ln Z \tag{25}$$

Vi har utledet her den statistiske mekanikks vanlige regler på grunnlag av en helt generell informasjonsteori *som selv ikke er fysikk*. Den termodynamiske entropi er identisk med den informasjonsteoretiske entropi bortsett fra konstanten K, som for fysiske systemer må velges lik Boltzmann's konstant. De såkalte «generaliserte krefter» β_k er slike størrelser som trykk, spenningstensor, elektriske eller magnetiske momenter etc. For eksempel er trykket p definert ved

$$p = kT \frac{\partial}{\partial V} \ln Z$$

For en ideell *klassisk* gass for eksempel ser man lett at volumet inngår i Z *bare* ved en faktor V^N, hvor N er antall molekyler i gassen. Da blir

$$p = kT \frac{\partial}{\partial V}(N \ln V) = NkT/V$$

og

$$pV = NkT$$

Entropi er et informasjonsbegrep

Jeg vil avslutte med følgende konklusjon i form av en kort oppsummering av hva jeg har sagt: Begrepet entropi er et begrep av helt generell statistisk eller informasjonsteoretisk art. Det er altså prinsipielt ikke et fysisk begrep, men det ble lenge ansett for å være det. Det var jo innen fysikkens varmeteori det først dukket opp. En spesiell anvendelse av det generelle entropibegrep har vi i den såkalte statistiske mekanikk, hvor det danner et naturlig utgangspunkt. Det essensielle faktum er at det finnes én, *og bare én,* sannsynlighetsfordeling som maksimaliserer entropien og som derfor er den bredest mulige fordeling innen rammen av den gitte, partielle informasjon. Dette faktum i seg selv berettiger bruken av denne fordeling til videre statistisk prediksjon. Den statistiske mekanikk kan bygges opp utelukkende på dette grunnlag *uten* å trekke inn fysiske tilleggshypoteser av en eller annen art, som for eksempel hypotesen om like a priori sannsynligheter, eller metrisk transitivitet eller ergodisitet. Den statistiske mekanikks eneste kontakt med fysikken og dens lover ligger i det faktum at disse lover definerer de forskjellige mulige, gjensidig eksklusive mikrotilstander som systemet kan befinne seg i. Men dette er da en oppgave som atomfysikken, kjernefysikken eller elementærpartikkelfysikken må løse.

Litteraturhenvisninger.

1) Jaynes E. T., Phys. Rev. *106,* 620 (1957).
2) Shannon C. E., Bell System Tech. J. *27,* 379, 623 (1948).
3) Shannon C. E., Weaver W., The Mathematical Theory of Communication, Univ. of Illinois, Urbana (1949).

Nøytronvåpen

*G. Barstad**

1. Fundamentale betraktninger.

I forbindelse med de mindre kjernevåpens eksplosjonsstyrke brukes energienheten kilotonn (kt) TNT. Dette tilsvarer utviklet eksplosjonsenergi for tusen tonn trinitro-toluen, som forkortes TNT. Det er kjent at den totale energiutvikling for nøytronvåpen er relativt liten målt i kilotonn.

Kjernebomber av denne størrelse er normalt basert på fisjonsprosesser. Nøytronstrålingen fra et nøytronvåpen må antagelig være basert på fusjonsprosesser. Disse kan vanskelig startes uten av fisjonseksplosjon. Et problem har sikkert vært å skaffe en effektiv kopling til fusjonsmaterialet, slik at fusjonsprosessene kan utvikles.

De store fusjonseksplosjoner blir vel uten unntak tent av en fisjonseksplosjon. Denne skaffer høy nok temperatur og trykk til at termo-nukleære fusjoner kan finne sted i fusjonsladningen. Dette betyr at kjernenes kinetiske varmeenergi er stor nok til å skaffe fusjon ved sammenstøt. Det har vært antatt at dette vanskelig kan gjøres effektivt i små våpen. Men problemstillingen ved nøytronvåpen er naturligvis å produsere nøytroner ved fusjon, ikke energi.

Ved små våpen må tritium og deuterium forekomme i kjemiske forbindelser som tritider og deuterider. Det er flere faktorer som kommer inn ved valg av disse forbindelsene. Den hovedsakelige fusjonsprosess ved nøytronvåpen er reaksjonen:

$$ {}^{3}_{1}T + {}^{2}_{1}D = {}^{4}_{2}He + n + 17{,}6\ MeV $$

Nøytronene skulle da primært få en energi på rundt 14 MeV. Nøytronene kan tape energi i selve våpenet under eksplosjonsprosessene ved elastiske og inelastiske kollisjoner med atomkjerner, og kan absorberes eller tape energi ved forskjellige kjernereaksjoner. Samtidig dannes også gammastråler som kan trenge ut fra våpenet. I noen fusjonsvåpen kan tap av nøytronenergi og nøytroner være betydelige i våpenmaterialet. Nøytronvåpnene må være konstruert slik at de nøytronene som dannes under eksplosjonsprosessene slipper ut fra eksplosjonen med et tap av energi som gjennomsnittlig er betydelig mindre enn i andre fusjonsvåpen. Dette vil for eksempel være tilfelle om fusjonsladningen ligger i et skall utenpå fisjonsladningen.

Ved de høye temperaturer og trykk som opptrer når fusjonsprosessene er maksimale og fusjonsmaterialet er komprimert, må nøytronenes midlere fri veilengde i omgivende våpenmateriale være lang i relasjon til de geometriske forhold under eksplosjonsprosessene. Derved skulle mulighetene for å få ut nøytroner med høyest mulig energi bli maksimalisert. Dette kan føre til en begrensning av den geometriske størrelsen og totale masse til våpnene.

For å redusere fisjonsandelen av eksplosjonsprosessene, må som nevnt engergioverføring fra fisjons- til fusjonsprosess være effektiv, og den fisjonsutvikling som man får på grunn av fusjonsprosessens nøytroner kan være redusert. Nøytronene vil i mindre grad delta i utviklingen av ildkule og dermed sjokkbølge og varmestråling, fordi de forlater våpenet før ildkulen er utviklet.

Primært vil 80 % av tritium-deuterium reaksjonens energi gå til nøytronene. Dette betyr at mindre enn 80 % av den totale eksplosjonsenergi vil være knyttet til nøytronstråling. En del av fusjonsnøytronenes primærenergi må jo nødvendigvis avgis til ildkulen ved interaksjoner med våpenmaterialet. Og meget av energiutviklingen i våpenet må være fisjonsenergi. Og bare en brøkdel av denne vil unnslippe ildkulen i form av initial kjernestråling.

Primært blir det dannet ca. 10 ganger så mange nøytroner ved fusjonsprosessen pr. utløst energienhet som ved fisjonsprosessen. Mens den gjennomsnittlige energi til fisjonsnøytronene som unnslipper ildkulen er <1 MeV, kan som nevnt fusjonsnøytronene som unnslipper ha langt større energi, opptil 14 MeV.

Det er flere faktorer som har betydning for utviklingen av eksplosjonsprosessene. Disse faktorer kan komme inn i forskjellig grad etter hvorledes konstruksjonen er, og hvordan tenning av prosessene er utført. Det er derfor ikke bare spørsmål om ett nøytronvåpen, men en rekke forskjellige våpen.

Ved en bestemt total eksplosjonsstyrke, f.eks. 1 kt, vil det ved disse våpen være mulighet for forskjellige fordelinger mellom kjernestråling, sjokkbølge og termisk stråling av den totale energi, avhengig av våpenkonstruksjon og eksplosjonsprosessenes forløp.

2 Fordeling av energi på forskjellige virkninger.

Vi skal ta for oss en artikkel i «Scientific American». Fremstillingen synes å være bygget på antagelser og overslagsberegninger, men den kan gi en antydning av problemene.

Ifølge artikkelen har USA's nøytronvåpen med «Lance»-missilet som våpenbærer mulighet for to

*) Forsvarets Forskningsinstitutt, Kjeller.

forskjellige eksplosjonsutviklinger. Den første gir en eksplosjonsstyrke på betydelig mindre enn et kilotonn, mens den andre fører til noe over et kilotonn. Dette kan på enkel måte innstilles på forhånd. Nøytron krigshodet til en åtte-tommers granat vil ha tre mulige eksplosjonsstyrker, fra betydelig mindre enn et kilotonn opp til omkring to kilotonn.

I samme artikkel blir også forholdet mellom frigjort fisjons- og fusjonsenergi ved de forskjellige eksplosjonsprosesser diskutert. Videre tar artikkelen opp energifordelingen mellom sjokkbølger, termisk stråling, initial kjernestråling og rest kjernestråling (radioaktiv stråling fra fisjonsprodukter og annet «aktivt» materiale). Forholdet mellom fisjons- og fusjonsenergi er for «sub»-kilotonn og én kilotonn total energiutvikling angitt til 50/50(%) for krigshodet til åtte-tommers granater. For høyeste energiutvikling ved krigshodet til Lance-missilet er det angitt rundt 60% fusjon og 40% fisjon. For to-kilotonns total energiutvikling ved åtte-tommers granater er angitt mellom 70% og 75% fusjonsenergi.

Dette er de primære energiutviklinger. I løpet av eksplosjonsutviklingen overføres energien på de forskjellige virkninger av eksplosjonen. Det angis i nevnte artikkel at i Lance og de lavere energitrinn til åtte-tommers granaten vil energien være delt med tilnærmet 40% på sjokkbølgen, 25% på termisk stråling, 30% på nøytron- og gammastråling og 5% på reststråling. For to kilotonns energiutvikling ved åtte-tommers granaten produseres det rundt 10% mer nøytron- og gammastråling og tilsvarende mindre av de andre energiformer.

Med slike energifordelinger er disse våpen ikke rene strålingsvåpen. Sjokkbølgeenergien vil for eksempel være betydelig, og vil kunne føre til sjokkskader ut til flere hundre meter, avhengig av målets karakter, av eksplosjonshøyde og bombestyrke. Sjokkbølgen kan også virke dødelig på lite beskyttede mennesker.

Lys og varmestråling er også kraftig, men disse virkninger er det lettere å beskytte seg mot.

Da de forskjellige virkninger svekkes og forandres etter forskjellige fysikalske lover med avstanden og eksplosjonshøyde, kan eksplosjonsbetingelsene velges av angriperen, slik at sjokkbølgeeffekten reduseres uten en tilsvarende reduksjon av strålingseffekten mot mål på bakken.

3 Nøytron- og gammastrålings gang i fri atmosfære

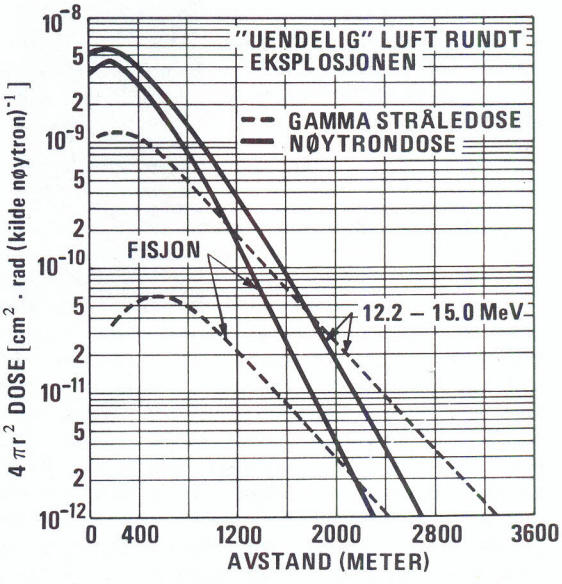
Strålingen brer seg ut fra eksplosjonen gjennom omgivende medier (luft, vann, jordoverflate etc.). Strålingen blir da påvirket og forandret ved såkalte «interaksjoner» av forskjellige karakter. Den vil derved tape energi, forandre karakter, absorberes og indusere ny radioaktivitet. Denne mangfoldighet av prosesser antas kjent, og bare de viktigste problemer i forbindelse med denne stråling skal omtales.

Ved såkalte «uendelig luft»-eksplosjoner er jordoverflaten så langt borte at den praktisk talt ingen innflytelse har på kjernestrålingen. Under slike forhold er det gjort beregninger og simuleringseksperimenter som er åpent tilgjengelig. Når eksplosjonen foregår nærmere en jordoverflate, blir beregningene meget kompliserte. Høyden over bakken, grunnens form (topografien i videste forstand) og kjemisk sammensetning vil virke inn på strålingens gang. De fleste beregninger og eksperimenter er blitt utført med nærmest plan overflate og en slags midlere sammensetning av stoff i grunnen.

En del viktige data fra «uendelig atmosfære»-eksplosjoner kan nevnes. En antar da kjent fordeling av utgangsenergier fra eksplosjonene for «kilde»-nøytroner og gammakvanter. Nøytronene vil sannsynligvis alltid være spredt over vide energispektra når de trenger ut fra våpnene. Nøytronvåpnenes strålingsspektra er ikke publisert.

En kvalitativ vurdering av nøytronstråling og sekundær gammastråling fra henholdsvis nøytronvåpen og fisjonsvåpen kan en få ved å sammenligne 14 MeV fusjonsnøytroner og deres sekundære gammastråling med tilsvarende for fisjonsnøytroner (<1 MeV).

Fremgangsmåten er i prinsipp enkel. Man inndeler strålingen i energi-intervaller fra kilden (eksplosjonen) og følger nøytronene etter hvert som de ved interaksjoner med atomkjerner mister energi og kommer inn i lavere energi-intervaller. Samtidig dannes sekundær gammastråling som også beregnes.



Figur 1 *Nøytron- og sekundær gammastråledoser fra fisjon og 12,2-15 MeV nøytronkilder i «uendelig» luft*
(Fra Straker). (Her er ikke tatt med initialstråling fra fisjonsprodukter)

Hvis man for et gitt våpen kjenner energispektrene fra kilden (eksplosjonen), kan strålingsdoser i forskjellige avstander angis ved å addere de forskjellige strålingsgrupper. Dette er relativt enkelt ved den «uendelige atmosfære».

På figur 1 er angitt beregnede doser pr. kildenøytron for 12,2-15 MeV nøytroner og for midlere «kilde»-fisjonsnøytroner for «uendelig atmosfære». Vi ser at de første gir større doser enn fisjonsnøytroner på alle avstander. Dette gjelder i ennå større grad for den sekundære gammastrålingen. I 200 meters avstand er den 30 ganger, og i 800 meters avstand ca. 10 ganger større. Denne høyere gammastråling skyldes at inelastisk spredning av nøytroner med dannelse av sekundær gammstråling foregår med langt større sannsynlighet for 12,2-15 MeV nøytroner enn for fisjonsnøytroner.

Det må presiseres at det på figuren bare er tatt med sekundær gammastråling som skyldes nøytronstråling, ikke fisjonsgammastråling og fisjonsproduktgammastråling.

4 Nøytron- og gammastråling nær bakken.

Hvis det i uendelig-atmosfære-modellen innføres en horisontal bakke, vil den totale nøytrondose ved bakken bli forhøyet innenfor visse grenseavstander og redusert utenfor. Jo nærmere bakken eksplosjonen foregår, jo mer vil strålingsdosen øke. Men arealet som utsettes for større bestråling er mindre for lave eksplosjoner.

For en virkelig eksplosjon kommer en rekke andre faktorer inn og kompliserer resultatet. Nøytronenes livshistorie påvirkes for eksempel av terrengformasjoner, grunnens sammensetning, særlig fuktighetsinnhold, snø og bebyggelse. Dette vil gjøre angivelse av strålingsdoser fra gitte våpen svært vanskelig, selv når utstrålingen fra våpenet er kjent.

Ved lav lufteksplosjon over bebyggelse vil den avskjerming som bygninger gir, føre til betydelig reduksjon av strålingen bak disse. Dette må særlig gjelde nøytronvåpen med energirik nøytronstråling. Man bør være oppmerksom på at det aller meste av nøytronstrålingen når fram før sjokkbølgene har ført til forandringer av terreng, bygninger etc. Derfor kan bygninger virke som strålingsskjermer, selv om de noen øyeblikk etter styrter sammen når sjokkbølgen setter inn.

5 Nedtrapping av sjokkvirkninger på bakken

Det må som nevnt antas at en betydelig del av energien også ved nøytronvåpeneksplosjoner vil opptre som sjokkbølge og termisk stråling. Dette er et resultat av ildkuleutviklingen. Med den del av den initiale kjernestråling som unnslipper ildkulen, har bare i mindre grad tatt del i ildkulens utvikling.

Vi skal se litt nærmere på sjokk. Når en sjokkbølge treffer jordoverflaten, vil den reflekteres. Den reflekterte og den direkte sjokkbølge vil danne et sjokkmønster over bakken. Utenfor en viss avstand, avhengig av eksplosjonshøyde, eksplosjonsenergi og lokale forhold, er direkte og reflektert sjokkbølge smeltet sammen til en bølge med tilsvarende større energi, den såkalte «Mach»-front.

«Det dynamiske trykk» fører til en egen type skader. Egentlig er det snakk om blåst. Begrepet er definert som den kinetiske energi pr. volumenhet bak sjokkfronten. Den horisontale komponent av dette «trykket» er spesielt ødeleggende for mange bygninger, og det kan føre til livsfarlige skader på mennesker. Ved lav eksplosjonshøyde kan den horisontale komponent av det dynamiske trykk medvirke betydelig til økede skadegrenser.

For å få litt tall å holde oss til, skal vi som eksempel ta for oss et nøytronvåpen med en ildkuleenergi på 1 kt eksplodert i 100 meters høyde. Her vil en «Mach»-front utvikle seg i en avstand rundt et par hundre meter fra eksplosjonssenteret. Sjokkbølgevirkningen er betydelig. La oss i det etterfølgende holde oss til «The Effects of Nuclear Weapons». Den angir at en bygning av meget kraftig armert betong skades i 200 meters avstand. Videre finner en ut at en trebygning av vanlig konstruksjon skades i 700-900 meters avstand.

Selv om dette er omtrentlige verdier, er det klart at typisk norsk bebyggelse ville skades alvorlig ut til avstander på flere hundre meter (varierende med bygningenes standard).

Økes eksplosjonshøyden for dette våpen, vil sjokkskadeavstandene først øke noe. Deretter avtar de raskt ved videre høydeøkning.

For en eksplosjonshøyde på tusen meter kan den maksimale trykkøkning ved nullpunktet (d.v.s. på jordoverflaten rett under eksplosjonssenteret) bli et par tiendedels bar (atmosfærer). Den horisontale komponent av det dynamiske trykk blir ubetydelig. Innfallende og reflektert sjokkfront vil først etter ca. 4 km smelte sammen til en «Mach»-front, og da av liten styrke.

Ved jordoverflaten vil overtrykket i sjokkbølgen i 1200 meters avstand fra nullpunktet være ca. 0,1 bar. Alle disse data er omtrentlige, og lokale forhold kan føre til variasjoner. Men virkningene av denne sjokkbølgen er ikke store. Det er sannsynlig at de fleste noenlunde solide bygninger bare blir utsatt for mindre skader. Vinduer, dører, lettvegger og svakere partier ødelegges.

En nøytronbombe som eksploderer i 1000 m høyde vil gi en termisk strålingsdose på en horisontal flate ved nullpunktet på ca. 3 cal/cm^2 ved klar atmosfære. Sjokkbølger som kommer et par sekunder etter, vil ha en mulighet til å slukke begynnende branner. Ellers vil det være spørsmål om hvilke brannhindrende tiltak som er utført og som kan bli iverksatt.

6 Eksplosjonshøydeavhengighet av nøytron- og gammabestråling.

Det har vært angitt at kjernestrålingen fra 1 kt nøytronvåpen tilsvarer strålingen fra et 10 kt fisjonsvåpen. Men strålingens karakter for fisjonsvåpenet vil avvike betydelig fra nøytronvåpenets. Om strålingsdosene er de samme i *en* avstand, vil de sannsynligvis være forskjellige i andre avstander. Dessuten er ikke strålingen fra et 10 kt fisjonsvåpen entydig fastlagt. «The Effects of Nuclear Weapons» gir et intervall for nøytrondoser og sekundær gammastråledoser fra fisjonsvåpen i relasjon til skråavstandene til eksplosjonssentrene, normalisert til 1 kt. På hver figur ligger doseverdiene for øverst kurve - varierende med avstanden - en faktor tre til ti over doseverdiene for nederste kurve. Det er videre sagt at de to kurver ikke nødvendigvis angir ekstremverdier for fisjonsvåpens nøytronstråling. Nøytronstrålingen fra ti-kilotonns fisjonsvåpen vil variere betydelig med våpentype og eksplosjonsutvikling.

Med de forbehold som er nevnt, vil små nøytronvåpen eksplodert i tusen meters høyde ha en ubetydelig sjokkbølgeeffekt mot bebyggelse, men samtidig gi dødelige strålingsdoser til ubeskyttede mennesker ut til avstander på tusen meter fra nullpunktet. Dette er avstander som får betydelig økning av strålingsdoser i forhold til «uendelig» atmosfære-eksplosjoner i samme avstander. De nevnte resultater for høyde og avstand er i overensstemmelse med Cohens tall.

7 Den militære problemstilling.

Militært kan det være av interesse å oppnå meget høye doser. Med 1000 m eksplosjonshøyde vil dosen øke betydelig når man nærmer seg nullpunktet - opptil flere tusen rad. Ved avtagende eksplosjonshøyde vil dosene også øke, men samtidig vil sjokkbølgeeffektene øke, om enn i mindre grad i begynnelsen. Økningen vil bli særlig stor nærmere nullpunktet. Det blir derved en mulighet å velge strålingsvirkningene og sjokkbølgevirkningene slik at de passer inn i angrepets rammebetingelser.

Det er bruk av nøytronbomben mot panservogner som har vært fremhevet å være av taktisk stor interesse. I en vogn som skal kunne bevege seg, er det nærmest umulig å gi personellet en rimelig beskyttelse mot stråling. Skjermingsmulighetene for soldater ellers under angrep er også liten.

8 Stråling fra minivåpen.

Også små fisjonsvåpen, opptil 10-20 kt, vil hovedsakelig virke ved sin kjernestråling mot mål som er godt beskyttet mot sjokkbølger, f.eks. panservogner. Den nevnte nedtrapping av sjokkbølgevirkningen vil ved fisjonsvåpen særlig gjelde «sub»-kilotonns våpen. F.eks. vil et 0,1 kt våpen av lite kaliber gi en relativt svak sjokkbølge, men store strålingsdoser innenfor kortere avstander.

Disse små fisjonsstrålingsvåpen synes det å være enklere å fremstille enn fusjonsbaserte nøytronvåpen. På grunn av lignende virkning har de sikkert vært oppfattet som alternativ til nøytronvåpen.

Litteratur

Glasstone, S - The Effects of Nuclear Weapons (1977).

Straker, E. A. - Status of neutron transport in the atmosphere (1970).

Kaplan, F. M. - Enhanced radiation weapons, Scientific American, No 5 (1978).

Cohen, S. T. - Enhanced radiation weapon, Strategic Review, Vol VI, No 1 (1978).

Bøker

Astronomiens nye gullalder.

Truls Ringnes: Klassisk og moderne astronomi. Aschehoug, 1978.

Vårt århundre har vært vitne til en omfattende revolusjon innenfor fysikken. Relativitetsteori og moderne atomfysikk har gitt oss en ny metode til å løse fysiske problemer. For astronomien har denne fysikk-revolusjonen fått en omfattende betydning. Nettopp i stjernenes indre rår de ekstreme forhold der relativitetsteori og kvante-mekanikk blir uunnværlige hjelpemidler for å oppnå forståelse av hva som foregår. I dag behøver derfor astronomene ikke lenger nøye seg med å iaktta det som skjer på himmelhvelvingen, men tar til å forklare hvorfor de ser nettopp det de ser.

Universitetslektor Truls S. Ringnes ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo har tatt konsekvensen av dette og har nå utvidet og omarbeidet verket: «Matematisk Geografi». Resultatet er blitt en meget tiltalende bok som bør bli uunnværlig for enhver adstronomi-interessert i vårt land. Riktignok er boka lagt opp som ei lærebok for den videregående skolen, men stoff-valget er så variert og omfattende at jeg tror at mange flere enn astronomi-lærere og gymnas-elever vil skaffe seg dette vakre læreverket.

Boka favner over nær sagt alle grener av astronomien like fra klassisk observasjonsastronomi til moderne kosmologi. Hovedvekten av stoffet er lagt på å gi leseren en fysisk forståelse av det univers vi lever i. Særlig gledelig er at bilde-materialet er meget rikt. Her finnes både de nyeste bilder fra planetene Mars og Venus og de klassiske bildene av merkelige stjerner og tåker. En må beklage at fargebilder ville gjort prisen uoverkommelig.

Figurene som forklarer stoffet er mange og er også meget klare, og de letter derfor tilegnelsen av stoffet vesentlig. Det bør nevnes at en mengde bilder av kultur-historisk interesse har funnet plass i boka. Et artig innslag er en del tegneserie-bilder med underfundig og humørfylt innhold. Tabeller og stjernekart finnes selvsagt også, og dertil en god veiviser til å bli kjent på stjernehimmelen.

Noen vil muligens savne et avsnitt om oppbygging av forskjellige typer teleskoper, både de teleskoper fagastronomene benytter seg av og kikkerter for amatørastronomen. Disse blir da å henvise til lærebøker i moderne optikk.

Jeg tror denne boka for lang tid framover vil bli stående som selve det norske standardverket i astronomi. Selv har jeg bare hatt positive erfaringer med bruken av bokas forgjenger i den videregående skole. Med den nye boka vil sikkert astronomi-timene bli meget givende og fornøyelige både for lærer og elev. Det er derfor å håpe at flest mulig skoler gir sine elever anledning til å lære astronomi. Ellers kommer de til å smuglese denne boka under pulten. Boka til Ringnes er nemlig spennende lesning, og den utvider det nysgjerrige menneskes horisont.

Henning Knutsen

Halo over Oslo-området

N. Gjelsvik)*

Om morgenen den 26. juni 1978 og i flere timer utover formiddagen ble det observert et interessant og vakkert halofenomen over Oslo-området. Et tynt skydekke gjorde at solstrålene ble diffust spredt slik at himmelen var tilnærmet hvit, men sola selv syntes å lyse med normal styrke. Med sola som sentrum ble det sett en lysende hvit ring med radius 22°. Øverst og nederst ble ringen berørt av buestykker som kunne følges et stykke fra ringen. Disse var farget som regnbuen med det røde nærmest sola. Fargene var særlig sterke i krysningspunktene mellom buestykkene og ringen. Interessant var det at disse buene forandret form utover formiddagen. Tidlig på morgenen pekte begge buestykkene nedover, men senere hadde de form som en ellipse som omskrev den sirkelformede ringen og berørte den øverst og nederst.

Gjennom sola parallelt med horisonten gikk en annen hvit ring med omtrent samme bredde som soldiameteren. På denne siste ringen ble det sett 4 sterke bisoler, to hvite i ca. 120° avstand fra sola og to fargede ca. 25° fra sola (Parhelia). Disse siste var røde nærmest sola og med regnbuens farger utover fra sola. Motsatt sola på den horisontale ringen ble det videre sett en svak hvit antisol. Senere på formiddagen ble det sett 2 buer nær horisonten ca. 45° fra sola. Disse var sterkt farget med rødt nærmest sola. Figur 1 viser et fotografi og figur 2 en skisse av fenomenet, med navn på de aktuelle delene. Fenomenet var meget tydelig og vakte en viss oppsikt. For de fleste var det første gang noe slikt var sett, og kun de færreste vil se det igjen, for slike vel utviklede halofenomener er meget sjeldne.

Halofenomenenes årsak

Haloene fremkommer ved bryting og refleksjon av sollys i iskrystaller, der utvikling av krystallene og deres orientering avgjør hvilke fenomener man kan se. Kun velutviklede klare krystaller kan gi haloer. Slike krystaller dannes når vanndamp i luften kondenseres direkte til is. Avhengig av temperatur og grad av overmetning vil det dannes iskrystaller med forskjellige former. Figur 3 gir en oppsummering av hvilke krystaller som dannes under forskjellige forhold. Man ser at krystallene opptrer med hexagonal symmetri, med 120° mellom sideflatene, vinkelen mellom hver annen sideflate er 60°. Det er ved bryting gjennom disse flatene at de fleste halofenomener dannes. (Ingen bryting kan finne sted direkte via 120° vinkelen på grunn av totalrefleksjon). Vinkelen mellom sideflatene og endeflatene er 90°, og ved bryting gjennom disse flatene dannes

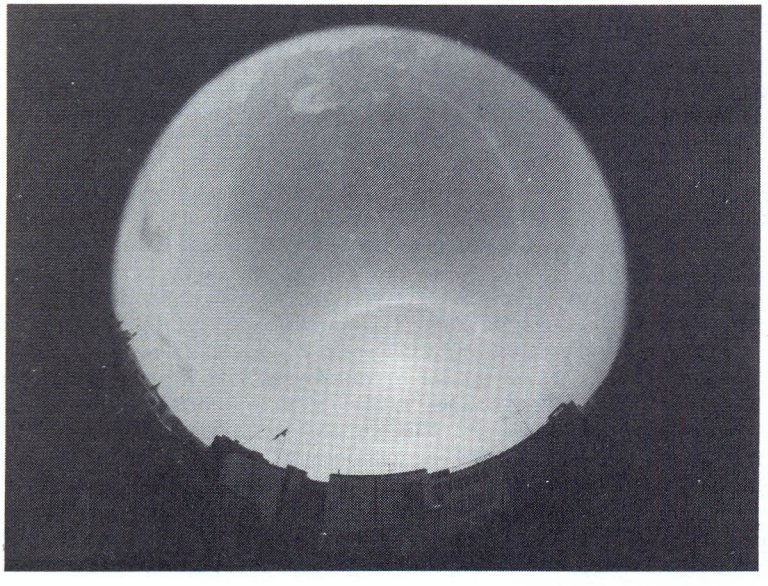
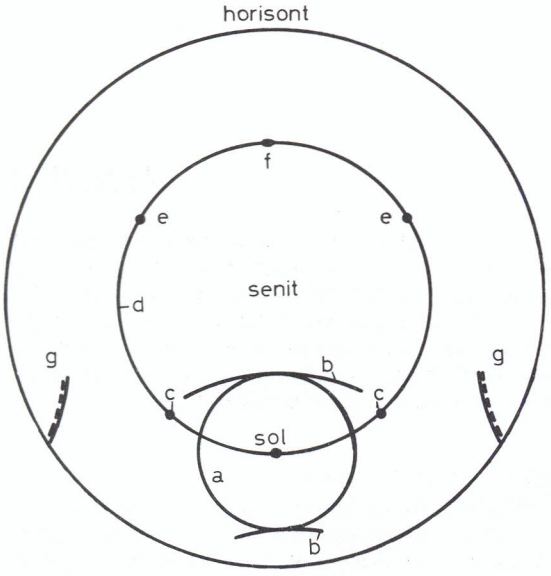


Foto av haloen 26. juni 1978 (foto: Aftenposten)

*) Institutt for atomenergi, Kjeller.



Halokomponentene 26. juni
a) 22-grader ring, b) 22-grader ringens tangerende buer, c) Parhelia, d) horisontal ringen, e) 120-grader bisol, f) motsol, g) 46-grader ringens sidetangerende buer.

andre halofenomener, vanligst er en ring med radius 46° rundt sola. Denne ringen ble imidlertid ikke sett den 26. juni. Begge disse ringene dannes ved lysets gang gjennom iskrystaller med tilfeldig orientering. At det for en observatør da fremkommer en ring, skyldes brytingslovene for et prisme. Når innfallsvinkelen mellom lyset og et prismeflate øker fra null (strålen treffer flaten loddrett), vil deviasjonen (vinkelen mellom inngående og utgående lysstråle) minke inntil man når et minimumavvik, deretter øker avviket igjen. Omkring minimumsverdien vil en relativt stor forandring av innfallsvinkelen bare gi en liten forandring av utgangsvinkelen. Resultatet blir en tilsynelatende konsentrasjon av lys fra bestemte områder av himmelen. Ved strålenes passasje gjennom et prisme i hovedstilling vil vilkåret for minimumdeviasjonen, D, være gitt av følgende ligning:

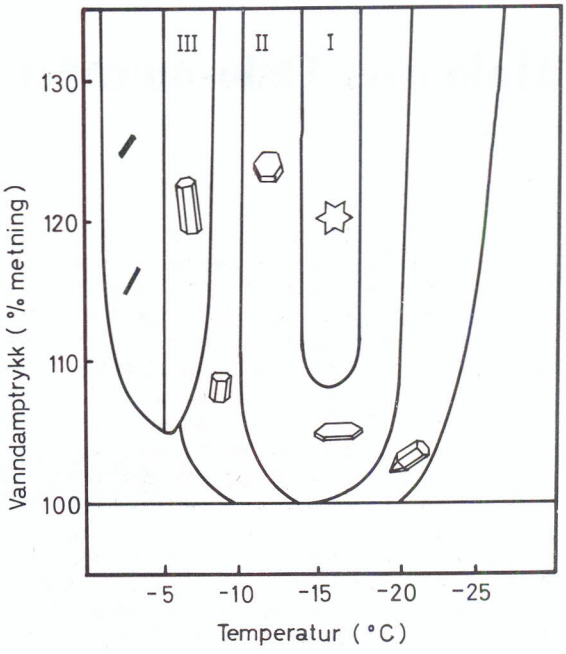
$$\text{Sin}\ \frac{D + A}{2} = n\ \sin\frac{A}{2}$$

der A er prismets brytende kant, 60° i vårt tilfelle, og n er brytingsindeksen for is, 1,307 for rødt lys og 1,317 for blått. Dette gir følgende verdier for en iskrystall:

Vinkel mellom brytende flate	*Minimumdeviasjon for rødt lys*	*blått lys*
60°	21°34'	22°22'
90°	45°10'	47°16'

22° ring rundt sola.

En iskrystall i retning 22° fra linjen sola - observatør vil derfor sende sollysets røde komponent



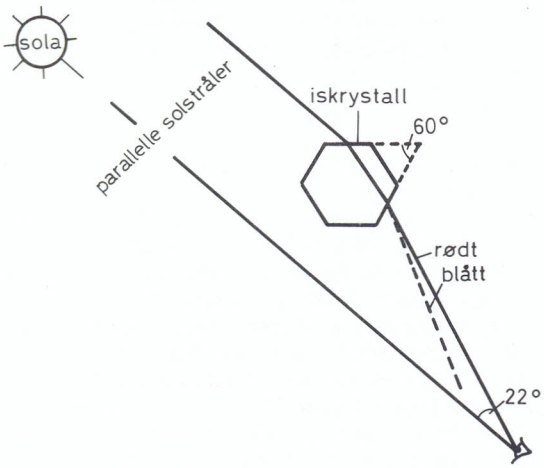
Krystallformer dannet ved forskjellige temperatur-overmetningsforhold. Sammensatte former kan oppstå ved at krystaller føres ut fra et område til et annet. F.eks. dersom temperaturen rundt nåler i område III minker, kommer man inn i område II, og det kan da dannes en plate på nålens ene endeflate. På grunn av luftmotstanden vil disse synke med nålens lengdeakse lodrett. (Fra ref. 4).

mot observatøren mens den blå delen av spekteret vil brytes mer og vil ikke kunne sees. 22°-ringen er derfor rød på innsiden. Lys fra krystaller utenfor 22°-grensen blandes, og resten av ringen er derfor hvit. Lys fra krystaller innenfor 22°-ringen kan ikke nå observatøren, og denne delen av himmelen vil derfor synes mørkere enn områdene utenfor. Ringen oppstår fordi krystallene har vilkårlig orientering, og det vil derfor alltid være krystaller som oppfyller kravet om minimumsdeviasjon i alle retninger rundt aksen observatør - sol. Dette er vist i figur 3.

Buefenomener.

De tangerende buene til 22°-ringen dannes ved bryting gjennom 60° prismet i lange nåler. Disse vil sveve horisontalt, men er ellers vilkårlig orientert. Strålegangen gjennom prismet gir minimumsdeviasjon i retninger som er avhengig av solhøyden. Figur 4 viser forandringene man får etter hvert som sola stiger høyere. Slike forandringer ble også sett den 26. juni. 46°-ringens tangerende buer dannes ved bryting gjennom 90° kanten mellom nålens sideflater og endeflate.

Parhelia dannes også ved bryting i 60° prismet, men nå står den brytende kanten vertikalt. Slik orientering fås vanligvis av plater som svever horison-



Strålegangen i iskrystaller som gir 22-grader ringen.

talt på samme måte som et løvblad. Andre krystallformer f.eks. kombinasjonen av plater og nåler vil også gi disse bisolene. Når sola står i horisonten, faller parhelia sammen med 22°-ringen. Ved økende solhøyde øker deviasjonen og parhelia vil sees å fjerne seg fra 22°-ringen. Dette er også illustrert i figur 4. Parhelia er farget med rødt nærmest sola av samme grunn som 22°-ringen. Ofte er disse fargene klare og ligner da en kort regnbue. De opptrer ofte i frostdis med opp- eller nedgående sol og blir derfor lett lagt merke til fordi de da opptrer nær horisonten hvor man vanligvis lar blikket hvile.

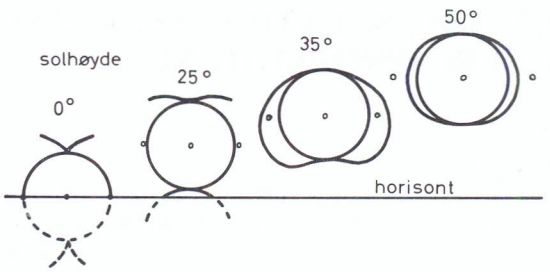
Den hvite, horisontale ringen.

I motsetning til de beskrevne fenomen som skyldes intern bryting, oppstår *den horisontale ringen* ved ekstern refleksjon på vertikale flater. Når sollyset reflekteres i en slik fase, vil dets vertikale retning ikke forandres mens den horisontale retning avhenger av krystallens orientering. Derfor vil bare refleksjonen fra de krystaller som tilsynelatende har samme høyde over horisonten som sola kunne ses. Resultatet blir en ring rundt horisonten med samme bredde som sola.

For *bisolene 120° fra sola og motsola* gis det to forklaringer. Man antar at man har dobbelrefleksjon i isnåler som er koblet sammen 3 og 3 (bisola) og 4 og 4 (motsola). Nålene står da med spissene mot hverandre og danner kors. En annen forklaring antar to indre totalrefleksjoner i krystallene og bryting mellom naboflater som står 120° mot hverandre. Begge forklaringer krever spesielt gunstige forhold for utvikling av spesielle eller perfekte isformer. Disse motsolene er da også meget sjeldne.

Andre halofenomener.

Enkle halofenomener som ringen rundt sola og



22-grader ringen, dens øvre og nedre tangerende buer samt Parhelias relative posisjoner ved ulike solhøyder. (Fra ref. 3).

særlig de to fargede bisolene er ganske vanlige, men sammensatte haloer som den observerte rapporteres bare sjeldent. Fra Norge er det kjent bare noen få, den tidligste er fra 1826. Ofte opptrer haloene over et relativt begrenset område, men 31. mars 1935 kunne det sees over hele det sørlige Norge, en halo som lignet svært på den som opptrådte 26. juni 1978. 1. april 1947 så professor E. A. Hylleraas en halo over Engerdal som også er rapportert i Fra Fysikkens Verden. Her var 46°-ringen også godt utviklet.

I tillegg til de beskrevne halokomponentene, vil det kunne dannes en rekke andre. Vanligvis vil bare noen få av disse sees hver gang, og enkelte er bare sett noen få ganger. For enkelte komponenters vedkommende har man ennå ingen god fysisk forklaring på hvordan de dannes. Dette skyldes delvis mangel på eksakte observasjoner. Foto av velutviklede halos vil derfor alltid være verdifulle bidrag for en komplett forklaring av alle de fenomener som kan oppstå.

Litteraturliste:

1. T. Gaarder, «Halofenomener», Naturen, 372 (1935).
2. E. A. Hylleraas, «En meget vakker halo i Engerdal den 1. april 1947», Fra Fysikkens Verden, 28 (1947).
3. G. H. Liljequist, Meteorologi, 253-263 (1971).
4. D. K. Lynch, «Atmospheric Haloes», Sci. Am., 144 (April 1978).

Bøker

Christian Callin og Tor Ragnar Gerholm: Historisk fysikk. Bokmål. Ascheoug 1976. 114 s. Pris kr. 24,00.

Naturvitenskapens historie har vært et forsømt fag i Skandinavia i motsetning til de fleste andre land i Europa og USA. Så vidt jeg vet eksisterer det enda ikke noen overordnet stilling i History of Science i Norden. Det har imidlertid skjedd en del gledelige ting i de senere år . I 1975 satte NAVF ned en komite for vitenskapsteori. Det er meningen at komiteen også skal arbeide med vitenskapens historie. Og bøker som f.eks. La Cour og Appel: Historisk Fysik, Gerholm: Från naturfilosofi til modern fysik og Næss: Vitenskapsfilosofi, har gitt folk

(Forts. s. 44)

EN LITEN PÅMINNELSE OM ENERGIPROBLEMENE

Energiforsking

I skolen og i samfunnet ellers er det stor interesse for energi- og økologispørsmål. Statsadministrasjonen har begynt å utarbeide en ny energimelding som skal være ferdig om et års tid. En annen utredning skal ta for seg om og hvordan det offentlige skal ta på seg styring, ansvar og finansiering av energiforsking i Norge. I fjor ble det opprettet et eget departement for olje og energi (OED) og Institutt for atomenergi er blitt lagt under dette departementet. Som en følge av dette er det sannsynlig at instituttet skifter navn til noe i retning av «Institutt for energi- og atomteknikk». I flere år har instituttet utvidet sitt arbeidsområde til å omfatte felt som energiøkonomisering, energisystemer, ukonvensjonelle energikilder, målemetoder i samband med oljeutvinning osv. Mesteparten av forskingen på disse nye feltene foregår likevel ved universitetene, høgskolene og spesielle forskningsinstitutter. Vi kan nevne bølgekraftprosjektene, varmepumper og solhus.

Den store offentlige interessen for energispørsmål startet etter krigen i Midt-Østen i året 1973 og den kraftige stigningen i oljeprisen som fulgte. Siden Vest-Europa og USA og 60- og 70-åra i stigende grad hadde basert seg på billig olje hadde hendingene i 1973 en kraftig virkning på landenes økonomi og folkenes levestandard og sysselsetting. Vi er ennå midt oppe i de økonomiske justeringer som hendingene har tvunget fram, men når begivenhetene er kommet på avstand, har en lett for å glemme den leksa en lærte den gang.

Når folk snakker om energi- og ressursknapphet har de lett for å snakke generelt om energimangel. Vi må da minne oss sjøl om at det ikke er mangel på energiressurser i verden, det fins store mengder olje, uran, kull og solenergi som menneskene kan utnytte. I forhold til det menneskelige forbruksmønster er likevel de førstnevnte energiressurser av endelig størrelse. Forbruksmønsteret av energi er nemlig framleis kjennetegnet av eksponentiell vekst, særlig gjelder dette forbruket av oljeprodukter. Overfor eksponentiell vekst i forbruket vil alle endelige ressurser i det lange løp ikke strekke til, og for oljen skal vi se at «det lange løp» slett ikke er så langt. Vi skal i det følgende minne om noen enkle formler som er av fundamental betydning for forståelsen av energiproblemene som menneskeheten står overfor.

Eksponentiell vekst.

Når forbruket av olje i verden hvert år øker med en viss prosent P, sier vi at forbruket stiger eksponentielt. Herav følger at vi kan utlede en tidslengde T_2 som fører til en dobling av forbruket. Doblingstida T_2 står i et fast forhold til P, og vi finner tilnærmet (1)

$$T_2 = 70/P \text{ år} \qquad (1)$$

En vekstrate på 5 % fører f.eks. til en dobling av forbruket over en 14-års periode. Vi kan altså illustrere begrepet eksponentiell vekst med doblingstider eller altså multiplikasjon med faktoren 2. Vi husker alle fortellingen om matematikeren som fant opp sjakkspillet og som krevde betaling i form av hvetekorn som skulle plasseres på de 64 feltene i stadig dobbelt antall. På det n-te felt vil det da måtte settes 2^{n-1} hvetekorn og det totale antall korn på alle feltene så langt vil være 2^n-1 (= sum av geometrisk rekke). Med andre ord: På det siste feltet vil det måtte plasseres omtrent like mye korn som summen av de hvetekorn som allerede står på de besatte feltene. På det 64. felt må det plasseres 2^{63} korn. Da blir den totale mengde korn $2^{64}-1$ eller omtrent 500 ganger verdens totale årsproduksjon av hvete i 1976!

Hvis noen har arbeidet med radioaktive stoffer skulle de ha ekstra gode forutsetninger for å fatte eksponentialfunksjonens egenskaper. Halveringstider og doblingstider er jo de samme begreper med motsatt fortegn. Virkningen av å dele eller multiplisere med to noen ganger er overraskende kraftig og forklarer hvorfor aktiviteten i avfall fra kjernekraftverk etter forløpet av noen halveringstider kan avta under faregrensen.

Endelige ressurser.

Når en bakteriekultur formerer seg ved deling skjer dette også etter en eksponential funksjon. La oss nå anta at kulturen formerer seg inne i en flaske av endelig størrelse og anta at doblingstida er ett minutt. Flaskas størrelse er slik at når en bakterie blir brakt inn der klokka elleve, vil flaska være full klokka tolv. Vi kan nå spørre når bakteriene vil merke at de vil få plassproblemer. Tenker vi etter, finner vi at flaska er halvfull klokka ett minutt på tolv, 1/4 full klokka to på tolv, 1/8 full klokka tre på tolv. Fem på tolv vil altså flaska bare være $1/2^5$ full eller 3 % full. Med 97 % av flaska tom vil bare de mest regnekyndige av bakteriene kunne forestille seg at katstrofen bare ligger 5 minutter unna!

Hvis nå bakteriene fikk tilgang til 3 ekstra flasker, hvor mye lenger kunne de da holde det gående? Svaret er enkelt: til 2 minutter etter tolv. Da må veksten ta en brå stans.

Overført til verdens endelige oljeressurser betyr dette at så lenge oljeforbruket stiger hvert år med en fast vekstrate slik at doblingstida er rundt 10-15 år vil det ikke hjelpe stort om en finner noen ekstra oljekilder. En får noen tiårs (doblingstiders) utsettelse på bråstansen i forbruket, men dette er jo kort tid i

Arealet i hvert rektangel viser oljeforbruket i verden med en antatt 7% forbruksvekst hvert år. Forbruket dobles altså på ti år, og oljeforbruket innenfor en tiårsperiode tilsvarer det samlede forbruk i alle foregående år.

forhold til menneskehetens historie og mulige framtid. Mange regner som så at en stadig har funnet nye oljekilder og at en vil fortsette å gjøre det i åra som kommer. Det er bare det at om en er så heldig å finne like mye olje i åra framover som det en totalt har funnet i de 120 åra en har hatt oljeproduksjon, så vil det bare rekke til en doblingsperiode i forbruket i verden. Se figur.

Et liknende bilde kan vi naturligvis lage for de totale kostnader som er knyttet til oljeforbruket i verden. Tar vi hensyn til prisøkningen pr. år, finner vi at divisoren P blir summen av prisøkningen og forbruksøkningen i prosent, og doblingstida for de årlige totale kostnader blir derfor kortere. Vi kan bare ane hva dette vil føre til av ubalanse i verdensøkonomien.

Denne tankegangen må benyttes på alle mulige forhold der en har en fast vekstrate for en størrelse, - så som befolkningsvekst, lønnsøkning, ressursproblemer osv. Disse elementære fakta om eksponentiell vekst må en stadig minne seg sjøl om.

Oljeforbruket i verden

Den oljemengde vi kjenner og venter å finne med nåværende teknologi tilsvarer omtrent 300 Tw år (2). I tillegg kommer den samme mengde gass, altså 300 Tw år. Energiforbrukshastigheten er nå omlag 9 Tw for hele menneskeheten. Med det *nåværende forbruk* vil altså oljeressursene vare i litt over 30 år hvis altså all energi skulle komme fra olje. Veksten i oljeforbruket er likevel 7% p.a. Dette betyr eksponentielle vekst etter formelen.

$$r(t) = r_0 \exp kt \qquad (2)$$

der r_0 er forbruket p.a. ved år $t = 0$. I løpet av et visst antall år, T_x, med slik vekst vil en totalt forbruke:

$$C = r_0 \int_0^{T_x} \exp kt \, dt = (r_0/k)(\exp kT_x - 1) \qquad (3)$$

Hvis det opplyses om ressursen at «med det nåværende forbruk vil ressursen vare T_1 år», betyr dette at det totalt fins

$$R = r_0 T_1 \text{ (tonn f.eks.)}$$

av ressursen.

En kan da sette opp likninga

$$r_0 T_1 = (r_0/k)\{\exp kT_x - 1\} \qquad (4)$$

og løse den mhp T_x. En finner

$$T_x = (1/k) \ln (T_1 k + 1) \qquad (5)$$

Setter en inn tallene for olje, $k = 0{,}07$ og $T_1 = 30$ år finner en

$$T_x \simeq 16 \text{ år}$$

Dette er litt over halvparten av det opprinnelige tallet T_1!

I denne utregninga har en antatt eksponentiell vekst helt fram til ressursen brått er slutt. I virkeligheten vil det vel skje en avflating av veksten og deretter er årlig minking av forbruket ettersom ressursen avtar og prisene stiger (3). På denne måten kan ressursene tøyes noen år utover tidspunktet T_x år. Alt som er gjennomgått er egentlig bare en repetisjon av innholdet i boka «Limits to growth» (4).

Undervisning i energispørsmål

De enkle likningene (1) og (5) og betraktningene ovenfor burde gå inn i fysikk- og/eller matematikkpensum i den videregående skolen på linje med naturlovene. Energi er i vårt samfunn en primær innsatsfaktor som må settes inn for å skaffe oss alle de andre ressursene så som mat, trevirke, metaller osv. Til og med vår fritid har vi skaffet oss ved innsats av energi. Har vi nok tilgjengelig energi blir det ikke mangel på vanlige råstoffer for industrien fordi vi kan ta i bruk stadig mindre konsentrerte malmer (2). For energiråstoffene kommer derimot en ny begrensning inn: *Det må ikke kreves mer energi for å utvinne råstoffet enn man kan få ut av det etter at det er utvunnet.* (På slutten av oljeepoken vil en kanskje måtte bryte regelen ovenfor, men da vil det være fordi en vil nytte oljen som råstoff i kjemisk industri).

Tidsangivelsene ovenfor viser at vi har knapp tid på oss for å rydde opp i våre energiforhold. Det vil være en viktig oppgave for vår energiforsking å få til en utflating av energiforbruksveksten ved sparing og energiøkonomisering og legge forholdene

tilrette for en innfasing av ukonvensjonelle energikilder og sikker kjernekraft i Norges energisystem når f.eks. olje tar slutt. Med vedvarende eksponentiell vekst i systemet er vi kanskje i samme stilling som de førnevnte bakterier var i klokka fem på tolv.

(Artiklen er i hovedsak bygd på (1), men er tillempet norske forhold. *O.St.)*

Referanser

1. A. A. Bartlett: Forgotten fundamentals of the energy crisis. Am. J. Phys. *46* (9), 876 (1978).
2. I. Th. Rosenqvist: Forelesning. Energia 1979.
3. M. King Hubbert: A National Fuels and Energy Policy Study. Part I. Washington D.C. 1973.
4. D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers og W. H. Behrens III: Hvor går grensen? Cappelen 1972.
5. L. J. Curtis: Concept of the exponential law prior to 1900. Am. J. Phys. 46 (9), 896 (1978). Artiklen påviser at eksponentielle prosesser var av de første kvantitative forestillinger som ble formulert matematisk. Leirtavler i kileskrift fra Babylon (2000 f.Kr.) viser hvordan rente (20%!) og rentes rente skal beregnes.

Forts. fra s. 41.

som ikke har sin sterke side i engelsk, anledning til å få en del kunnskaper om emnet. Det er også i beskjeden form drevet forsøk med fysikk på språklinjen i gymnaset, hvor det har inngått en del historisk fysikk.

Det meste av stoffet til dette heftet er tatt fra den svenske professoren Gerholms tidligere nevnte bok. Heftet er skrevet for allmenn studieretning i den videregående skolen, og er beregnet brukt som tilvalgstoff i faget fysikk på naturfaglig linje eller som lærebok i valgfaget naturfag. Naturfag valgfag kan leses både på språklig, samfunnsfaglig og naturfaglig linje. Forfatterne har tatt for seg en del sentrale emner: Oldtidens naturfilosofi, renesansens vitenskapsteori, klassisk mekanikk, klassisk elektromagnetisme, Einstein og makrokosmos, Bohr og mikrokosmos og hva er fysikk? Dette synes for meg å være et fornuftig opplegg. Et forsøk på å gi en samlet, kronologisk fremstilling av fysikkens historie på så få sider, ville være dømt til å mislykkes. Det er vanskelig stoff man behandler, og det må nødvendigvis enkelte steder bli vanskelig å forstå. Likevel mener jeg at en del setninger er blitt unødvendig uforståelige. Det vil føre for langt her å nevne så mange eksempler, men setninger som «fordi verdien av Plancks konstant er så ufattelig liten» (s.108) og «Naturfilosofiens oppgave er å argumentere fra fenomenene uten å innføre noen hypotese, og å utlede årsak fra virkning helt til vi kommer til den ytterste årsak, og denne årsak er visselig ikke av mekanisk natur», (s. 51) skaper neppe klarhet i begrepene for den oppvoksende slekt. Det hører heller ikke til god tone blant norske fysikere å skrive om sentrifugalkraften som en vanlig kraft (s. 50).

Jeg kunne nevne nokså mange andre uheldige ting. Likevel vil jeg absolutt anbefale heftet brukt. Men det er å håpe at heftet ikke er blitt trykt i så stort opplag, at man må vente på en revidert utgave med et mere «folkelig språk».

Knut Jostein Knutsen

Cabannes, H. (ed.): Padé Approximants Method and Its Application to Mechanics. Lecture Notes in Physics 47. Springer Verlag 1976.

I 1892 tok Henri Padé doktorgraden ved Ecole Normale superieure på avhandlingen «Sur la représentation approchee d'une fonction par des fractions rationelles» under veiledning av Charles Hermite. Ideene i arbeidet var i hovedsak kjent allerede av Cauchy og Jacobi og var senere behandlet mer i detalj av Frobenius. Padé klassifiserte de rasjonale approksimasjonene av denne typen og stilte dem opp i en tabell, senere kalt Padé-tabellen. Deretter skjedde det lite på dette området i et par menneskealdre, bortsett fra at Padé-tabellen ble hederlig plassert (bortgjemt) i et par kjente lærebøker om kjedebrøk. I begynnelsen av 1960-årene begynte endel fysikere og kjemikere å interesere seg for Padéapproksimasjoner, og siden har feltet utviklet seg med eksplosiv fart, med bidrag såvel fra matematikere som brukere av matematikk.

Den foreliggende boken gir dels et bidrag til denne eksplosjonen (Part I og Part II) og dels et bilde av den (Part III). For å ta det siste først: Part III er en bibliografi over Pade-approksimasjoner og beslektede emner. Antallet av referanser (412) gir et bilde av omfanget av denne teorien, og årstallene — i overveiende grad svært ferske — gir et godt inntrykk av hvordan denne utviklingen har akselerert.

Boken er *ikke* en lærebok for folk uten tidligere kunnskaper om Padéapproksimasjoner, men har likevel noe med appell til disse, nemlig et høyst leseverdig og appetittvekkende forord, der det i få ord blir forklart hva Padé-approksimasjoner er og gjennom et par eksempler gis en antydning om hvorfor man er interessert i disse.

Jeg skal si noen få ord om den matematiske substansen i boken. Part I. Mathematical Theory of the Padé Approximants Method inneholder fem artikler av i alt seks forfattere, og starter med en artikkel av Padé-tabellens «gjen-oppdager» George A. Baker, Jr., der han studerer konvergensproblemer for Pade-approksimasjoner ved hjelp av teknikk fra teorien for lineære funksjonallikninger av Fredholm-type. Han antyder en anvendelse på potensialspredning i ikke-relativistisk kvantemekanikk. Av andre ting i Part I kan nevnes Chisholms artikkel om noe av det den såkalte Canterburygrupen har gjort i retning av fler-dimensjonal Padé-tabeller. Ellers inneholder Part I behandling av N-legemeproblemet ved Padé-approksimasjoner, bruk av Padéapproksimasjoner til numerisk integrasjon og en artikkel om konvergens av rekker i Padè-tabellen (med bl.a. det berømte teoremet av Montessus de Ballore). Part II. Applications of Pade Approximants to Problems of Fluid Mechanics består av 8 artikler av ialt 10 forfattere. Artiklene omhandler f.eks. sjokk-bølger, bølgefrontekspansjon, transonisk aerodynamikk. En artikkel av Gammel om oppstigning av en boble i en veske er langt på veg «selvforsynt» når det gjelder metodebeskrivelse, og er underholdende og lærerik hvis man ser litt stort på et par rariteter på s. 142, f.eks. følgende: The Padé approximate method consists in writing f(x) as the ratio of two polynomials. (Den funksjonen det dreier seg om er $\sqrt{(1 + 2x)/(1 + x)}$!)

Haakon Waadeland

G. Falk og W. Ruppel: «Energie und Entropie». Eine Einführung in die Termodynamik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. 1976, 408 sider. Pris heftet DM 58,-. ISBN 3-540-07814-2.

Denne boka er nummer to i serien «Die Physik des Naturwissenschaftlers», første bind er tidligere anmeldt i FFV (no. 4, 1975). Forfatteren har sin daglige bakgrunn i teoretisk så vel som anvendt fysikk, og den ene (G. F.) er nå professor i fysikalsk didaktikk ved Karlsruhe universitet.

Som ren lærebok i termodynamikk er den en ny tilvekst i en allerede høy stabel av tildels velskrevne bøker. Imidlertid skiller denne seg ut med en uortodoks fremstillingsmåte som mange vil like, noen kanskje mislike. Et overordnet prinsipp har vært å

knytte begreper, fremstilling og illustrasjoner til konkrete fysikalske prosesser fra dagliglivet. I så måte er boka også egnet som fordypningsbok med relevans til dagens energi-problematikk. Boka inneholder ofte filosoferende bakgrunnstoff, verdifullt til bruk i undervisning. Dette gir dessverre også boka noen steder karakter av lesebok.

Den starter med en innføring i energibegrepet. Til en avveksling fra nordamerikansk energiforbruk får vi her eksempler fra «der Bundesrepublik». Etter et kapittel om energiformer, også ikludert felt og materie, følger så et kapittel om system, tilstand og prosess. Etter to kapitler om h.h.v. likevekt og temperautr, er entropi viet stor plass. Her er fremstillingsmåten mest lik den tradisjonelle, men fremdeles med mange praktiske eksempler. Til slutt gis et oppsummerende kapittel om termodynamikkens tre hovedsetninger, eller «umulighetsutsagn» som forfatterne sier. Her er også sitt utdrag av fagets historiske utvikling.

Et appendiks om partiell derivasjon, en god stikkordsliste samt tabell over relevante størrelser og enheter gjør at boka brukes relativt selvstendig, vel og merke dersom leseren behersker den stadig utdøende kunst å lese tysk.

Finn Ingebretsen

J. I. Pankove (ed.): Electroluminescence. Topics in Applied Physics, Volume 17. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1977. 210 sider. DM 66,-.

Boken åpner med en innledning av J. I. Pankove, hvor han gir en oversikt over de viktigste enkeltprosessene som har betydning for elektroluminescens. Deretter følger fem uavhengige oversiktsartikler, alle med referanser ført frem til begynnelsen av 1976: «Group Iv Materials (Mainly SiC)» av Y. M. Tairov og Y. A. Vodakov, «III-V Compound Semiconductors» av P. J. Dean, «Recent Advances in Injection Luminescence in II-VI Compunds» av Y. S. Park og B. K. Shin, «Chalcopyrites» av S. Wagner, og «Phosphor Films» av T. Inoguchi og S. Mito.

Artikkelen av P. J. Dean om III-V halvledere er, som rimelig kan være, den største og mest innholdsrike. Derimot inneholder artikkelen om de mer tradisjonelle elektroluminescerende paneler av Inoguchi og Mito forbausende lite nytt når det gjelder forståelsen av fenomenet, selv om de kan referere viktige tekniske fremskritt. Tilsammen gir de fem artiklene en kortfattet og grei oversikt over området, med hovedvekten på de siste årenes resultater.

Boken vil være nyttig for den som ønsker en oversikt over aktuelle problemstillinger inne elektroluminescens idag. Den egner seg vel ikke så godt som lærebok, eller som generell innføring i området for lesere uten spesialkunnskaer.

Ivar Holwech

D. G. Provis and R. Radok (ed): Lecture Notes in Physics, Vol. 64. Waves on Water of Variable Depth. Australian Academy of Science, Canberra og Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1977, 235 sider. Pris DM 24,80.

Australia har en kyst som er 20.000 km lang, og bølgene ruller mot den fra tre verdenshav. Da *The International Union of Theoretical and Applied Mechanics* i 1976 holdt sitt første symposium på den sørlige halvkule, ble stedet *Canberra* og emnet *bølger*. Denne boka utgjør konferanserapporten.

Det var i alt 26 foredrag på 6 sesjoner:

— bølgeforplantning i vann med varierende dybde,
— dannelse og forplantning av flodbølger (tsunamis),
— bølger mot strender,
— bølger og strøm,
— bølger i et roterende lagdelt medium,
— langperiodiske barotrope bølger.

Hver sesjon starter med et kort sammendrag som setter det hele i perspektiv. Og det kan trengs, for de enkelte foredragene buser som regel rett på matematikken uten å fortelle hvilket fysisk problem vi nå skal se på, og hvorfor dette problemet er viktig eller interessant å få belyst. Det er også lite tolking og diskusjon av resultatene. Man taler til dem som allerede ved hva det hele dreier seg om. Boka inneholder mest teori og lite anvendt stoff.

Boka er derfor ingen appetittvekker for begynnere. Men vet du hva du leter etter, er den en utmerket kilde til moderne stoff om havbølger.

Aimar Sørenssen

I. A. Sellin (ed.): Structure and Collisions of Ions and Atoms. Topics in Current Physics, Vol. 5. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1978, 350 sider, 157 figurer.

Hovedemnet for denne boken er den spesielle form for atom- og molekylærfysikk som kan studeres ved hjelp av akseleratorer for ladete partikler. I løpet av de aller seneste år er dette blitt et meget aktuelt forskningsfelt. Dette har nøye sammenheng med den stadig pågående utvikling av akseleratorer for tunge ioner. Primært er denne utvikling skjedd med henblikk på rent kjernefysiske problemer. Undersøkelser av generelle ione-atom kollisjoner er imidlertid stadig kommet sterkere med i bildet.

Den foreliggende bok inneholder bidrag fra ti velrenommérte forskere, utgiveren inkludert. I sine respektive artikler behandler forfatterne spesialområder innen kollisjonsfysikken og problemer i forbindelse med den atomære struktur av ioner. Fremstillingen er laget med henblikk på ikke-spesialister. Ved hjelp av konsentrerte tekster føres leseren frem til en del avsnitt av forskningsfronten. Vi skal kort omtale og vurdere enkelte sentrale kapitler og problemstillinger.

Man øyner i dag muligheten for en strengere kvantitativ test av kvanteelektrodynamikken (QED) ved hjelp av atomær tungion-fysikk. Særlig gjelder dette i området for sterke og superkritiske felter. Direkte realiserbart synes i dag å være spektroskopi for supertunge kvasimolekyler med kombinert kjerneladning $Z_1 + Z_2 > 137$. I denne sammenheng spiller relativistiske effekter i høyt ioniserte atomer en vesentlig rolle. S. J. Brodsky og P. J. Mohr gir en bred teoretisk introduksjon til denne problemsfære, mens L. Armstrong spesifikt belyser de relativistiske effekters innvirkning på atomets egenskaper.

Teorien for uelastiske atom-atom kollisjoner er behandlet av J. S. Briggs and K. Taulbjerg. Uten forkleinelse for de andre forfatterne må denne artikkel betegnes som særlig god. Den avhjelper også et lenge følt savn. Det er typisk at eksperimentatorer i mer enn et tiår har studert ione-atom kollisjoner uten at noen systematisk og tilforlatelig teoretiske beskrivelse har vært tilgjengelig.

Ved ione-atom kollisjoner spiller produksjonen av røntgenstråler og sekundærelektroner en vesentlig rolle. P. A. Mokler og F. Folkmann (Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt) gir en fenomenologiskeksperimentell innføring i de kompliserte røntgenprosesser. Dette området er meget rikt, og dyperegående innsikt må kunne forventes i tiden fremover.

I avslutningskapitlet redegjør S. Datz (Oak Ridge National Laboratory) for det fruktbare skjæringsområdet mellom faststoffysikken og de atomære kollisjonsfenomener. Akselererte, tunge partikler er ett brukbart middel blant flere til å studere faste stoffers struktur. De fenomener som ledsager tunge partiklers passasje gjennom materie, har allerede utviklet seg til en viktig deldisiplin. Også i vårt eget land bør disse problemer stadig vies oppmerksomhet, ikke minst fra faststoff-fysikernes side.

Det hevdes at ione-atom fysikken er i ferd med å utvikle seg til det mest engasjerende felt i moderne atomfysikk. Den foreliggende bok er i høy grad med på å bekrefte denne påstand. Boken anbefales både for interesserte forskere og viderekommende studenter.

Johannes M. Hansteen

A. Nishida: Geomagnetic diagnosis of the magnetosphere. Springer Verlag, 1978. Pris: DM 82.

Jordens magnetosfære har vært studert intensivt de siste ti årene ved hjelp av satelitter. Lite er tilbake av det enkle geomagnetisk dipolbildet som Störmer arbeidet med en hel mannsalder i sin tid, og Chapmans og Bartels arbeider som ble presentert i deres klassiske bøker «Geomagnetism I og II» fra 1940 er også vesentlig av historisk verdi. Derfor er det viktig at ledende forskere i feltet som Atsuhiro Nishida tar seg tid til å summere opp status i dette hurtig ekspanderende forskningsfeltet. I denne boka er det lite nostalgi. Referanselista inneholder nesten bare artikler som er publisert etter 1965, og det er få betydningsfulle resultater i de seinere årene som er utelatt.

Boka består av fem «oversiktsartikler» som har overskriftene:

1) Geomagnetic Field Under the Solar Wind
2) Power Supply through the Interplanetary Field Effect
3) Implosion in the Magnetotail
4) Dynamic Structure of the Inner Magnetosphere
50) Magnetosphere as a Resonator

Det kan kanskje innvendes at slike artikler hører mer hjemme i fagtidsskriftene (t eks Space Science Reviews) enn i èn bok, men det er for en ikke-spesialist greit å kunne gå til en monograf for å skaffe seg oversikten i et samlet volum.

Nishida har presentert en bok som er nøyaktig og klar i framstillingen, og språklig er det lite å sette fingeren på. For at leseren skal kunne tilegne seg stoffet er det nødvendig med en viss bakgrunn i plasmafysikk. Det er noen eksempler på magnetosfærefysiske «slang»-bemerkninger, som må sies å være skjønnhetsflekker, men disse vil neppe skaffe leseren vansker når han skal tilegne seg stoffet.

Derfor vil jeg anbefale boka for hovedfagsstudenter i kosmisk geofysikk og for forskere i feltet som ønsker å fylle huller i kunnskapene om magnetosfæren.

Bernt N. Mœhlum

Isaac Asimov, The Collapsing Universe. The Story of Black Holes. Hutchinson, 1977, 204 s., N. kr. 63,-.

Når sover Asimov? Den verdensberømte forfatteren som masseproduserer science-fiction og populær-vitenskapelige bøker har igjen kommet ut med en ny bok. Det kunne kanskje vært mulig å fatte hvor Asimov tar tiden fra hvis bøkene hans bar preg av overfladisk hastverksarbeid. Men de populærvitenskapelige verkene er enestående i sin klarhet. Asimov har en egen evne til å få fram det vesentlige i en kortfattet tekst. I denne boken tar Asimov for seg den endelige skjebne til det univers vi lever i. Han deler emnet sitt opp i forskjellige avdelinger alt etter hvor stor masse det objekt han betrakter har.

Først får vi vite hvorfor legemer opp til planet-størrelse kan motstå tyngdekreftene. Meget enkelt forklarer han her hvordan coulomb-kreftene motarbeider gravitasjonen. I forbifarten forteller han hvorfor kjempeplanetene er store og består av lette molekyler, mens de innerste planetene er små og tette. Sammensetningen av jordkloden blir også nevnt og forklart.

Asimov benytter gjerne den metode at han gir oppdagelsen og forklaringen på et fenomen i kronologisk rekkefølge. Forskjellige hypoteser blir stilt opp og deretter eliminert, unntatt den ene som til slutt står på fast grunn. Denne metoden virker meget overbevisende på leseren. Jeg synes likevel at det er en svakhet ved boka at den er fullstendig fri for bilder og skisser. Et diagram er ofte mer lettfattelig og oversiktelig enn mye tekst som forklarer det samme. Behandlingen av unnslippelseshastigheten virker også noe tungvinn, dels har vel dette sammenheng med at forfatteren vil unngå bruk av matematikk.

Etter planetene behandler Asimov vanlige stjerner. Han gir en enkel innføring i kjernereaksjoner og påpeker hvorfor de er nødvendige for å opprettholde trykket og en temperatur som kan motstå tyngden. Her bruker han betegnelsen degenerert på enhver gass i plasma-form. Denne språkbruken er vel noe uvanlig. Først når eksklusjonsprinsippet gjør seg merkbart gjeldende snakker vi om at gassen er degenerert. Her har han også funnet plass til å behandle hvorfor stjerner blir røde kjemper, og hvordan en ved Wiens forskyvningslov finner overflate-temperaturen på en stjerne. Vi får også vite hvordan spektralanalyse gir svar på hvilke stoffer som er tilstede i stjerneatmosfæren.

De hvite dvergstjerner blir så behandlet. Her er det trykket fra degenererte elektroner som motstår gravitasjonen. Her benytter Asimov faktisk materiens bølgenatur til å forklare hvorfor elektroner blir degenererte før kjerner ved økende trykk. Og for å gi en forståelse av hvorfor hvite dvergstjerner har mindre radius jo større masse de har, bruker forfatteren en enkel og fascinerende analogi med et vanlig bildekk.

Avsnittet om nøytronstjerner er egentlig meget godt. Hele den spennende historien med supernovaer, kosmisk stråling, krabbetåka og pulsarer blir lagt fram. Dessuten får vi også høre om hvor stor betydning tidevannskrefter her vil ha. Men en bør vel være litt forsiktig med å påstå at den kritiske massen for nøytronstjerner er 3,2 solmasser. Denne grensen er fremdeles nokså usikker.

Til slutt forklarer Asimov at når så trykket fra degenererte kjerne-partikler også må gi opp kampen mot gravitasjonen vil sternen kollapsere totalt. Et svart hull er da resultatet.

Den siste delen av boka er meget spekulativ, noe også Asimov selv understreker. Men påstanden hans om at den som faller inn i et svart hull aldri vil oppleve å nå singulariteten, er jeg ikke villig til å underskrive. Senere spekulerer han også meget omkring ormehull og hvite hull. Hvordan han vil nå det hvite hullet uten å nå fram til Einstein-Rosenbrua synes noe merkelig. Men spekulasjonene er i alle fall spennende og inspirerende lesning. Likevel vil jeg ikke være med på å spekulere på hva som kan skje hvis universet eventuelt reverserer sin bevegelse. Universet vil kanskje ikke bare nøye seg med oscillere, men bli født på ny med nye, merkelige naturlover vi ikke en gang kan forestille oss.

Henning Knutsen

J. G. Körner, G. Kramer and D. Schildknecht (Eds.): Current Induced Reactions. (Lecture Notes in Physics No. 56). Springer-Verlag, Berlin 1976. 553 sider.

Boken inneholder de fleste foredrag som ble gitt ved «International Summer Institute on Theoretical Particle Physics» i Hamburg sommeren 1975. Dette var jo bare et halvt år etter at ψ-partiklene var oppdaget, noe som da sterkt preger forelesningene. Bidragene til de Rujula og Nanopoulos gir begge en god oppsummering av de teoretiske idéer som lå bak behovet for en fjerde kvark med et nytt, bevart kvantetall (charme) og de eksperimentelle konsekvenser dette ville ha. Selve kroningen av denne usedvanlig fruktbare vekselvirkning mellom teori og eksperiment ble foretatt et år senere med oppdagelsen av naken charme. Det var jo også i denne perioden at vårt bilde av elementærpartiklene som sammensatte av mindre kvarker, gikk over fra å være en interessant, men suspekt modell til å bli en generelt anerkjent kvark-teori.

Av mer ukonvensjonelle synspunkt inneholder boken blant annet en diskusjon av Sakurai om muligheten for at de nøytrale strømmene ikke skyldes en underliggende gaugeteori, Pati diskuterer muligheten for eksistens av frie kvarker, mens Preparata argumenterer for sin spesielle modell som gir opphav til såkalte hadroniske «ildpølser».

Det eksperiment som satte hele denne utvikling i gang, var uelastisk elektron-proton spredning som bekreftet Bjorken's skala-invarians. Disse eksperiment er omtalt av Meyer som også påpeker en uventet tendens i data som indikerer at skala-invarians ikke er så god som opprinnelig ventet. I dag tror vi at vi forstår disse skalerings-brudd på den måten at kvarkene vekselvirker via et renormaliserbart gaugefelt, en meget lovende teori som har fått navnet kvantekromodynamikk (QCD).

Med den raske utviklingen elementærpartikkelfysikken er inne i idag, er det godt mulig at om en del år vil det være Bjorken's enkle, men meget fundamentale betraktninger om den hadroniske slutt-tilstand som gjør det ønskelig å ha denne boken i sitt forskningsbibliotek.

Finn Ravndal

A. Blicher: Thyristor Physics. (Applied Physics and Engineering, Vol. 12). Springer, New York 1976. 304 s.

Tyristorer er en fellesbetegnelse for forskjellige varianter av styrte silicium-likerettere som er blitt nærmest uunnværlige i kretser for effektregulering, enten det gjelder små effekter for lysdimmere og kokeplater eller store effekter for drift av elektriske lokomotiver eller smelteovner.

I boka «Thyristor Physics» beskriver forfatteren de viktigste fysiske prosessene i tyristorer ved stasjonære forhold og under svitsjing. Fremstillingen er systematisk, med referanser etter hvert kapittel.

Det forutsettes litt kjennskap til halvlederfysikk og transistorer.

Innledningsvis beskrives Shockleys PNPN-diode med forklaring av strømforsterkningsmekanismen og av effekter som skyldes høy injeksjon av ladningsbærere. Deretter følger en nøyere beskrivelse av hovedtypene av tyristorer, bl.a. den bidireksjonale vekselstrøm-tyristoren (Triac). Det er også tatt med noen kapitler om emner som ikke er spesifikke for tyristorer, f.eks. siliciumoverflater og MOS-strukturer, og avalanche-effekt i siliciumflatekontakter.

De enkelte fenomenene blir først beskrevet kvalitativt. Deretter presenteres teori og sammenligning med eksperimentelle data. Komplisert eller avansert teori blir bare referert, men med utførlige kildehenvisninger.

I et kapittel om tyristor-kretser nevnes typiske anvendelser, og det blir vist noen prinsippskjemaer, men stort sett uten komponentverdier. Det forekommer noen trykkfeil, bl.a. feil i figurhenvisninger, men ikke verre enn at leseren lett finner ut av det.

Stoffet i boka er ikke originalt, men det er behandlet på en oversiktlig og leservennlig måte. Figurene er klare og instruktive, og utstyret ellers som i resten av serien. Boka kan anbefales for alle som bruker tyristorer og ønsker å få en bedre forståelse av hvordan disse komponentene virker.

J. Sandstad

G. Alefeld and J. Völkl: Hydrogen in Metals I (Vo. 28 av Topics in applied Physics). Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1978, 426 sider.

Hydrider er i den senere tid blitt omfattet med stadig økende interesse, vesentlig på grunn av de nye tekniske anvendelser de har funnet innenfor aktuelle forskningsområder. Det er her nok å peke på bruken av hydrider som moderatormaterialer i fisjonsreaktorer, som brenselsmaterialer i fusjonsreaktorer, som elektroder i brenselsceller og som lagringssystem for energi.

Studiet av hydrider er imidlertid også interessant ut i fra et rent fundamentalt synspunkt, og det er det denne boken gir et meget klart vitnesbyrd om. I 12 kapitler, skrevet av fremtredende eksperter på området, får man en utførlig beskrivelse av endringene i de fysiske egenskaper til metallene når hydrogen tas opp i metallgitteret. Noen kapitler tar for seg målemetodene som benyttes og de resultater man er kommet frem til, mens andre behandler det teoretiske grunnlaget.

Boken begynner således med en innføring i teorien for elastisk vekselvirkning og faseoverganger skrevet av H. Wagner. Kapitlet gir en fyldig oversikt over de modeller som blir benyttet og beskjeftiger seg særlig med de termodynamiske egenskapene til metall-hydridene i nærheten av de kritiske punkt. Det neste kapitlet skrevet av H. Peisl er derimot eksperimentelt og gir en oversikt over de metoder som er blitt brukt til å studere de deformasjoner av gitteret som oppstår når hydrogen absorberes i metallet. T. Springer behandler i et eget kapittel neutronspektroskopien og de informasjoner denne metoden kan gi når det gjelder svingningstilstandene i gitteret. Neutroner er i dette tilfelle særlig velegnet fordi hydrogen har et stort uelastisk virkningstverrsnitt for neutroner.

A. C. Switendick gir en oversikt over endringene i de elektroniske egenskapene til metallene når forskjellige mengder hydrogen tas opp i gitteret. Dette gir årsak til karakteristiske endringer i de fysikalske egenskaper og kan studeres ved en rekke forskjellige metoder. Møssbauer-metoden anvendt på hydrider blir behandlet av F. E. Wagner og G. Wortmann, magnetiske målinger av W. E. Wallace og H. Kronmüller og NMR-målinger av R. M. Cotts.

Teorien for diffusjon av hydrogen i metaller blir behandlet av K. W. Kehr, mens Völkl og Alefeld selv tar for seg de eksperimentelle metoder for måling av diffusjon, og gir en kosentrert beskrivelse av de resultater som er oppnådd. Tilslutt beskriver A. Seeger en ny eksperimentell metode som går ut på å studere diffusjonen av positive myoner i metaller. Myonet kan betraktes som en lett isotop av hydrogen med en masse som er bare en niendepart av protonets.

Når i en bok som denne hver enkelt forfatter bare behandler sitt spesialområde oppstår det en fare for at forfatterne forutsetter for store kunnskaper hos leserne og ikke gir en utførlig innføring i emnet. Særlig uheldig er det om forfatterne nøyer seg med henvisninger til tidligere artikler eller bøker som de har skrevet. Slikt forekommer nok også her, men stort sett er artiklene både utførlige og velskrevne. Boken kan trygt anbefales som en innføring i de problemstillinger som knytter seg til hydrogen i metaller. Den neste bok i serien «Hydrogen in Metals II» vil ta for seg de praktiske anvendelser av hydrider.

Arne F. Andresen.

Når science-fiction mangler fantasi.

John Gribbin. White Holes. Cosmic Gushers in the Universe. Delacorte Press/Elanor Friede. 296 s. N. kr. 21,80.

De nye astronomiske observasjonene i de to siste ti-år har brakt astronomien inn i en ny gullalder. Oppdagelsen av kvasarer, svart bakgrunnstråling, røntgen-stråle-kilder, pulsarer og galakser som eksploderer, har gitt astrofysikerne et rikt materiale å arbeide med. Matematisk-fysiske modeller som skal forklare fenomenene, lanseres i variert utvalg. Nøytronstjerner, svarte hull, hvite hull og big-bang er noen av de fantastiske forklaringene som bys fram.

I boka «White Holes» går John Gribbin like til yttergrensen for det tillatte når det gjelder å tøye spekulasjonene. La det med en gang være slått fast at dette er uhyre spennende og inspirerende lesning. Boka gir adgang til et verdensbilde så utrolig at den får science-fiction til å virke blek og fantasiløs.

Gribbin gir en grei oversikt over den skjebne som venter stjerner av forskjellige type. Hvite dvergstjerner, nøytronstjerner og svarte hull blir forklart og diskutert. Og forfatteren har en god evne til å finne analogier som gir forståelse av astronomiske fenomener. Et eksempel: For å forklare hvorfor pulsarer må ha en liten utstrekning sammenlikner Gribbin lyset fra pulsarer med lyden fra publikumsmassen på en fotballstadion. Den skarpe lyden fra en enkelt tilskuer er lett å skille ut, men det unisone brølet fra hele tilskuermassen smøres ut til de ugjennkjennelige.

I forbindelse med svarte hull nevner Gribbin hvordan en ved å våge seg nær event-horisonten kan reise inn i framtida. Han forteller også om hvordan en kan temme et svart hull, nemlig ved å gjøre det elektrisk.

Boka er ganske fri for matematikk. Dette gjør selvsagt adgangen til spekulasjon lettere idet muligheten for kritisk kontroll går tapt. Det er også svært sparsomt med skisser og diagrammer i boka, altfor sparsomt etter min mening. Når Gribbin gir en oversikt over forskjellige kosmologiske modeller, gjøres dette bare i tekst. Skisser ville her lettet tilegnelsen betraktelig for leseren.

Hovedinnholdet i boka er å gi en forklaring på de gåtefulle kvasarene og de voldsomme eksplosjonene vi har i galaksekjerner. Og den forklaringen som synes å tiltrekke forfatteren, er at disse fenomenene skal tolkes som hvite hull. Et hvitt hull er da et sted i universet hvor det er en åpning til et annet univers eller en snarvei til et helt annet sted i vårt eget univers. Denne tunnelen eller snarveien kalles ofte et ormehull eller ei Einstein-Rosen bru. I den andre enden av ormehullet finner vi da et vanlig svart

hull. Materie som faller inn i det svarte hullet, passerer gjennom ormehullet og kommer til syne som veldige utbrudd i det hvite hullet.

Gribbin får anledning til å drøfte mange forskjellige kosmologiske teorier. Den kosmologisk sett fundamentale observasjonen at det er mørkt om natta, blir i de fleste teorier forklart ved at universet ekspanderer. Lyset fra fjerne objekter blir derfor forskjøvet mot den røde enden av spekteret. Hoyle har lansert en alternativ teori der rødforskyvningen skyldes at massen til legemene øker. Denne økende masse skyldes da en effekt fra all annen materie i universet. Naturlovene er da bestemt av strukturen til universet som helhet og forandrer seg når universet forandrer seg.

Her finner Gribbin det også på sin plass å gå inn på Diracs kosmologi. Dirac prøvde å finne en forbindelse mellom strukturen til universet og prosesser på elementærpartikkelnivå. Han betraktet dimensjonsløse forholdstall og fant merkelige sammenhenger.

Alvéns kosmologi med en symmetrisk fordeling av materie og antimaterie blir også betraktet. Her lar Gribbin materien og antimaterien være fordelt på henholdsvis utsiden og innsiden av den velkjente ballongmodellen av det positivt krummede univers. Gribbin går heller ikke av veien for å drøfte en teori der universet oppfattes som en vakuumfluktasjon.

Jeg har få innvendinger mot boka. Riktignok synes jeg det ville vært på sin plass å forklare energigenerasjonen i sola mer i detalj, særlig med henblikk på at forfatteren også tar for seg nøytrinoeksperimentet. Og det er vel også noe dristig å påstå at det ikke kan dannes planeter av lette atomer. Når vi får dannet en stjerne fra en inter-stellar sky av lette atomer, vil det gjerne bli dannet planeter. Men disse planetene har selvsagt ikke livsformer, for livsformer forutsetter tunge atomer.

Men boka er god den, og for enhver som liker å la fantasien ha frie tøyler, er den jo tvingende nødvendig.

Henning Knutsen

Bahaa Saleh: Photoelectron Statistics - With Applications to Spectroscopy and Optical Communication. Springer Series in Optical Sciences Vol. 6. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1978. 440 sider. Pris 68 DM innb.

Flere nye felt innen optikk og spektroskopi, så som specklefenomen, optisk kommunikasjon og foton korrelasjonspektroskopi, er basert på analyse av lysfeltets statistiske egenskaper. En slik analyse skjer i praksis ved å undersøke foto-elektron statistikken fra en lysdetektor. Dette er også bokens tema- hvordan blir foto-elektron statistikken ved forskjellige typer lysfelt? Og det omvendte problem: Hvordan ekstrahere informasjon om lysfeltet fra fotoelektron statistikk?

Boka er tredelt. Del en gir en knapp, men rimelig fullstendig gjennomgang av det nødvendige verktøyet fra matematisk statistikk. Del to inneholder en statistisk beskrivelse av forskjellige lysfelt og resulterende foto-elektron egenskaper. Del tre tar for seg problemet med å gå fra foto-elektron egenskaper til egenskaper ved lysfeltet. Her finner en detaljerte beskrivelser av hvordan en korrelator virker og feilkilder i foton korrelasjonsspektroskopi og av optiske kommunikasjonssystem og feilkilder.

Bokas styrke er en konsis, moderne og omfattende behandling av de tema den tar opp. En grundig bibliografi øker arbeidets verdi som referanseverk.

Men boka er formell og spesialisert. Den som, uten særlige forkunnskaper, leser Saleh's bok for å finne ut hva for eksempel foton korrelasjonsspektroskopi er og hva det kan brukes til, blir ikke særlig mye klokere. Utenfor kretsen av spesielt interesserte, vil denne boka uunngåelig virke tørr og blodfattig. Men Saleh har gjort et godt arbeid, og de som arbeider i feltet har her en nyttig referansebok.

Arild Bø

V. I. Arnold: Mathematical Methods of Classical Mechanics. Bind 60 i serien Graduate Texts in Mathematics. Springer-Verlag New York 1978, 462 sider, 246 figurer. Oversatt fra russisk, originalutgave Moskva 1974.

For en som har lært mekanikk av pedagoger som Edgar B. Schieldrop og Egil Hylleraas, eller har studert Goldsteins «Classical Mechanics», er dette en fremmedartet bok. En kjenner seg likesom ikke igjen. Det skyldes ikke så meget stoffutvalget, - det kan av gode grunner ikke bli så forskjellig når man skal holde seg til ikke-relativistisk klassisk mekanikk. Men det er måten stoffet er presentert på. Forfatteren benytter et (for anmelderen) såpass vanskelig matematisk språk, at det går ut over den fysikalske innsikt. Som smakebit et (løsrevet) sitat fra side 88:

> **Noether's theorem.** If the system (M,L) admits the one-parameter group of diffeomorphisms h^s:
> $M \longrightarrow M$, $s \in \mathbf{R}$, then the lagrangian system of equations corresponding to L, has a first integral I: $TM \longrightarrow \mathbf{R}$.

Når det på side 163 heter «Hamiltonian mechanics cannot be understood without differential forms», kan noen hver føle seg satt ut av spill. Boka har forøvrig egne kapitler om differensielle former og om symplektisk gemometri.

Til tross for mine betenkeligheter, som sikkert er subjektivt betinget, finner jeg boken meget verdifull. Det skyldes ikke minst at forfatteren på enkelte punkter gir en fin pedagogisk og grundig analyse av emner som ofte er mangelfullt behandlet i lærebøkene. Noen stikkord i den forbindelse:

> Egenskaper ved Legendre-transformasjonen, Huygens' prinsipp, parametrisk resonans, stabilitetskriterier, adiabatiske forandringer.

Et appendiks på 150 sider inneholder tilgrensende matematiske emner, i alt 13 avsnitt. Av særlig interesse for fysikkere vil jeg nevne Korteweg - de Vries ligningen

$$u_t = 6\,u\,u_x - u_{xxx}$$

(med soliton-løsning),
samt et avsnitt om den kvantemekaniske WKBJ approksimasjon, sett i større sammenheng. Dertil kloke ord om Riemannkrumning i appendiks 1.

Erik Eriksen

J. A. de Azcárraga (ed.): Topics in Quantum Field Theory and Gauge Theories. Proceedings, Salamanca 1977. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 1978, Vol. 77, 378 sider.

Boken inneholder de foredrag som ble presentert på det 8. internasjonale symposium i serien GIFT, Salamanca, Spania, juni 1977. De fleste artiklene i boken er tiltenkt teoretikere innen partikkelfysikk. Den innledende forelesning (Goddard) gir en oversikt over magnetiske monopoler i ikke-abelske feltteorier. Deretter følger en matematisk oversikt om differensialgeometri - en vitenskap som i høy grad bygger på arbeid av Sophus Lie. Forfatteren (Hermann) mener at den moderne differensialgeometrien er svært nyttig for fysikere. Superrom, supersymmetri og supergravitasjon blir behandlet i den følgende artikkel av Wess - en av grunnleggerne av disse teorier. Forskjellige supersymmetriske feltteorier presenteres. Metoder for beregninger i høyordens pertubasjonsteori gis (Zinn-Justin) for de enkleste feltteorier. De gjenstående tre oversiktsartikler i boken er av fenomenologisk natur. Her finner vi implikasjoner av den såkalte «sekkmodellen» - der en partikkel betraktes som en sekk med kvarker (Hey), modeller for forening av de forskjellige vekselvirkninger (Pati), og en artikkel om kvark-partikkel spektroskopi (Dalitz). Boken er av høy kvalitet og inneholder fyldige referanser. Den er verdifull for teoretikere innen partikkelfysikk, først og fremst som veiviser for videre studier.

Cecilia Jarlskog

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for Atomenergi, Kjeller

KURS HØSTEN 1979

Databehandling

10/9 -14/9	Grunnkurs i databehandling
17/9 - 5/10	FORTRAN
15/10-19/10	SIMULA
5/11- 8/11	Bruk av NORD-10
19/11-29/11	NOS/BE, operasjonssystem for Control Data CYBER 74
26/11-29/11	Filbehandling
3/12- 7/12	Videregående programmeringsmetodikk i FORTRAN

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

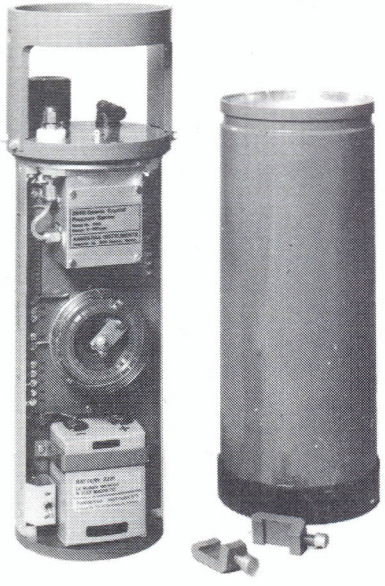
Fra Fysikkens Verden

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



.....high precision water level recorders

WLR 5/6

Self contained high precision instruments to be placed on the sea bed to record water level by precise measurement of hydrostatic pressure.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND SEA AND AIR

FANAVEIEN 13
P.O. BOX 160
5051 BERGEN, NORWAY
TEL.: (05) 27 40 30
TELEX 40049

NTH-Trykk
Trondheim