Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Bjørn Trumpy in memoriam 25

Medlemsmøte EPS, Leipzig 26

Optiske hukommelsessystemer 28

Fisjon og fusjon. Del 2 33

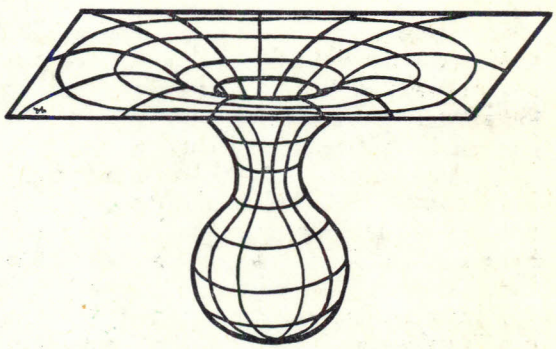
Machs prinsipp 37

Nye medlemmer 30/1—76 41

Faseoverganger og kritiske fenomener 42

Sir George Thomson 46

Bøker 27, 32, 36, 47



Dannelsen av et «sort hull» som følge av et meget sterkt gravitasjonsfelt. (Se artikkel side 37)

Nr. 2 - 1976
38. årgang

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: Normalt foretas korrektur og uttegning i redaksjonen. Bare hvis det spesielt bes om det blir korrekturavtrykk tilsendt. En går ut fra at mottatte manuskripter er fri for feil, og en kan ikke regne med å gjøre forandringer etter at førstekorrekturen er returnert til trykkeriet.

Særtrykk: Disse bør bestilles samtidig med innsending av manuskriptet. Bestilling mottatt etter at et hefte er trykt og utsendt, kan bare effektueres dersom satsen ikke er styrtet. Særtrykkene faktureres til selvkost.

Manuskripter: Generelle retningslinjer vil en finne bl. a. i: Rapportskrivning. Universitetsforlaget 1971; og: Ove A. Høeg: Vitenskapelig forfatterskap. Universitetsforlaget 1968. Spesielt skal fremheves: tabeller innskutt i teksten bør unngås. Maksimum 2 stk. 1-spalte figurer pr. trykt side. Teksten blir satt med maskinsats, d.v.s. typene støpes som sammenhengende linje. Enkle matematiske formler og uttrykk settes derfor fortløpende (eks.: $y = (ax + b)/x^2$; $t_2 = t_1 (1 + \exp(\tau/RC))^{-1}$). Streker, piler o. l. over eller under bokstavsymboler bør unngås da disse må tilføyes for hånd. Vektorer symboliseres med *fet* skrift. Unntak: maskinen har ikke fete greske bokstaver, så i dette tilfelle brukes understrekning. Symboler med indeks på indeks (eks.: a med indeks T_0) må håndsettes og er derfor uønsket.

I bokanmeldinger brukes skriftstørrelsen petit, og man har ennå sterkere begrensning, bl. a. i muligheter for bruk av sjelden forekommende matematiske tegn, symboler med indeks osv. Redaksjonen må forbeholde seg rett til å gjøre forandringer i manuskriptet når sette-vanskeligheter oppstår.

Figurer trykkes normalt med bredde 1 spalte (= 72 mm) eller mindre. Når figurens utforming og innhold gjør det nødvendig, kan bredde på 1½ spalte trykkes (108 mm). Figurer som krever større bredde enn dette, er uønsket. Til klisjefremstilling kreves fotografier med gode konturer og kontraster, og tydelige streker i strektegninger. Tegninger må utføres slik at når de reduseres til klisje-størrelse, 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. Til orientering: det går ca. 850 ord på en hel trykt side uten figur og overskrift.

Innlevering: Iflg. kontrakt med Postverket utsendes heftene innen siste dag i de 3 første kvartaler og ca. 15 desember. Ca. 1½ måned før blir manuskripter levert til trykkeriet 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 det stoff som mottas.

Trondheim, des. 1974.

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Redaktør: HAAKON OLSEN
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

Nr. 2 - 1976

38. årgang

Professor Bjørn Trumpy

in memoriam

Tidligere professor i fysikk ved Universitetet i Bergen, dr. techn. Bjørn Trumpy døde den 8. juni 1975 knapt 74 år gammel. Dermed er en av grunnleggerne av Universitetet i Bergen gått bort.

Trumpy ble født i Bergen den 6. juli 1900. Som offiserbarn kom han til å flytte meget omkring i landet i løpet av sin oppvekst. Gymnasietiden for eksempel tilbragte han i Tromsø, hvor han tok artium i 1918. Fra 1935 av og helt til sin død var han imidlertid fast bosatt i Bergen.

Etter fullført eksamen som kjemiingeniør ved NTH i 1922 startet Trumpy sin vitenskapelige karriere som assistent hos professorene Sem Sæland og Johan Holtsmark i Trondheim. Etter å ha innehatt en rekke forskjellige vitenskapelige stillinger ved NTH, og etter stimulerende studieopphold hos professorene Max Born i Göttingen og Niels Bohr i København, kom han i 1935 til Bergen som professor i jordmagnetisme og kosmisk fysikk ved Geofysisk institutt, Bergens Museum. I 1952 ble han utnevnt til professor i fysikk ved Universitetet i Bergen.

Trumpy har skrevet et hundretalls avhandlinger over emner innen atom- og molekylarfysikk, kosmisk stråling, jordmagnetisme og kjernefysikk. Hans undersøkelser innen det først nevnte område fant sted i 1920-årene, akkurat i de år da kvantemekanikken hadde sitt avgjørende gjennombrudd. I løpet av en 10–12 års periode gjennomførte han en rekke omhyggelige målinger av visse spektrallinjers intensitet og bredde. Hans doktoravhandling, fullført i 1926, var også viet disse problemer. Den hadde tittelen: Über Intensität und Breite der Spektrallinien. Trumpys forskning i disse år inngikk som et naturlig ledd i den alminnelige streben etter eksperimentell verifikasjon av kvantemekanikken.

Da Trumpy i 1935 kom til Bergen, tok han straks opp studiet av den kosmiske stråling. Han har på dette område drevet en meget omfattende og langvarig virksomhet som ga betydningsfulle resultater.

Da Universitetet i Bergen var et faktum fra 1948 av, fikk Trumpy i tilknytning til Universitetets fysiske institutt også etablert et laboratorium for eksperimentell kjernefysikk. Det er således Trumpys fortjeneste at denne krevende forskningsgren er blitt introdusert i Bergen. I 1960 ble nok et nytt forskningsområde, eksperimentell elenmentærpartikkelfysikk tatt opp ved Fysisk institutt, Universitetet i Bergen. Også denne gang var Trumpys fulle støtte av avgjørende betydning.

Ved siden av sitt vitenskapelige og pedagogiske arbeide var Trumpy sterkt belastet med administrative gjøremål, og han innehadde et meget stort antall forskjellige tillitsverv. Her skal bare nevnes et par av de viktigste.

Da Universitetet i Bergen var et faktum fra 1948 av, var det av flere grunner naturlig at Trumpy ble valgt til det nye universitetets første rektor. For det første var han på dette tidspunkt direktør for Bergens Museum, han ble valgt til Muséets direktør i 1943. For det annet hadde han både før, under og etter annen verdenskrig i høy grad bidratt til gjennomføringen av de forlengst eksisterende universitetsplaner for Bergen. For det tredje hadde han vist seg å være en mann som var åpen for samarbeid og som var i besittelse av utpreget representa-

tive egenskaper. Trumpy fungerte som rektor i to perioder fram til 1. januar 1954.

Et annet betydelig tillitsverv var at han i en ti års periode, fra 1. januar 1960, var fast norsk delegat i CERN. Han var også en tid medlem av CERN's finanskomité og en del mindre komitéer som ble nedsatt for å utrede spesielle spørsmål.

Professor Trumpy var formann i Norsk Fysisk Selskaps styre i årene 1953 til 1957. Han var den første ordinære formann, etter at Selskapet var blitt stiftet under et møte på Blindern den 8. juni 1953. Men allerede i 1952 ble han medlem av et foreløpig styre som da ble opprettet med professor Egil A. Hylleraas som formann. Det første ordinære styret med Trumpy som formann ble valgt på Selskapets årsmøte i Bergen 12. november 1953.

Trumpy var en god formann for Selskapet. På grunn av sine gode forbindelser var han istand til å skaffe tilveie ekstra økonomiske midler i en tid da Selskapets økonomi ikke var den beste. Ikke minst vil han bli husket for sin humørfylte ledelse av Selskapets årsmøter, og for de morsomme taler han holdt under enkelte av de middager som Selskapet gir i tilknytning til årsmøtene. For sine fortjenester av Selskapets virksomhet ble han under Fysikermøtet i Tromsø i juni 1972 innvalgt som æresmedlem.

Etter oppnådd aldersgrense gikk Trumpy den 1. august 1970 av fra sin stilling som professor i fysikk ved Universitetet i Bergen. Men han opprettholdt kontakten med Fysisk institutt helt til ganske få måneder før sin død.

Trumpys vitalitet, allsidighet og store arbeidskraft var vel kjent og høyt skattet både av kolleger og andre. Det ble trukket store veksler på disse egenskaper i forbindelse med de mange forskjellige gjøremål og oppdrag som han i årenes løp påtok seg. Karakteristisk for ham var hans evne til å øyne nye muligheter og ønsket om å fremme eller støtte nye prosjekter som han mente hadde en rimelig sjanse til å lykkes. Her bør også nevnes hans gode humør og karakteristiske latter som var viden kjent. Dette gode humør sammen med et uhøytidelig vesen gjorde det lett for andre å etablere kontakt og samarbeide med ham.

Ved Fysisk institutt var Trumpy en avholdt og respektert sjef. Instituttet har fra den første spe begynnelse ved Universitets opprettelse og fram til idag gjennomgått en sterk utvikling. Denne framgang og vekst har nok hatt sammenheng med Trumpys evne til med tillit å kunne delegere noe av sin myndighet til underordnet personale. For en administrator med mange jern i ilden er dette utvilsomt en viktig egenskap.

Med professor Bjørn Trumpys død er et langt liv i vitenskapens tjeneste slutt. Hans innsats her var et viktig ledd i den vekst og utvikling som norsk fysikk har gjennomgått i den siste mannsalder. For dette vil vi, hans kolleger og fagfeller, minnes ham i ærbødighet og takknemlighet.

S. Skavlem

Medlemsmøte i EPS Advisory Committee on Physics and Education, Leipzig 5. april 1976

K. J. Knutsen

European Physical Cociety (EPS) ble dannet i september 1968. De fysiske selskaper i de fleste europeiske land er medlemmer av dette selskapet. EPS har en del rådgivende komiteer. Det konstituerende møtet i Advisory Committee on Physics and Education ble holdt i Bukarest 11. september 1975. Komiteen har medlemmer fra Hellas, Frankrike, Øst-Tyskland, Vest-Tyskland, Sveits, Tsjekkoslovakia, Tyrkia, Polen, Norge, Nederland, Israel, Bulgaria, Romania, Sverige, Storbritania, Sovjetunionen, dessuten et medlem fra EPS Advisory Committee on Physics and Society. De fleste medlemmene er universitetslærere.

Av økonomiske grunner møtte cand. real. O. Steinsvold til dette møtet istedet for undertegnede. Grunnen til at man fant det ønskelig med en rådgivende komite for undervisning, var de problemer som oppstår når undervisningssystemene forandres. Formannen, professor A. Janner fra Nederland, nevnte spesielt at moderne matematikk og integrated sciencekurs, hadde ført til problemer for fysikklærere, særlig i den videregående skolen. Han mente at det kanskje var enda alvorligere at det så ut til å være en tendens (helst i barneskolen) til å bagatellisere fysikkens rolle for å forstå naturfenomener, og å overvurdere f. eks. biologiens rolle.

Det ble bestemt at man i første omgang burde konsentrere sin oppmerksomhet om den videregående skolen (secondary school). Dette arbeidet ville da naturlig føre til at man også måtte innhente kunnskaper om grunnskolen og universitetene. Medlemmene fikk i oppdrag å utarbeide en oversikt over pensumet i secondary school i sine respektive hjemland. Pensumoversikten burde også kompletteres med mere generelle in-

formasjoner om skolesystemet og formålet med undervisningen.

På møtet i Leipzig møtte i tillegg til representanter fra de fleste medlemsland, også representanter fra USA og Unesco. Ca. halvparten leverte sitt bidrag skriftlig, og resten ble bedt om et skriftlig bidrag i løpet av april måned. Man mente derfor at det var tilstrekkelig at hver representant orienterte ca. 10 min. og at resten av tiden ble brukt til spørsmål og diskusjon. Det var relativt få kommentarer til forholdene i Norge. Man syntes pensumet så stort ut i forhold til antall timer. Det var liten begeistring for tilvalgstoff, og man fant det noe underlig at termodynamikkens 1. lov var kjernestoff og 2. lov var tilvalgsstoff. Representanten fra Storbritania fortalte at man hadde problemer med at studentene der bare hadde ca. 40 % felleskunnskaper når de begynte et fysikkstudium. Dette skyltes de forskjellige Examination Boards. I Sverige tenkte man imidlertid på å ta i bruk tilvalgsstoff, i håp om å få flere elever til N- og T-linjene.

Etter det fremlagte stoffet å dømme, ser det ut til å være en del felles trekk i utviklingen i de forskjellige land. Interessen for fysikk rent generelt har vært dalende. Det er færre som velger å studere fysikk enn før. (Noen mente at det var tegn som tydet på at bunnen nå var nådd.) Hva grunnen kan være, var det vanskelig å uttale seg om. Man mente at fysikere noe urettferdig ble beskylt for f. eks. atombombe og forurensning, og at dette spilte inn. Dette kunne bøtes noe på med orienterende populærvitenskapelige artikler i dagspressen. (Det franske fysiske selskapet forsøkte dette i Le Monde.) Man mente også at det ville hjelpe om fysikken i skolen ble noe mere teknisk anlagt, slik at man bedre forsto verden rundt seg. Barbermaskinen ble nevnt som eksempel flere ganger av en eller annen mystisk grunn.

Det så ut som det hadde vært nødvendig å kutte ned pensum i secondary School i alle land. Mer i vest enn i øst. Jeg tror forholdene illustreres ganske godt ved følgende episode: Representanten fra Bulgaria viste frem en gammel lærebok fra 10. klasse som var 4 cm tykk, og den nye som var bare en tomme. Representanten fra Vest-Tyskland repliserte at det karakteriserte forholdene godt, det var bare det at i hans hjemland var boken nå bare 1 cm tykk. I vest (Frankrike) hadde man også det problem at ved en ny skoleordning ble det kastet en rekke nye bøker ut på markedet, og bare noen få av disse var brukbare.

Det lot til at de fleste mente at innholdet i fysikkbøkene ikke burde forandres så meget. Men som tidligere nevnt var det interesse for mere teknisk stoff.

Man lot også til å være enige om at det var nødvendig med karakterer. Men man var klar over at gode karakterer i fysikk ikke nødvendigvis betyr stor fysisk innsikt. Den øst-tyske representanten viste i denne forbindelse til en undersøkelse i hans hjemland som bekreftet dette.

Fysikk integrert med andre fag og de problemer dette medfører ble bare nevnt i bisetninger.

Det ble (fra sovjetrussisk side) advart mot å skille lærerutdannelsen fra den ordinære universitetsutdannelsen. Man hadde dårlige erfaringer i Sovjetunionen med dette.

Professor Higatsberger fra Wien redegjorde for «Das neue didahtische System», som består av en rekke undervisningsfilmer som på en lettvint måte kan vises med spesialutstyr.

Det ble nedsatt en komite bestående av formannen og sekretæren for å bearbeide de innleverte pensumoversiktene (og de som blir innlevert) til en publikasjon.

Til det neste møtet (som trolig blir i september eller oktober 1976) ble det bestemt å arbeide videre med problemene i den videregående skolen. Det er sannsynlig at lærerutdannelsen vil bli tatt opp på møtet.

Bøker

Ivan Th. Rosenqvist et al.: Geologien og mennesket, Gyldendal norsk forlag A/S, Oslo 1973. Pris innb. ??

Intensjonene med boka er å være et avansert populærvitenskapelig verk om vår klode, og den er både avansert og ajour nok for et populærvitenskapelig verk. Om den fører et folkelig nok språk til å kalles populærvitenskapelig er tvilsomt for enkelte kapitlers vedkommende.

Boka starter med et kapittel om de geologiske vitenskaper og menneskene.Dette er virkelig spennende og festlig lesning som vil ha mye å gi til de fleste. Det følgende kapitlet om jorden, månen og stjernene tar på en lettfattelig måte opp så fundamentale emner som universets dannelse – jordens indre og ytre oppbygning og sammensetning, og kontinentaldrifthypotesen. Tredje kapittel gir svar på mange spørsmål i forbindelse med livets oppståen og utvikling. De følgende kapitler om Norges geologi, mineralogi, petrografi og malmgeologi er fulle av nyttige og relevante informasjoner, men enkelte skyter nok forbi amatørgeologen. Særlig gjelder dette kapitler om et emne som interesserer så mange; malmgeologi. Her er tonen blitt for akademisk til å

(forts. side 36)

Optiske hukommelsessystemer

Svein Prydz

Kan holografi brukes som basis for hukommelse i en elektronisk regnemaskin? Alle eksperter synes å være enige om at så er tilfelle. Spørsmålet er mer: Hvorledes kan det best skje i praksis, hva slags fysisk-kjemisk system bør man velge, og hvilke egenskaper bør en holografisk regnemaskin-hukommelse fortrinnsvis ha?

Krav til hukommelsen.

Hvilke krav kan man så generelt stille til en computer-hukommelse? For visse formål trenges stor lagringskapasitet for data. I andre anvendelser kan hurtighet under inn- og utlesing være det viktigste. I alle tilfeller spiller prisen en betydelig rolle. Det er ikke utenkelig at passende former for holografisk lagring i data, med optisk inn- og utlesing, kan konkurrere gunstig med de fleste andre lagringsprinsipper når det gjelder samtlige disse tre kriterier på brukbarhet.

Og nettopp hurtigheten og den store lagringskapasitet oppnådd samtidig kan fylle et behov som er blitt stadig større, mens den faktiske utvikling innen den mer vanlige computer-teknologi synes å ha skilt ad disse to egenskapene: *Enten* fikk man det ene *eller* det andre.

Av anvendelser som krever både stor kapasitet og hastighet, kan vi f.eks. tenke på optiske kommunikasjonssystemer, dataoverføring fra passerende satelitter og endelig vanlige regnemaskiner hvor aksesstiden til de store datalagre (eks. disk og tape) er betraktelig. Moderne regnemaskiner bruker ofte flere slags hukommelser ordnet i et hierarkisk system: store og langsomme hukommelses-systemer for sjelden bruk, mindre, men hurtigere hukommelser for hyppig bruk under regneoperasjonene, og data flyttes etter behov mellom disse forskjellige lagerplasser. La oss i Fig. 1 se på de vanlig brukte maskinhukommelser og samtidig markere i diagrammet den sansynlige plassering av de optiske hukommelser (stiplet) når det gjelder hurtighet (invers aksesstid) og lagringskapasitet. Noen forskjellige utbygde regnemaskin-systemer er angitt i diagrammet. (Disse omtales summarisk i siste del av artikkelen.)

Ønskemålet for den holografiske hukommelse er bl.a. følgende 1) Ingen mekanisk bevegelige deler. Dette gir den største hurtighet i operasjon. Samtidig kan mekaniske bevegelser lett bli for unøyaktige for en optisk hukommelse. 2) Informasjonen bør lagres i holografisk form heller enn i form av vanlige billeder, dette garderer mot tap av informasjon ved lokale (mikroskopiske) skader, idet et enkelt billedes informasjon er spredd ut i hele systemet (i form av et lagret «interferensmønster»). Av hensyn til stor kapasitet og den derved ønskede «pakking av data» bør disse etableres i binær form, lyse og mørke flekker (tilsvarende 1'ere og 0'er eller ja og nei) heller enn som tegning, fotografi, kart eller i form av lignende strukturer. 3) Datapakkingen bør skje i form av redigerte «sider». Holografisystemets mulighet for å lagre tredimmensjonale billeder har ingen interesse i denne forbindelse. 4) Informasjonen bør lagres i tykke, heller enn i tynne hologrammer, altså ikke på film men i massive krystaller. Den teoretiske kapasitet av film er 4×10^8 bits pr. cm^2 mens den i en tredimensjonal matrix blir $(2 \times 10^4)^3 = 8 \times 10^{12}$ bits pr. cm^3. Dette tilsvarer 1 bit pr. λ^3 (en kube med sidekant lik lysets bølgelengde). Full volummessig utnyttelse av et tykt holografi-

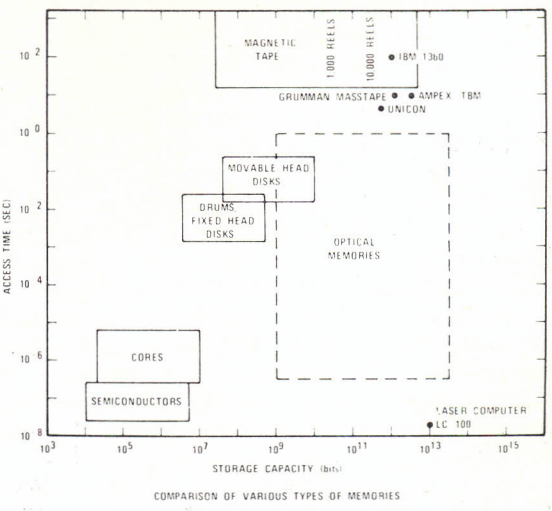


Fig. 1. Overblikk over vanlige hukommelsessystemer som viser hvorledes kort aksesstid lett gir liten kapasitet og stor kapasitet lett lang aksesstid. De optiscke hukommelser gir løfte om relativt kort aksesstid selv ved stor lagringskapasitet.

Dr. philos. Svein Prydz er førsteamanuens ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

medium (til forskjell fra film) får en først når en kan lagre mange hologrammer oppå hverandre, og det går an bare man bruker forskjellige referansestråler for hvert hologram. Det som da skiftes fra hologram til hologram er vinkelen mellom skrivestrålen og referansestrålen. Det er stor vinkelselektivitet og mange informasjonssett kan lagres på hverandre uten særlig interferensstøy. Jo tykkere hologram-mediet er, jo trangere blir vinkelområdet omkring Braggvinkelen for det enkelte hologram. Et problem oppstår idet innskrivingen av de senere hologrammer i et volumområde har tendens til å utviske de først innskrevne hologrammer i samme volumområde. Eksempelvis kan nevnes en metode til å unngå dette: Hvis litium niobat brukes som medium, befordrer et ytre elektrisk felt innskrivingen ved at skriveføIsomheten økes uten at utskrivningsgraden økes tilsvarende.

Enhetene i den holografiske hukommelse.

Hva trenger man så for å operere en hologram-hukommelse? Jo, følgende enheter: en egnet lyskilde, en innretning for avbøyning av lysstrålen, en innretning for redigering av informasjonen i form av «sider» og endelig en array av detektorer for utlesning, og alle disse enheter plasseres så omkring selve hukommelsescellen, en krystall av et passende materiale. I tillegg trenges atskillig elektronikk for etablering av tjenelig «interface» mellom de forskjellige enhetene i systemet.

TABELL I

TYPES OF BEAM DEFLECTORS

GALVANOMETERS
Moving iron galvanometers
Moving coil galvanometers

ACOUSTO-OPTIC
Alpha-iodic acid (α-HIO_3)
Lead molybdate ($PbMoO_4$)
Tellurite glass
Tl_3AsS_4
H_2O
As_2S_3 glass
TeO_2

ELECTRO-OPTIC
Lithium niobate ($LiNbO_3$)
Strontium barium niobate ($Sr_{0,75}Ba_{0,25}Nb_2O_6$)
Nitrobenzene
Potassium tantalum niobate (KTN)

Lyskilde. Det nødvendige koherente, kollimerte lys som kreves for holograminnskrift, fås lettest fra en laser. Denne må kunne pulses eller gates med frekvens av størrelsesorden 10^6 s^{-1}. Gjennomsnittlig optisk effekt lik eller større enn ca. 1 W er nødvendig. Disse krav samt ytterligere krav om amplitude- og frekvens-stabilitet innfries av lasere som er tilgjengelige idag, f.eks. argon ion-laseren, men denne er dyr (ca. $ 20 000) og har dårlig konversjonseffektivitet fra elektrisk til optisk effekt (bare ca. 0,1 %).

Stråleavbøyning. For skriving, lesing og utvisking av hologrammer må forskjellige stråleavbøyende enheter benyttes. Strålens posisjonsendring (ny vinkelinnretning) må være rask og nøyaktig. *Tabell 1* viser noen eksempler på stråledeflektorer basert på de tre hovedprinsipper: speil-galvanometer og akkustisk-optiske eller elektro-optiske systemer. Brukbarhets-kriteriene er vinkelmessig oppløsning og random aksesstid (nødvendig tid for ny vinkelinnretning fra én til en annen vilkårlig retning). Oppløsningsevnen kan defineres som kvotienten mellom maksimal avbøyning og den minste brukbare vinkelendring som er gitt ved diffraksjonsforholdene i krystallen. Denne kvotienten gir altså antall innstillingsvinkler for strålen som kan brukes.

Mekanisk galvanometeravbøyning er relativt langsom, men gir god innretningspresisjon, mens magneto- og elektro-optisk avbøyning er rask, men noe mindre presis. Derved får de siste to mindre oppløsning enn galvanometer-systemene, men dette kan bøtes på ved å bruke flere deflektorer etter hverandre. Det er f.eks. bygget en elektro-optisk deflektor med 20 suksessive trinn som kan oppløse en todimensjonal array på 1024 x 1024 flekker, og som har en random aksesstid = 0,8 μs.

Sideredigering. Digitale elektriske signaler må omformes i todimensjonale optiske «bit arrays» (lyse og mørke flekker tilsvarende 1'ere og 0'er) som kan overføres i hologrammet. Her kan vi passende tenke på et gjennomsiktig sjakkbrett med vilkårlig valgbare lyse og mørke felter. Redigeringsenheten plasseres i billed- eller objektstålen, og det todimensjonale mønster av vekslende optisk tetthet (OD), og derved i intensiteten av transmittert lys, vil ved interferens med referansestrålen gi det holografiske billedet, idet den romlig vekslende intensitetsfordeling gir varige endringer i det holografiske materiale.

De viktigste krav til redigeringsenheten er følgende fem:

1) Kort tid for omskifting av OD-mønster, helst av størrelsesorden mikrosekund eller kortere.

TABELL 2: Types of Page Composers.*

Page Composer Concept	Materials	Addressing Techniques
Polarization rotation by induced birefringence (electrooptic effects)	PLZT (ceramic), $Bi_4Ti_3O_{12}$ KDP, KD*P, ADP	Electrode matrix, Electron beam, Light beam (with photoconductor)
Phase changes by formation of surface relief pattern	Thermoplastics, Photoplastics, Thin metalized membranes	Electron beam, Electrode matrix plus charge
Phase disturbances by piezoelectric excitation of reflecting surfaces	Mirrored piezoelectric crystals	Individual switches to an rf driver
Optical density change by induced absorption	Photochromics, Cathodochromics	Light beam (uv) plus flood illumination for erase, Electron beam plus flood illumination for erase
Optical scattering change by electrical agitation	Liquid crystals	Electrode matrix, Light beam (with photoconductor)
Polarization rotation by magnetooptic effects	MnBi, EuO:Fe, Ni-Fe $FeBO_3$, FeF_3	Light beam (absorption), Conductor matrix
Traveling phase changes by acoustooptic interaction (Debye-Sears and Bragg effects)	Water (and other liquids), Fused quartz (and other amorphous solids), $PbMoO_4$ (and other crystals)	Transverse interaction of coherent light and traveling acoustic waves
Thermally induced shift in absorption band edge	CdS, CdSe, As_2S_3	Electrode matrix for heating and heat sink substrate for cooling
Optical scattering by poled and unpoled regions of a ferroelectric	PLZT (ceramic)	Electrode matrix
Phase changes by variation of optical path length	Electrostrictive materials, PLZT (ceramic)	Electrode matrix, Double hologram recording method
Reflection changes from thin, deformable membrane mirror elements	Metal films over a substrate support structure	Electrode feedthrough from transistor on back of substrate

*adapted from H. N. Roberts, Applied Optics, vol. 11, pp. 397-404, February 1972.

2) Høy oppløsning, dvs. sjakkbrettrutene må kunne gjøres små, helst ned til 100–10μm.
3) Stor apertur, dvs, at hele tverrsnittet av laserstrålen må kunne moduleres slik at et tilstrekkelig antall bits til en full «side» (fra 64 x 64 til 1024 x 1024 elementer) kan innkodes.
4) Stor kontrast, f.eks. en forskjell så stor som fra 100 til 1 i transmittert lys eller OD verdier opp til 2 (log 100 = 2) mellom lyse og mørke ruter. Mange systemer kan tilfredsstille dette krav.
5) Stor stabilitet slik at OD ikke endres under eksponering av objektstrålen.

I praksis er det gjort mange forsøk på å imøtekomme disse krav, og særlig er det vel «liquid crystals» som synes lovende, selv om det er mange forskjellige fysiske prinsipper (og materialer) som kan tenkes å komme i bruk. Tabell 2 viser forskjellige slike muligheter.

PLZT redigeringsenheter (bly-lantan-zirkonat-titanat) synes også å være meget lovende og har ikke det drawback som er dominant for liquid crystals, nemlig en altfor langsom omskiftningshastighet (ca. 0,1 sekund for liquid crystal-celler). To nye sideredigeringsenheter er nylig utviklet. Den ene benytter en array enheter som utgjøres av en tynn deformerbar og speilende mebran. Den andre anvender endringene med temperaturen i kant- absorpsjonen til CdS's optiske absorpsjonsbånd.

Holografiske materialer. Det sentrale element i den optiske hukommelsen er selvsagt det registrerende materiale hvor hologram-mønstrene lages. Registreringsmaterialet må fylle en rekke krav:

1) Høy følsomhet. Tabell 3 angir nødvendig energitetthet for de forskjellige materialer. Helst bør denne være mindre enn 1 millijoule/cm^2.
2) Stor diffraksjonsenergi (den brøkdel av referansestrålens energi som under utlesning spres over i den rekonstruerte datastråle). Da vil mange hologrammer kunne lagres på hverandre ved minimum sammenblanding.
3) Utvisking og nyskriving må være mulig uten tidkrevende prosesser, og uten noen degradering av materialet.
4) Lang holdbarhet. Ideelt skal hologrammet være permanent når det engang er lest inn.

TABELL 3: Required Writing Energy Density for Various Optical Recording Materials.

Material	Type of Material	Writing Energy Density (joules/cm²)
$Bi_{12}SiO_{20}$	Ferroelectric-Photoconductive	1×10^{-6}
Malachite Green:		
Sucrose Benzoate	Thermoplastic	2×10^{-5}
Agfa 8E70	Photographic	2×10^{-5}
Kodak 649F	Photographic	7×10^{-5}
$Bi_4Ti_3O_{12}$-ZnSe	Ferroelectric-Photoconductive	1×10^{-3}
$LiNbO_3$:Fe	Photorefractive	2×10^{-3}
$Sr_{0.75}Ba_{0.25}Nb_2O_6$	Photorefractive	6×10^{-3}
Dichromated Geletin	Photochemical	1×10^{-2}
CaF_2:Ce	Photochromic	1×10^{-2}
PLZT	Ferroelectric-Photoconductive	1×10^{-2}
KCL:Na	Photochromic	1×10^{-2}
MnBi	Magnetooptic	3×10^{-2}
$Te_{48}Ge_7As_{55}$	Amorphous Semiconductor	5×10^{-2}
GdIG	Magnetooptic	9×10^{-2}
EuO	Magnetooptic	9×10^{-2}
NaF	Photochromic	9×10^{-2}
CoPniFe	Magnetooptic	1×10^{-1}
$SrTiO_3$:Ni:Mo	Photochromic	2×10^{-1}
$BaTiO_3$	Photorefractive	2×10^{-1}
MnAlGe	Magnetooptic	3×10^{-1}
$Te_{41}Ge_{15}Sb_2S_2$	Amorphous Semiconductor	5×10^{-1}
PMMA (Q-doped)	Photopolymer	1
KBr	Photochromic	1
Cu_2HgI_4	Thermoplastic	3
$BaNaNb_5O_{15}$	Photorefractive	5
$As_{15}S_{85}$	Amorphous Semiconductor	5
$Bi_4Ti_3O_{12}$	Photorefractive	10
$LiNbO_3$ (undoped)	Photorefractive	100
PMMA (undoped)	Photopolymer	100

I praksis kan det være aktuelt å *gjenoppfriske* det etter en viss tid.

5) Ved avslått effekt bør hologram-billedene forbli i hukommelsen.
6) Ikke-destruktiv utlesning er ønskelig. Ubegrenset mange gangers avlesning av data bør kunne skje uten noen form for degradering av hologrammet.
7) Som tidligere nevnt, bør tredimensjonel (volummessig) lagring være mulig.
8) Oppløsningsevnen bør være høy. Som tidligere omtalt må materialet varig kunne innprentes og gjengi inferensmønstre mellom referanse- og objekt-strålen med detaljer av størrelse ned mot lysets bølgelengde.

Mye forskning har vært nedlagt for å frembringe systemer som best mulig tilfredsstiller alle disse åtte krav. Særlig lovende synes nå fotorefraktive materialer (hvor optisk induserte forandringer i brytningsindeksen for lys utnyttes). Slike materialer, som ofte er ferroelektriske (eks. litiumniobat, strontium/bariumniobat) har i spesielle modifikasjoner fått sterkt forbedrede egenskaper. I 1968 trengtes 100 joule/cm² for innskrivning av hologrammer, i 1974 bare 2 millijoule/cm², altså en forbedring på fem størrelsesordner når det gjelder krav 1) ovenfor. Også svar på de andre krav, punktene 2) til 8), har vært rapportert for ferroelektriske stoffer, men man vet ennå ikke om det er mulig å oppnå fullgode verdier for alle krav i én og samme dopede ferroelektriske krystall. Det kan trolig eksistere koblinger mellom parametrene som for-

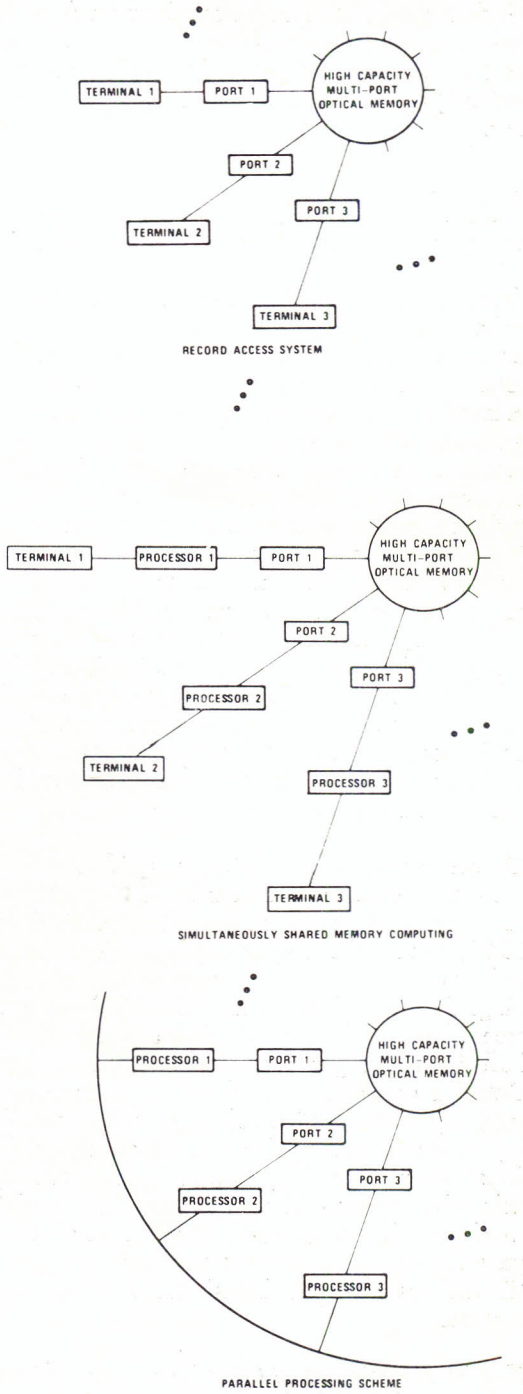


Fig. 2. «Multiport» hukommelsessystem i tre anvendelser:
a. Flere brukere har samtidig adgang til, uavhengig av hverandre, å lagre/hente data.
b. Flere brukere har samtidig og uavhengig av hverandre adgang til lagring/henting/modifisering av data.
c. Ved parallellprosessering kan flere input/

hindrer dette. Men kan noen komme frem her med brukbare kombinasjoner, vil det like sikkert bli produsert kommersielle optiske hukommelsessystemer med skrive/lese/utviske-mulighet.

Detektormatrise.

En matrise bestående av mange fotodetektorer, én svarende til hver bit i en holografisk «data-side», trenges for å omsette hologramdata til elektriske binære data. Hver detektorenhet må kunne angi lys eller mørke i sin tilhørende posisjon, svarende til én eller null i totalsystemet. For en «single-port memory» (et enkanals input/output system) vil alle hologrammer bli avlest via den samme detektormatrise. En rimelig nødvendig utlesningseffekt vil være fra 0,1 til 1 mikrowatt pr. bit, og allerede nå har man detektorer som opererer ved 0,3 μW pr. celle. Et annet krav er at det er mulig å produsere arrays hvor alle elementer er uten feil og med nær samme følsomhet. Bell Laboratories har konstruert et «silicon diode array» TV kamera rør med 525 000 individuelle fotodioder på én og samme silisiumskive og derfor med nær identiske egenskaper. Det er også produsert silisium fototransistorer som ved multi-lag teknikk tillater enhver bit utlest i løpet av ca. 1 μs.

Optiske hukommelsessystemer pr. idag.

Noen etablerte varianter av optiske hukommelser er plottet inn på Fig. 1. IBM 1360 (fra 1966, men ikke lenger i produksjon) brukte elektronstråler for innlesning, men optisk utlesning. Presisjon Instruments' UNICON laser system leser inn bit for bit ved å «brenne» fine hull i et beveget metallisert polyester belte. Dette er et «read-only» ikke-holografisk system med lagerkapasitet 7 x 10^{11} bits og gjennomsnittlig aksesstid noe mindre enn 10 sekunder. The Laser Computer Corporation hevder sensasjonelt å ha laget en 10^{13} bit hukommelse med 20 ns aksesstid. Denne overtreffer altså helt anslagene for optiske hukommelser, men det har hittil vært vanskelig å fremskaffe data om dette systemet.

Nye organisasjonsstrukturer for regnemaskinene.

Optiske hukommelsessystemer kan komme til å skape revolusjon innen regnemaskinenes arkitektur. Hurtighet, kapasitet og pris kan bli sterkt endret. Vi skal huske at her leses hele sider av informasjon inn eller ut i én operasjon, ikke bit for bit. Systemet gir god anledning til bruk av flere kanaler (ports) for inn/ut-lesing av data, også simultant. Dette byr på store fordeler for parallellprosessering.

I figur 2 vises tre typiske anvendelser for en «multiport» hukommelse. 1) viser hvorledes man gjennom flere kanaler får adgang fra adskilte terminaler til de lagrede data. 2) viser simultan bruk av data fra hukommelsen av forskjellige brukere gjennom tre forskjellige kanaler. 3) viser parallellprosessering, også her gjennom adskilte kanaler i et «multiport» system. Dataoverføring mellom de forskjellige prosessorer kan skje utvendig. Holografiske hukommelsessystemer med mer eller mindre komplette skrive/lese/utviskefunksjoner er hittil laget av RCA-Labs, Harris-Intertype, Bell Labs, Thomson-CSF, Nippon Corp, og noen få andre. Man kan vel trygt si at den fullt utviklede holografiske hukommelse ventes å skape et gjennombrudd til en ny generasjon av regnemaskinteknologi i løpet av relativt få år.

Denne artikkel er et utdrag fra Thomas K. Gaylord: Optical Memories-Filling the Storage Gap (Optical Spectra June 1974). T. K. Gaylord, B. S., M. S., Ph. D., er ansatt ved the School of Electrical Engineering of Georgia Inst. of Technology, U. S. A.

output-kanaler til hukommelsen knyttes til hver sine regnemaskinenheter som er utvendig forbundet og koordinert for større beregningsoppgaver hvor store datamengder skal behandles.

Bøker

W. Noll: Foundations of Mechanics and Thermodynamics. Selected papers. Springer Berlin 1974. 324 s. Uinnbundet, 49 DM.

Walter Noll hører til en krets (Truesdell, Rivlin, Ericksen m. fl.) som efter krigen har forsøkt en slags renessanse av den tekniske mekanik, spesielt kontinuumsteori. Et vesentlig trekk i dette arbeidet er å erstatte alle spor av klassisk analyse med 'Bourbaki'. Men denne skolen har også brutt ny mark på områder som plastisitet, viskoelastisitet, hysterese og den matematiske klassifisering av materialegenskaper.

Boken er delt i fire hovedkapitler:

I Local Kinematics
II The General Constitutive Equation
III Simple Materials
IV Special Classes of Materials

Dette høres jordnært ut men er i virkeligheten en sammenhefting av en rekke høyst abstrakte artikler om grunnlaget.

(forts. side 36)

Fisjon og fusjon —

noen problemer i et kjernekraftsamfunn

Del 2.

*Øivin Holter**

4.3. *Reaktorulykker.*

Katastrofale ulykker i kjernekraftverk vil kunne oppstå i situasjoner hvor store mengder radioaktivt materiale ($\geq 5 \cdot 10^8$Ci) ved en eller annen ukontrollert prosess unnslipper til omgivelsene. Dette kan skje ved at en stor del av reaktorens potensielle energi – kjerneenergi i brensel og avfall, kjemisk energi i kjølevæske og, for fusjonsreaktorer, energi i magnetfelt – frigjøres og ødelegger reaktoren og dens sikkerhetsbarrierer. En reaktortypes ulykkespotensial blir derfor i første omgang bestemt av to forhold, mengden av radioaktivt materiale og potensiell energi i reaktoren.

For to mulige framtidige reaktortyper har vi i tabell 6 ført opp mengden av radioaktivt materiale og det tilsvarende risikopotensial. I tabell 7 har vi ført opp størrelsesordenen av den lagrede potensielle energi i to mulige alternative reaktorer. For en frigjøring av den potensielle energi i en reaktor må det imidlertid være fysikalske prosesser som gjør dette mulig.

Den kjemiske energi for begge reaktortyper er i kjølevæsken og er av samme størrelsesorden, og forholdsregler for å hindre kjemiske reaksjoner vil være av samme karakter. For fusjonsreaktorens vedkommende må det også treffes tiltak slik at energien i magnetfeltet ikke kan frigjøres over korte tidsrom.

Tabell 7. Potensiell energi (Joule) for to alternative typer reaktorer (8).

Potensiell energiform	Reaktortype	
	Fusjonsreaktor	Breeder
Kjemisk	10^{12} (Li)	10^{12} (Na)
Magnetisk	10^{11}	–
Kjernefysisk	10^{12}	10^{19}

1 tonn TNT = $4 \cdot 10^9$ Joule.

En kjernefysisk eksplosjon ansees for umulig i både termiske fisjonsreaktorer og fusjonsreaktorer. I en fusjonsreaktor vil bare en liten del (ca. 0.2 %) av brenslet befinne seg i selve reaktoren. Det er dessuten i plasmaet flere innebygde fysikalske prosesser som vil forhindre at energien i reaktorbrenslet frigjøres eksplosivt. I en natriumkjølt breeder, hvor man benytter høyt anriket brensel, er imidlertid situasjonen vesensforskjellig og det er i tilknytning til denne reaktortypen at man antagelig har den

Tabell 6 Viktigste radioaktive stoffer og risikopotensial i luft ved reaktoruhell (6).

Reaktor	Stoff	MPC (Ci/m³)	Aktivitet (Ci/W)	Risikopotensial (m³/W)
Breeder				
	Jod-131	10^{-9}(L)	$3.2 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^8$
	Plutonium-239	$6 \cdot 10^{-14}$(L)	$6.0 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^9$
	Plutonium[1)]		$1.8 \cdot 10^{-2}$	$8.3 \cdot 10^9$
Fusjon	Tritium	$2 \cdot 10^{-6}$(L)	$6.0 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^5$
m/Niob	Niob 95 o.a.		$7.0 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^8$
m/ Vanadium	Scandium 48 o.a.		$5.5 \cdot 10^{-2}$	$8.6 \cdot 10^5$

[1)] Alle plutoniumisotoper.

største risiko for en eksplosiv frigjøring av kjerneenergi.

Poenget ved en breeder er at den produserer mer brensel enn den selv forbruker. Som et mål for hvor god en breeder er – som breeder – kan man benytte den såkalte doblingstid, dvs. den tid det tar før den opprinnelige brenselsmengde i brenselssyklusen er doblet slik at en eventuell ny reaktor kan startes. Flere sikkerhetsmessige problemer ved breederen er tildels en konsekvens av ønsket om å minimalisere doblingstiden.

Doblingstiden kan skrives på formen:

$$\text{Doblingstid} \propto \frac{\text{Brenselsinvestering}}{\text{Breederforholdet} - 1},$$

hvor brenselsinvestering betegner antall kg fissilt materiale i brenselssyklusen pr. MW produsert energi. Breederforholdet er mengden av produsert fissilt materiale pr. enhet forbrukt materiale.

For å minimalisere doblingstiden må brenselsinvesteringen minimaliseres og breederforholdet maksimaliseres. Begge disse krav er av en slik karakter at de reduserer sikkerheten i brenselssyklusen. For å oppfylle det første krav bør brenslet ha et kortest mulig opphold utenfor reaktoren, f. eks. under avkjøling, under transport og i reprosesseringsanlegg, noe som spesielt kan medføre store kjølingsproblemer under transport av radioaktivt avfall med høy varmeutvikling. For å maksimalisere breederforholdet bør reaktorkjernen være mest mulig kompakt slik at antallet plutoniumproduserende nøytroner blir størst mulig. Dette vil samtidig øke energiproduksjonen pr. volumenhet slik at mulighetene for effektiv kjøling blir mindre og mulighetene for ukontrollerbare reaksjoner i reaktoren dermed større.

En ukontrollert kjernereaksjon i en breeder representerer en stor potensiell risiko fordi breederen vil inneholde plutonium (ca. 1 tonn for en 1000 MW reaktor) og høyt anriket uran, som langt overskrider den kritiske masse som er nødvendig for en kjernefysisk eksplosjon. Hvis et uhell inntreffer, kan en kritisk konfigurasjon oppstå i reaktorkjernen. Sprengvirkningen av en slik ansamling er i stor utstrekning bestemt av den hastighet hvorved den kritiske masse samles. Denne hastighet vil være relativt liten i en reaktor og en ukontrollert kjedereaksjon i en breeder vil ikke kunne frigjøre så store energimengder at den kommer i klasse med atombomber. For å forhindre at eventuelle eksplosjoner skal kunne sprenge reaktortanken, bygger man inn effekter som bidrar til å redusere de energimengder som eventuelt kan frigjøres. Selv om dette i prinsippet kan være mulig, er det imidlertid et åpent spørsmål om det er mulig å garantere seg mot at det på senere tidspunkt i en uhellssekvens dannes kritiske konfigurasjoner hvor så store energimengder kan frigjøres at reaktoren revner (9).

4.4. *Problemer ved normal drift.*

Vi skal her bare kort omtale tre av problemene forbundet med normal drift; det rutinemessige utslipp av radioaktivt materiale, varmeforurensning og transportproblemer.

Rutineutslipp av radioaktive stoffer i brenselssykluser kan i stor utstrekning kontrolleres. For fisjonsreaktorer er gjenvinningsanlegget den mest utsatte del. Ved fusjonsreaktorer vil gjenvinningen foregå i direkte tilknytning til reaktoren. Et problem er her at tritium som utgjør en del av brenselet, har en tendens til å diffundere gjennom varme metallvegger. Selv om det kan by på tekniske problemer regner man med at tritiumutslippet ved fusjonskraftverk kan holdes på et nivå som er lokalt akseptabelt. Med

Tabell 8. Globalt risikopotensial ved rutineutslipp fra fusjonskraftverk. Antatt daglig utslipp: 7 Ci pr. 10^9 W (6).

Medium	Rutine utslipp (Ci/W år)	Stasjonært nivå (Ci/W)	MPC (Ci/m³)	Risikopotensial (m³/W)	Totalt risikopotensial i m³			
					Alternative energiforbruk (tabell 1)			
					1970	A	B	C
Luft	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{2}$	$1.4 \cdot 10^{15}$	$6.6 \cdot 10^{15}$	$2.2 \cdot 10^{16}$	$6.6 \cdot 10^{16}$
Vann			$3 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$9.4 \cdot 10^{10}$	$4.4 \cdot 10^{11}$	$1.5 \cdot 10^{12}$	$4.4 \cdot 10^{12}$

Sirkulerende vann på jorda: $2.7 \cdot 10^{16}$ m³; luft under 10 km: $5 \cdot 10^{18}$ m³.

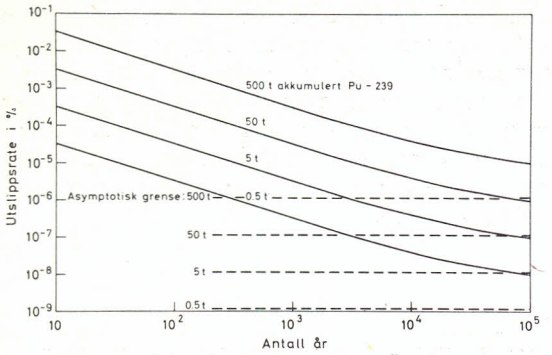


Fig. 2. Utslippsraten for plutonium som funksjon av antall år med et konstant energiforbruk 10^{14} W basert på breedere med Pu-239 som brensel. Forskjellige nivåer for akkumulert plutonium er angitt. MPC-verdien $6 \cdot 10^{-14}$ Ci/m³ svarer til 5 tonn Pu-239 i jordas atmosfære under 10 km (62 Ci pr. kg Pu-239). En grense for ubeboelige områder på 10^{-9} kg pr. m² gir for jordas landområder 150 tonn Pu-239.

et utslipp på 7 Ci pr. 10^9 W antyder verdiene i tabell 8 at dette, med de nåværende MPC grenser, antagelig vil være akseptabelt.

En framtidig energiforsyning basert på breedere med plutonium-239 som brensel kan bli problematisk også fra et radioaktivt forurensningssynspunkt. Plutonium er et av de giftigste stoffer som finnes; innånding av mellom 10 og 100 milliontedels gram i form av støv er dødelig, en forurensningsgrad på 10^{-6} gram pr. m² vil antagelig gjøre et område ubeboelig (5). Plutonium-239 har en halveringstid på 24 000 år, dvs. at praktisk talt alt plutonium-239 som slippes ut i f. eks. en 10 000 års periode vil akkumuleres. Med et totalt energiforbruk på 10^{14} W vil omkring $6 \cdot 10^4$ tonn plutonium sirkulere pr. år. Det er ikke mulig å si hvor stor del av dette som vil unnslippe til omgivelsene ved rutineoperasjoner, ved uhell osv., men sannsynligvis vil utslippsraten ligge mellom 10^{-1} og 10^{-7}% (9). Som det framgår av fig. 2 gir dette usedvanlig stor usikkerhet i mulighetene for å fastslå hvor lenge man eventuelt kan basere seg på en såkalt plutonium-økonomi. Hvis f. eks. 5 t plutonium er det maksimalt akseptable akkumulerte plutonium i biosfæren, vil, for en 1000 års periode, en så lav samlet utslippsrate som 10^{-5}–10^{-6} % være nødvendig. Det finnes praktisk talt ikke eksperimentelle data som kan benyttes til å anslå langtidsvirkningene av svak plutoniumforgiftning. Spesielt er den mulige høye risiko ved innånding av plutonium – aerosoler blitt framhevet, og i denne forbindelse er ønskeligheten av en vesentlig minskning av MPC-grensene påpekt (10).

Tabell 9. Ekvivalent kjølevannsbehov (m³/s) ved forskjellige totale energiforbruk med 40 % virkningsgrad.

Virkningsgrad %	Alternative energiforbruk (tabell 1)			
	1970	A	B	C
40	$5.9 \cdot 10^3$	$2.9 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^5$	$2.9 \cdot 10^5$

Avrenning fra jordas landområder: $\sim 10^6$ m³/s.
Nedbør over jordas landområder: $\sim 3 \cdot 10^6$ m³/s.

Ved alle varmekraftverk vil en stor del av energien unnslippe direkte til omgivelsene som varme. For en gitt mengde nytte-energi vil systemets virkningsgrad bestemme hvor stor denne varmeforurensning blir. Den totale energiproduksjon, som er av betydning for den globale energibalanse, er gitt ved nytte-energien dividert med virkningsgraden. Virkningsgraden for et kraftverk er avgjørende for kjølevansbehovet for de forskjellige energiforbruk vi har betraktet. Dette er angitt i tabell 9 for et system med virkningsgrad 40 %. Ved et energiforbruk på 10^{14} W gir dette et kjølevannsbehov som tilsvarer ca. 15 % av den totale avrenning fra jordens landområder.

Nødvendigheten av at brenslet oppholder seg en kortest mulig tid utenfor en breeder vil kunne føre til kort kjøletid for det brukte brensel før transport. Med 30 dagers avkjøling vil en transport inneholde ca. $7.5 \cdot 10^7$ Ci radioaktivitet med en varmeutvikling på 0.3 MW. Kjøling med flytende natrium vil derfor kunne bli nødvendig under transport. Med mellom 10 og 20 årlige forsendelser pr. 10^9 W vil sikkerheten ved transport kunne bli et alvorlig problem. Man har derfor vurdert muligheten for å samle et stort antall reaktorer med eget gjenvinningsanlegg i såkalte kjerneparker (nuclear parks (11)). Ved fusjonsreaktorer vil gjenvinning og separasjon av tritiumet foregå i direkte tilknytning til reaktoren og ingen transport utenfor anlegget er påkrevd.

5. *Avslutning.*

Det alternativ som via de store industrialiserte lands forskningsprogrammer er utpekt som framtidens energikilde er i første rekke den natriumkjølte fisjonsbreeder og – på lang sikt – fusjonsreaktoren. I USA innebærer energiprognosene at breedere fra 1990 og utover innføres i energiforsyningen i stort omfang. Noen tilsvarende plan eksisterer naturligvis ikke for fusjons-

reaktorer fordi det enda ikke er demonstrert at de kan funksjonere.

Ved utviklingen av denne mer avanserte kjernekraft står man ovenfor store teknologiske problemer. En av årsakene skyldes de energirike nøytroner som frigjøres ved både fisjons og fusjonsprosessene. I dag mangler man de nødvendige kunnskaper for å forutsi i detalj hvordan metaller vil opptre under langvarig og intens nøytronbestråling. Dette representerer et alvorlig problem fordi et metall ved nøytron bestråling vil forandre sine egenskaper; det produseres nye typer atomer, det produseres gasser, det skapes hulrom ved at atomer slås ut av posisjon, metallet svulmer opp, det taper sine elastiske egenskaper, sin styrke og blir sprøtt.

I en LMFBR-breeder fører nøytronbestrålingen til oppsvulming av brenselsinnkapslingen, og når det ved konstruksjonen tas hensyn til dette blir resultatet en redusert doblingstid. I verste fall kan disse problemer redusere LMFBR-breederen til en ikke-breeder, og det kan bli aktuelt å forsere utviklingen av andre reaktorer som nå bare utvikles i beskjedent omfang.

I en fusjonsreaktor vil det meste av den frigjorte energi være i form av kinetisk energi for nøytronene (14.1 MeV pr. nøytron ved D–T reaksjoner). Med de store påkjenningene strukturmaterialene vil bli utsatt for, kan nøytronødeleggelse bli en alvorlig hindring ved en eventuell videre teknologisk utvikling av fusjonsreaktorene (12).

I det foregående har vi særlig understreket tre problemområder som utpeker seg ved en overgang til kjernekraft: Spredning av atomvåpenmateriale, behandlingen av det radioaktive avfall og risiko for ulykker. Ingen av de to typer av kjernekraft kan antas å bli helt fri for disse problemer. Men på basis av de kunnskaper man har i dag, synes den samfunnsmessige risiko ved eventuelle fusjonskraftverk å ligge flere størrelsesordner under det man kan vente med fisjonsbreedere.

REFERANSER

(1) Ø. Holter, Teknisk Ukeblad, nr. 48, 1975.
(2) A. M. Weinberg and R. P. Hammond s. 171 i *Peaceful uses of atomic energy,* Vol 1, UN and IAEA, 1972.
(3) P. R. Kasten, Atomic Energy Review *8,* 473 (1970).
(4) Atom, s. 196, Februar 1973.
(5) T. B. Taylor and M. Willrich, *Nuclear Theft: Risks and Safeguards,* Ballinger Publ. Co., Cambridge, Mass., 1974.
(6) D. Steiner and A. P. Fraas, Nuclear Safety *13,* 353 (1972).
(7) A. S. Kubo and D. J. Rose, Science *182,* 1205 (1973).
(8) H. Postma, Nuclear News *14,* 57 (1971).
(9) T. B. Cochran, *The Liquid Metal Fast Breeder Reactor,* The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1974.
(10) A. R. Tamplin og T. B. Cochran, *Radiation standards for hot particles,* Natural Resources Defence Council, Wash. D.C., 1974.
(11) A. M. Weinberg, Science *177,* 21 (1972).
(12) A. Holmes-Siedle, Nature *251,* 191 (1974).

Bøker

(forts. fra side 32)

Vi er vant til å betrakte Elastisitet, Hydrodynamik og Termodynamik som kjære men staort sett *avsluttede* kapitler av fysikken. Truesdell-skolen fremholder intenst at det mangler mye på det. Boken skulle gi en god innføring i slike tanker. Men ørkenvandringen gjennom det store antall teoremer og hjelpesetninger som skal forbedre Euler, Maxwell, Boltzmann, Lamb og Love er nokså trettende. De får tåles, så sant det bare kan åpne for nye innsikter. «The proof of the pudding lies in the eating».

Harald Wergeland.

(forts. fra side 27)

imøtekomme amatørmalmleterens behov for en enkel informasjon om sammenhengen mellom geologiske forhold og malmers opptreden.

De siste to kapitlene om teknisk geologi og regional utnyttelse vil nok bli lest med stor interesse av mange, særlig rundt omkring i utbygnings- og planleggingskontorene i fylker og kommuner. Her er mye nyttig informasjon gjort tilgjengelig på en lettfattelig måte.

Boka er rikt illustrert. De fleste illustrasjonene er også relevante, men vakre er de ikke. Særlig gjelder dette tekstingen som tildels er utført på frihånd. Fig. 119 bør i alle fall skiftes ut til neste utgave.

Men alt i alt er det blitt en vellykket bok om emner som det har vært skrevet alt for lite om på norsk. Boka vil bli mye lest, også som oppslagsverk, fordi den fyller et behov som har vært der lenge i et land der de geologiske forholdene virker så sterkt inn på livsvilkåra.

Fredrik Chr. Wolff

Machs prinsipp

i generell relativitetsteori

*Yngvar Hartvigsen**

At få norske fysikere beskjeftiger seg med generell relativitetsteori er det intet galt i. At det derimot hos så mange synes å herske en fundamental uvidenhet om en så viktig gren av fysikken, er mere beklagelig. En lett frustrasjon på dette punkt ligger bak denne artikkelen, som behandler en av de mere filosofiske sidene ved generell relativitetsteori.

Absolutt og relativt. Machs prinsipp.

En av de største gåter i Newtons mekanikk er skillet mellem to fundamentalt forskjellige typer referansesystemer: På den ene side inertialsystemene, på den annen side alle systemer som er akselerert i forhold til disse. I inertialsystemene gjelder Newtons lover, f. eks. beveger frie partikler seg jevnt og rettlinjet. I de akselererte systemene oppstår derimot «treghetskrefter». Dette er «fiktive krefter», dvs. de har ingen materiell årsak. For å forklare disse kreftene innførte Newton begrepet *absolutt rom*. Treghetskreftene mente han oppstår ved akselerasjonen i forhold til det absolutte rom.

Denne «forklaringen» sier egentlig intet: Per definisjon har det absolutte rom bare en eneste fysisk egenskap: å gi opphav til treghetskrefter. Det er derfor bare et annet navn på problemet. I samtiden blev Newton kritisert av Leibnitz, og fremfor alt av Berkeley. Han hevdet at begrepet rom bare er en abstraksjon, en tankekonstruksjon med rot i vår oppfatning av avstand. Rommet i seg selv har overhodet ingen fysiske egenskaper, og kan ikke gi opphav til krefter eller påvirkninger.

Berkeleys idéer blev senere tatt opp igjen, og videreført, av Ernst Mach. Han tar for seg et eksempel med en roterende vannbøtte, som Newton hadde brukt tidligere. Hvis vannet i bøtten er i ro (relativt til stjernehimmelen f. eks.), er vannoverflaten plan. Hvis bøtten settes i rotasjon, slik at vannet roterer relativt til stjernehimmelen, blir overflaten konkav. Newton mente årsaken til dette var rotasjon i forhold til det absolutte rom.

Mach ville fjerne «metafysiske» og abstrakte begreper fra fysikken, og spurte: er det ikke mer nærliggende for en fysiker å anta at årsaken ligger i rotasjonen i forhold til *stjernene?* I moderne sprogdrakt: Kanskje de samlede masser i universet skaper et felt, og at treghetskrefter oppstår ved akselerasjon rela-

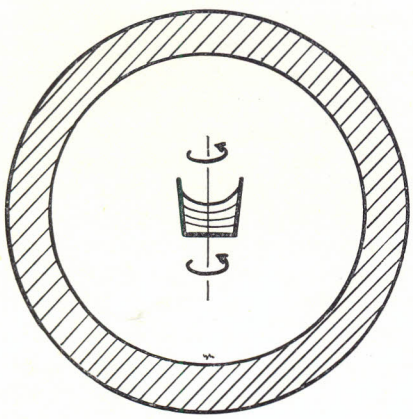


Fig. 1 En roterende vannbøtte. De øvrige masser i universet er fremstilt skjematisk som et kuleskall omkring bøtten, og vi ser på figuren et tverrsnitt gjennem bøtten og kuleskallet. Vannoverflaten blir konkav pga. vannets rotasjon.

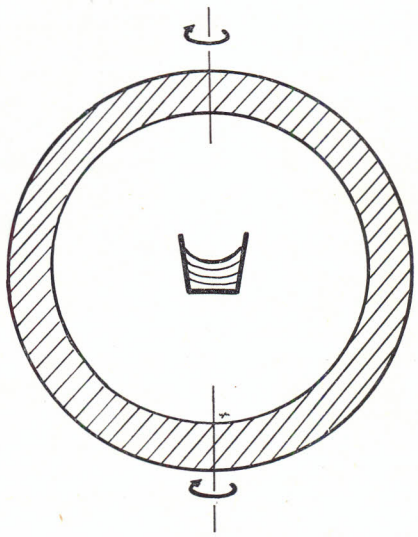


Fig. 2 Bøtten er «i ro», men det øvrige univers er satt i rotasjon i motsatt retning. Situasjonen er *kinematisk* ekvivalent med den foregående, og er derfor ifølge Mach også *dynamisk* ekvivalent. Vannoverflaten skal altså også i dette tilfelle bli konkav.

* Cand. real. Yngvar Hartvigsen er lektor ved Oppegård Videregående Skole, Ski.

tivt til dette feltet. All bevegelse blir da *relativ:* Dersom man kunne holde vannbøtten «i ro», og sette hele stjernehimmelen i rotasjon omkring den, skulle vannoverflaten også da få konkav form.

Disse tankene er hos Mach filosofisk begrunnet. Å fremsette en ny fysisk teori, med mulighet til detaljerte beregninger av vekselvirkningen mellem fjerne og nære masser, var det først Einstein som var istand til. Einstein sammenfattet Machs idéer om rommet, og gav dem navnet *Machs prinsipp.* Prinsippet kan bl. a. formuleres slik:

> Treghetskrefter oppstår ved akselerasjon i forhold til de fjerne masser i universet.

Vi kan også si:

> Bare relativ bevegelse mellem massene i universet kan ha fysisk mening. Vi skal ikke kunne snakke om bevegelse i forhold til rommet selv.

Efter dette skal alle observatører være prinsipielt likeverdige: det skal bl. a. ikke være mulig å si om en av dem at han er i «absolutt» ro.

Generell relativitetsteori

Alle referansesystemer som beveger seg jevnt og rettlinjet i forhold til et inertialsystem er selv inertialsystemer, og Newtons mekanikk har ingen mulighet til å skille mellem disse. I den tidligere oppfatning av elektromagnetismen skulle derimot en gruppe systemer kunne utpekes som værende i ro, nemlig de systemer hvor et lyssignal brer seg like raskt i alle retninger fra lyskilden.

Med den *spesielle* relativitetsteori fra 1905, fjernet Einstein alle muligheter til å skille mellem interialsystemer. Han modifiserte Newtons oppfatning av tid og rom, på en slik måte at i samtlige inertialsystemer blir alle fysiske lover de samme, også de elektromagnetiske. For å få dette til måtte skillet mellem tid og rom utviskes, og istedet innførtes et firedimensjonalt tid-rom, det såkalte Minkowskirom.

Einstein satte seg derefter som mål å gjøre *alle* referansesystemer likeverdige, med andre ord å fjerne skillet også mellem inertiale og akselererte systemer. Motivasjonen for et slikt forsøk lå ikke minst i Machs idéer, som Einstein var sterkt påvirket av.

Befinner vi oss i et jevnt akselerert system, opplever vi et «treghetsfelt»: Alle legemer påvirkes av (treghets-)krefter, og frie partikler blir akselererte. Nøyaktig samme fenomen ville vi oppleve i et referansesystem *uten* akselerasjon, dersom vi istedet var utsatt for et gravitasjonsfelt av passende styrke (ekvivalensprinsippet). Det treghetsfelt som ifølge Machs prinsipp skal skapes av de fjerne masser, antok Einstein derfor måtte være et *gravitasjonsfelt.*

Einstein blev slik ledet mot en ny gravitasjonsteori som han lanserte i 1915 under navnet *generell* relativitetsteori. Med sin gjennemførte logikk, og klare tilknytning til forbausende enkle prinsipper, står teorien som noget av det mest monumentale menneskesinnet har frembragt.

I et inertialsystem beveger frie partikler seg rettlinjet. I et gravitasjonsfelt avbøyes de derimot, og følger krumme baner. Einsteins geniale idé var å *beskrive gravitasjonsfelter som krumninger av det firedimensjonale tid-rom.* Frie partikler[1] følger *geodetiske kurver* i tid-rommet, dvs. kurver som representerer den korteste avstand mellem to gitte punkter, I flatt, Euklidsk rom blir dette selvsagt rette linjer.

Einstein stilte opp ligninger som bestemmer tid-rommets geometri ut fra massefordelingen, dvs. ligninger av typen

$$f(g_{\mu\nu}) = T_{\mu\nu}$$

Her er $g_{\mu\nu}$ en størrelse (egentlig: 16 størrelser) som beskriver geometrien (den metriske tensor), mens $T_{\mu\nu}$ beskriver alle former for masse, energi, trykk osv. (masse-energitensoren). Funksjonen f inneholder $g_{\mu\nu}$ og dens deriverte inntil annen orden. Tensorstørrelser er valgt for at ligningene skal få gyldighet i alle referansesystemer (kovariansprinsippet). Indeksene μ og ν kan anta alle verdier mellem 1 og 4, slik at vi ialt får 16 ligninger. Av disse er bare seks uavhengige av hverandre, og med fysisk innhold.

Machs prinsipp i generell relativitetsteori

Selv om Einstein var påvirket og motivert av Machs prinsipp, er det langt fra åpenbart at den ferdige teori har prinsippet innebygget. Den detaljerte beskrivelse av krumme rom, synes tvert imot i strid med Machs oppfatning av rommet som en abstraksjon, uten egenskaper.[2] Enkelte fremstående fysikere mener da også at Einsteins tid-rom er like «absolutt» som Newtons rom. Einstein selv synes derimot å ha sett på rommet som en matematisk hjelpestørrelse, uten egenskaper. *Hvis* vi nemlig har

1. Massefordelingen bestemmer entydig tid-rommets geometri (dvs. feltligningene har entydige løsninger).

og siden vi har

[1] Fra nu av menes med fri partikkel en partikkel som ikke påvirkes av andre krefter enn gravitasjonskrefter.
[2] Det kan nevnes at Mach til sin død (1916) var i opposisjon til begge Einsteins relativitetsteorier.

2. Tid-rommets geometri bestemmer entydig alle bevegelser under gravitasjons- og treghetskrefter. (Fordi frie partikler følger geodetiske kurver.)

ser vi at begrepet «tid-rom» kan fjernes, idet 1 og 2 kan slås sammen til

3. Massefordelingen i universet bestemmer entydig alle gravitasjons- og treghetskrefter.

Spørsmålet om Machs prinsipp er inneholdt i generell relativitetsteori er da blitt et spørsmål om påstand 1 ovenfor holder. Det er ikke ført bevis for påstanden, på den annen side har ennu ingen greid å finne to forskjellige løsninger av feltligningene, med en og samme massefordeling. (Det ses bort fra «tomme universa») Da det er for komplisert å føre bevis for påstand 1, er vi, for å klargjøre forholdet mellem Machs prinsipp og generell relativitetsteori, henvist til å ta for oss en rekke spesialtilfeller, og undersøke om teorien gir de resultater vi forventer.

Einsteins feltligninger er ovenfor gitt en villledende enkel form, som kamuflerer hvor uhyre kompliserte de egentlig er. De består av et sett koblede, ikke-lineære, annenordens differensialligninger, som bare er løst eksakt i et fåtall tilfeller med høy symmetri. For *svake* felter kan vi derimot benytte tilnærmede ligninger, som er lineære. Disse ligningene viser seg å bli helt analoge til Maxwells ligninger fra elektromagnetismen! Til de elektriske og magnetiske felter svarer henholdsvis sentrifugal- og Coriolis-felter. Masser i bevegelse «induserer» f. eks. et Coriolisfelt,på samme måte som en elektrisk strøm frembringer et magnetfelt. Dette rimer godt med Machs idéer.

Den lineære tilnærmelsen blev tidlig benyttet av Thirring til å beregne feltet inne i et roterende kuleskall, altså et tilfelle som det vi hadde på fig. 2. Det viser seg at en testpartikkel inne i skallet påvirkes av krefter analoge til sentrifugal- og Corioliskrefter (!) Kreftene vokser proporsjonalt med skallets masse, og avtar med skallets radius. Dersom Thirrings resultater kunne anvendes på vilkårlig store masser, ville de gi følgende resultat: De sentrifugal- og Corioliskrefter som vi opplever i vanlige roterende referansesystemer, kan forklares helt som en «induksjonsvirkning» fra de samlede masser i universet, dersom universet oppfyller relasjonen

$$\frac{G M_0}{R_0 c^2} \approx 1$$

Her er M_0 og R_0 universets masse og radius.[3] G er gravitasjonskonstanten, og c er lyshastigheten.

En lang rekke beregninger av lignende type er senere utført, også *uten* bruk av tilnærmelsen med svake felter. Resultatene støtter Thirrings arbeide, og gir mange interessante tilleggsopplysninger, f. eks. at sentrifugalfeltet dukker opp som et kvadrupolledd fra de roterende masser.

En beregning av Brill og Cohen viser at inne i en roterende støv-kule vil inertialsystemene ikke lengere ligge i ro i forhold til stjernehimmelen (!) Inertialsystemene vil trekkes litt med i rotasjonsretningen («inertial dragging»), og denne effekten øker når støvkulens masse øker. Til slutt «løsriver» inertialsystemene seg helt fra stjernehimmelen, og følger istedet støvkulen i dens rotasjon. Dette skjer når masse og radius får slike verdier at

$$\frac{G M}{R c^2} \approx 1$$

Dette kan gis en interessant fortolkning: Når gravitasjonsfeltet omkring en masse øker, beskrives dette geometrisk ved at rommet blir stadig mere krummet. Til slutt *lukker* rommet seg helt omkring massen, som derved avskjæres fra det øvrige univers (!) Dette skjer nettopp når masse og radius oppfyller en relasjon som den ovenfor, og objektet kalles da et «sort hull». (Se R. Stabell: «Sorte hull». Fra fysikkens verden 1974, side 83). Vi kan si at støvkulen er blitt et «eget univers», og i denne «universmodellen» har altså inertialsystemene fastlåste akseretninger relativt til massenes hvilesystem. Dette skulle da være forklaringen på at gyroskoper og Fouccault-pendler beholder faste retninger i forhold til stjernehimmelen. Man har planlagt et eksperiment med gyroskoper i sate-

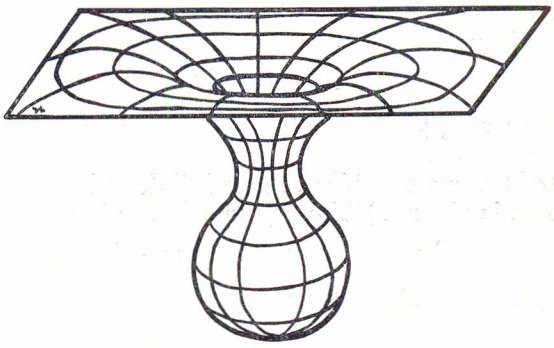


Fig. 3 Illustrasjon av geometrien i et meget sterkt gravitasjonsfelt. Rommet er i ferd med å «lukke seg», og legemet som forårsaker feltet avskjærer seg fra det øvrige univers. Det er blitt et «sort hull».

[3] Som universets radius brukes $R_0 = c\, H_0^{-1}$, hvor H_0 er Hubbles konstant.

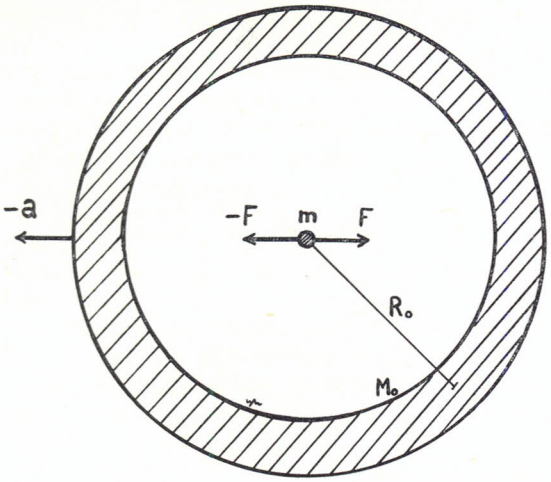


Fig. 4 Partikkelen m påvirkes av kraften F, og får akselerasjonen ma. Sett fra partikkelens hvilesystem derimot, er det de øvrige masser i universet som har akselerasjonen – a. Dette må indusere kraften – F, som balanserer F, og sørger for at partikkelen forblir i ro i hvilesystemet.

littbane om jorden, for bl. a. å påvise «dragging»-effekter p. g. a. jordrotasjonen. Dette vil bli den mest interessante test generell relativitetsteori er stilt ovenfor.

Et annet eksempel, som kan løses innen generell relativitetsteori, kan også belyses ved dimensjons-betraktninger: Vi ser på en partikkel som påvirkes av kraften F, og derved får akselerasjonen ma. Situasjonen skal også kunne beskrives fra partikkelens hvilesystem. I dette systemet er det de øvrige masser M_0 i universet som har akselerasjonen – a. Ifølge Machs prinsipp må disse akselererte massene gi opphav til en kraft – F, som gjør det dynamisk mulig at partikkelen forblir i ro i hvilesystemet. Den induserte kraft kan nokså generelt antas å være av formen

$$F = \alpha\, G^{\beta}\, M_0\, ma\, R_0^{\gamma}\, c^{\delta}$$

hvor α, β, γ og δ er dimensjonsløse konstanter, og α er av størrelsesorden 1. (R_0 må her betraktes som en midlere avstand til de andre massene i universet.) Dimensjonene *krever* da at

$$\beta = 1 \qquad \gamma = -1 \qquad \delta = -2$$

og eftersom F = ma får vi

$$\frac{G\,M_0}{R_0\,c^2} \approx 1.$$

Efter dette er det på sin plass å slå fast at astronomiske data virkelig viser at vårt univers oppfyller en slik relasjon, innen måleusikkerheten. Dette må betraktes som en støtte til Machs prinsipp. Da induserte treghetskrefter avtar som 1/R, mens antallet galakser innenfor et kuleskall med fast tykkelse vokser som R^2, vil den samlede virkning fra *fjerne* objekter være den dominerende. Dette forklarer at treghetskrefter ikke påvirkes merkbart av lokale massefordelinger.

Ved universets ekspansjon vokser universets radius. Man kan derfor undres over om det er en ren *tilfeldighet* at universet idag fyller relasjonen ovenfor. Hvis Machs prinsipp er riktig, skal man snarere vente at en eller flere av størrelsene G, M og c vil forandre seg når universets radius vokser, slik at

$$\frac{G\,M}{R\,c^2} = \text{konstant} \approx 1 \quad [4]$$

I så fall vil gravitasjonskraften mellem to partikler øke med tiden. En nærliggende mulighet er å anta at G vokser proporsjonalt med R. Observasjonsresultatene er idag på grensen til å kunne avgjøre dette spørsmålet. (For et annet aspekt ved relasjonen, se R. Amundsen: «Kvantiseres masse?». Fra fysikkens verden 1973, side 49).

Til nu har man fått inntrykk av et harmonisk forhold mellem Einsteins teori og Machs prinsipp. Endel eksempler tyder imidlertid på at forholdet kan være mere konfliktfylt. I det indre av et kuleformet masseskall (som *ikke* roterer), viser feltligningene at rommet blir flatt. Bevegelsen til en partikkel inne i skallet er altså upåvirket av masseskallet, på samme måte som i Newtons gravitasjonsteori. Hvis Mach har rett i at treghet induseres av de øvrige masser i universet, skulle vi vente at en partikkels trege masse øker når den omgis av et massivt skall. Dette skulle vise seg i bevegelsesligningene, ved at akselerasjonen avtar. Som vi har sett skjer dette ikke i generell relativitetsteori. Den trege masse synes altså uavhengig av det øvrige univers.

Ønsker man å forbedre samsvaret med Machs prinsipp, skjer dette enklest ved å anta at masseskallet modifiserer gravitasjons-«konstanten» G inne i skallet. Som vi så kan dette begrunnes nokså grovt ut fra relasjonen GM/Rc^2 = konstant. Mere raffinert gjøres det i *Brans og Dickes skalar-tensor teori.* De innførte et ekstra skalarfelt φ, som virker som kildefunksjon i Einsteins feltligninger, ved siden av masse-energitensoren $T_{\gamma\nu}$. Skalarfeltet kan beregnes ut fra massefordelingen i universet, og har blant

[4] $_0$-indeksen er fjernet, da de brukes til å betegne de verdiene vi observerer idag.

annet den egenskap at det bestemmer gravitasjons-«konstanten». Denne teorien anses av de fleste som den sterkeste av rivalene til Einsteins teori. Ved det omtalte gyroskop-eksperimentet vil det antagelig bli mulig å avgjøre hvilken av teoriene som passer best med observasjonene. Det kan nevnes at Brans-Dickes teori forutsier at G avtar under universets ekspansjon, mens de forenklede resonnementene ovenfor pekte mot en voksende G.

Betingelser til generell relativitetsteori

Feltligningene er differensialligninger, og det trenges derfor bibetingelser for å fjerne en viss vilkårlighet i løsningene. Dette kommer klarest frem i løsninger som beskriver universet som helhet, såkalte *universmodeller.* For en enslig masse i et tomt rom, bestemmer feltligningene en løsning som i det uendelig fjerne blir flat, altså et Newtonsk (riktigere Minkowski-) rom. Også på andre måter oppstår konflikter med Machs prinsipp i det unedelig fjerne. Einstein fremsatte da den dristige tanke å *avskaffe* det uendelige, og så i Machs prinsipp et krav om at universet skal være *lukket.* For å få et lukket og *statisk* univers måtte feltligningene modifiseres med en ny konstant Λ, den kosmologiske konstant. Einstein trodde også at denne konstanten forhindret «tomme universer», dvs. løsninger av feltligningene for universmodeller helt uten materie.

Senere blev det likevel funnet slike løsninger, og da astronomene også oppdaget at universet ikke er statisk, men ekspanderende, falt Einsteins begrunnelser for den kosmologiske konstanten bort. Einstein tok da offentlig avstand fra sin Λ, som han kalte sitt livs største tabbe. Ved å holde fast på sine opprinnelige feltligninger kunne han istedet ha *forutsagt* universets ekspansjon. Meningene er idag delte om Λ bør settes lik null eller ikke.

Det er tvilsomt om de «tomme universer» er kompromiterende for forholdet til Machs prinsipp. Begrepet «tomt univers» er egentlig innholdsløst, fordi begrepet ikke kan gis nogen *operasjonell* definisjon. Det naturligste er derfor å definere feltligningenes anvendelsesområde til bare å gjelde situasjoner med materie.

Derimot finnes en rekke klart «anti-Machske» universmodeller, f. eks. «roterende universer», hvor materien roterer i forhold til inertialsystemene. Den store vrimmel av universmodeller viser tydelig behovet for bibetingelser, og en fristende tanke er å bruke Machs prinsipp som utvalgsregel. Hönl og Dehnen har bare villet tillate de universmodeller hvor rotasjon er relativ, dvs. modeller hvor de samlede masser eksakt kan forklare sentrifugal- og Corioliskrefter.

En annen lovende metode har vært å omforme Einsteins ligninger til *integralform.* Analogt med løsningen av Poissons ligning ved Greenfunksjoner, finnes en løsning

$$g_{\mu\nu} = \int \ldots dV + \int \ldots dA$$

Første ledd er et volumintegral over kildene i universet. Annet ledd er et flateintegral, som i elektromagnetismen svarer til stråling som kommer inn i volumet utenfra. Med henvisning til Marchs prinsipp kreves nu at dette flateintegralet skal være null i universmodeller, med andre ord at kildene alene skal bestemme metrikken.

Dette kriteriet utelukker en rekke universmodeller, og tillater visse andre. Pussig nok blir utvalget omtrent det samme som ved Hönl og Dehnens metode ovenfor.

Til slutt bør nevnes at kvantefysikken ser med ringe forståelse på Machs prinsipp. Kvantefelt-teoretisk må vakuum tillegges en hel del egenskaper, og kan ikke som hos Mach være et abstrakt «ingenting».

Machs prinsipp var i sin tid inspirasjonskilde for generell relativitetsteori. Senere har prinsippet bidratt til skapelsen av nye gravitasjonsteorier, og til mange forslag om modifikasjoner av Einsteins teori. Disse teorier og modifikasjoner er blitt konfrontert med observasjonsmateriale, som vil bli stadig nøyaktigere i de kommende år.

Uansett den fremtidige skjebne kan vi si at Machs prinsipp, fordi det har gitt opphav til så mange testbare hypoteser, har vært, og fremdeles er, et usedvanlig fruktbart prinsipp. Og det er vel hovedsaken.

Interesserte henvises til følgende artikkel, som gir en oversikt over de viktigste arbeider om Machs prinsipp, med 108 referanser:
Reinhardt: «Machs principle – A critical review». Zeitschr. Naturforsch. *28 A* (1973) 529.

Medlemmer tatt opp på styremøtet 30/1 1976

Cand.real. J. Gard, Studentbyen Fantoft, Fantoft.
Cand.real. K. E. Hjelmen, Telemark Tekniske Skole, Porsgrunn.
Siviling. R. M. Holt, FFI, Kjeller.
Cand.real. E. Wold, NHIK, Radiumhospitalet, Oslo.

Faseoverganger og kritiske fenomener

Olav Steinsvoll

Kontinuerlige faseoverganger

Vi nevnte i forrige artikkel at en i nærheten av den kritiske temperatur Tc vil ha en meget glatt og «smertefri» overgang mellom gass og væske. Ved denne temperaturen er skilnaden mellom gass og væske nesten utvisket. Det skjer ikke noen sprangvis endring i verken entropi eller indre energi for stoffet – funksjonene er kontinuerlige. For den spesifikke varme for stoffet finner en eksperimentelt et maksimum for denne temperaturen. Nå er entropien en partiellderivert av det såkalte Gibbs potensial, mens spesifikk varme er en annen ordens partiellderivert av dette potensialet. En annen betegnelse er derfor blitt: annen ordens overgang.

Den kritiske «opalescense» ved gass/væske overgangen for CO_2 ved Tc var det første kritiske fenomen som ble observert. I 1869 så T. Andrews at stoffet fikk et tåkeaktig utseendet og spredde lyset sterkt ved Tc. Dette kan forklares ved å anta at det dannes små væskeområder i gassen like over Tc eller at det dannes gassområder i væsken like under Tc. Områdene må ha en utstrekning på størrelse med lysets bølgelengde for at en skal få den sterke spredningen. Siden det er så liten fysisk forskjell på væske og gass ved Tc, er små endringer av temperaturen over stoffet nok til at disse områdene dannes, og de vil være under stadig omforming – de bygges opp og brytes ned igjen. Ved en kontinuerlig faseovergang skjer det altså store fluktuasjoner i stoffet, store områder i stoffet (i forhold til atomære eller molekylære avstander) rives med.

Nå viser det seg at den atomære oppførselen i en gass og i en væske er temmelig like ved temperaturer et stykke under Tc. Forskjellig tetthet er nesten den eneste fysiske ulikhet mellom gass og væske. Vi kan derfor bruke differensen mellom tettheten for de to fasene som en såkalt *ordensparameter;* under Tc har denne parameteren en endelig størrelse, men den går mot null ved Tc og forblir null over Tc. Vi ser altså at denne parameteren karakteriserer overgangen mellom væske/gass på en tallmessig (kvantitativ) måte. Ved den kritiske temperaturen Tc skjer det derfor hyppige lokale fluktuasjoner med stor utstrekning i ordensparameteren. Dette er noe som går igjen for alle kontinuerlige faseoverganger. Det viser seg nemlig at mange ulike fenomener ved nærmere ettersyn kan klassifiseres som slike faseoverganger. Et eksempel er overgangen ferromagnet/paramagnet. Et jernstykke er magnetisk ved romtemperatur, men varmes det opp til 700°C, mister det etter hvert sine magnetiske egenskaper. Her kan en nytte magnetiseringen som en ordensparameter. Rundt den kritiske temperaturen Tc skjer det lokale fluktuasjoner i ordensparameteren; over Tc danner det seg små ferromagnetiske områder i det paramagnetiske metallet, under Tc blir det dannet små umagnetiske områder i det ferromagnetiske metallet. Innen områdene skjer det en innretting av de atomære magnetiske momentene når temperaturen er over Tc, en sier at det inntreffer en ordning på langt hold («long range order»). Se figur 1.

Det viser seg at magnetiske faseoverganger egner seg ypperlig til en matematisk behandling, og mesteparten av den teorien som er kommet de siste åra, har brukt magnetiske systemer til modell. Med mindre omskrivninger vil de samme teoretiske resultatene så kunne brukes for andre fysiske systemer som viser kritiske fenomener.

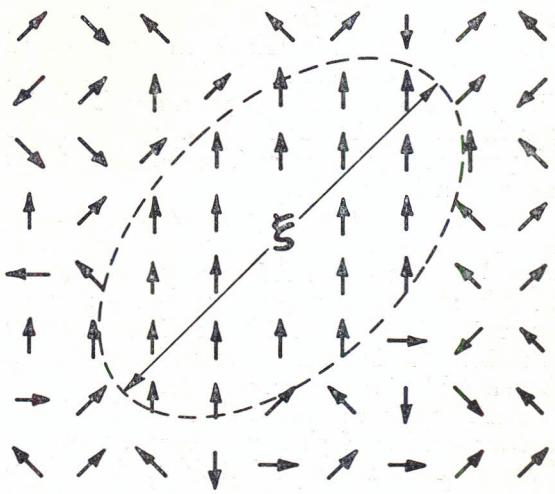


Fig. 1 Samordnet område med utstrekning ξ ved den kritiske temperaturen Tc for overgang mellom ferromagnetisk og paramagnetisk tilstand i et stoff. (Her er temperaturen litt over Tc)

Av og til er det vanskelig å finne fram til hva en skal bruke som ordensparameter for systemet, andre ganger kan ordensparameteren ha en temmelig abstrakt betydning. Til tross for dette vil de kritiske fenomene oppvise en forbausende likhet. Eksperimenter viser at en i alle tilfellene finner samordnede områder med en viss utstrekning ξ, og størrelsen av ξ vil endre seg som en potens av den relative temperaturavstand fra det kritiske punkt Tc. Altså, hvis $\varepsilon = (Tc-T)/Tc$ får vi

$$\xi = \xi_0 \varepsilon^{-\nu} \qquad (1)$$

Når temperaturen nærmer seg Tc, blir ξ uendelig stor.

Kritiske fenomener i magnetiske stoffer

På samme måte som for gass/væske/fast stoff kan en finne fram til en tilstandsflate for et magnetisk system i M, H, T-rommet. Vi har vist et eksempel i figur 2.

Under en kritisk temperatur Tc er stoffet magnetisk, og det kan stille seg inn med magnetiseringen i to retninger Ms og –Ms alt etter retningen av det svake ytre feltet ΔH. I figur 3 har vi framstilt en projeksjon av tilstandsflata ned i M, T planet. De såkalte kritiske fenomener foregår i et lite område rundt Tc. Det viser seg at de eksperimentelle verdier for magnetiseringen av stoffet i nærheten av Tc kan framstilles ved følgende formel:

$$M = M_0 \varepsilon^{\beta} \qquad (2)$$

Verdien av eksponenten β viser seg å ligge i området 0.3–0.5. Dette var samme verdi som vi fant for sameksistenskurven for gass/væske for edelgassene. Magnetiseringen går altså mot null ved Tc. Ved og like over Tc vil et lite ytre magnetisk felt H kunne indusere en relativt stor magnetisering M av stoffet; proporsjonalitets-koeffisienten mellom H og M kalles susceptibiliteten χ, og vi setter $M = \chi H$. Nær Tc kan måleresultatene gjengis av formelen:

$$\chi = \chi_0 \varepsilon^{-\gamma} \qquad (3)$$

Atter en gang opptrer en potensfunksjon, og en kan da begynne å lure på hva det er som er spesielt ved en potensfunksjon som uttrykker og sammenfatter noe vesentlig ved oppførselen til fysiske størrelser i nærheten av kritiske temperaturer. Potensfunksjonen er et spesialtilfelle

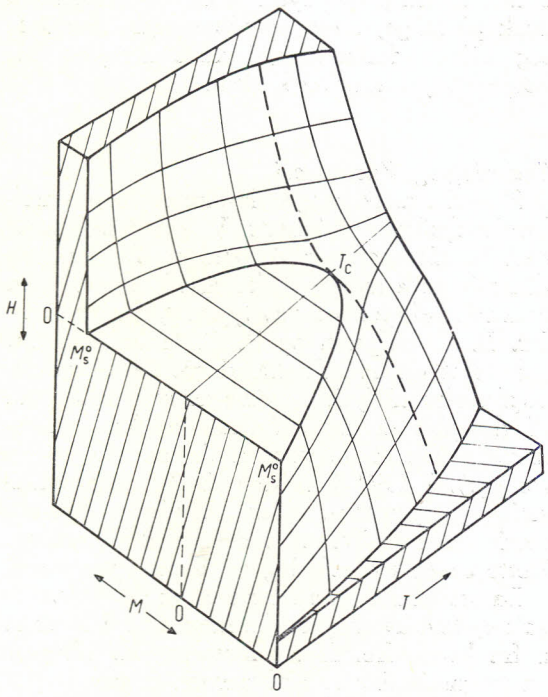


Fig. 2 Tilstandsdiagram for et magnetisk stoff. Mulige tilstander har M, H, T koordinater som tilsvarer flata i rommet. Når temperaturen er over den kritiske verdi, Tc, er stoffet umagnetisk. De kritiske fenomener går for seg i et lite område rundt Tc.

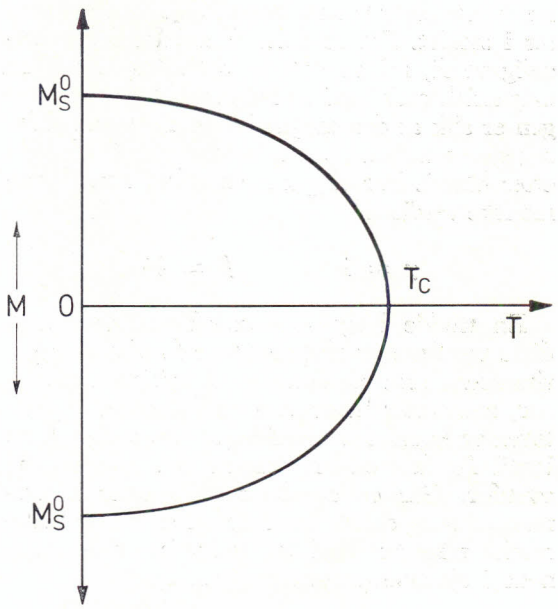


Fig. 3 Projeksjon av tilstandsflata ned i M, T-planet. Sameksistenskurven er hesteskoformet og kalles magnetiseringskurve. (Vi antar at vi ser på den spontane magnetiseringen innenfor en magnetisk doméne av stoffet.)

av det en kaller homogene funksjoner. Når verdien av eksponenten og dessuten funksjonsverdien for en bestemt ε-verdi er kjent, da vet vi alt om funksjonen. Kurven har samme egenskaper hvor vi enn er, bare målestokken har endret seg. Det samme viser seg ved de kritiske fenomenene vi har betraktet. Ved forskjellig relativ temperaturavstand fra det kritiske punkt foregår fenomenene på samme måte, bare målestokken (lengde, tid) endrer seg. Den fundamentale lengdeenhet er utstrekningen ξ av de samordnede områdene rundt Tc. Denne tankegangen har gitt opphav til de såkalte *skaleringsteoriene* for fysiske fenomener ved den kritiske temperatur. I typiske tilfeller er størrelsen av ξ hundre til tusen ganger avstanden mellom atomene i stoffet vi betrakter, og vi aner hvorfor atomtype og detaljene i vekselvirkningen mellom dem ikke har noe å si for størrelsen av de kritiske eksponenter.

Landau teori for faseoverganger

Lenge før en begynte å tenke på skalering, hadde den russiske fysikeren L. D. Landau klart å komme frem til måter å regne ut teoretiske verdier for eksponentene β og γ i formlene ovenfor. Han tok utgangspunkt i den såkalte molekylærfelttankegangen. En antar her at et enkelt magnetisk moment befinner seg i et gjennomsnittsfelt satt opp av alle de andre momenter i stoffet. For at dette feltet skal ha en endelig verdi, må en anta at det allerede fins en magnetisk ordning i stoffet, men tilbakekoblingen er slik at den magnetiske ordningen holder seg sjøl ved like. (Det er nesten som å løfte seg etter håret). For eksponentene fant han de numeriske verdiene

$$\gamma = 1 \qquad \beta = \tfrac{1}{2}$$

En trodde lenge at potensfunksjonene med disse verdiene av eksponentene forklarte eksperimentene som ble foretatt på kritiske fenomener, men etter hvert som en forbedret apparaturen og kunne foreta målinger tettere og tettere inntil Tc, fant en betydelige avvik fra verdiene ovenfor. Går en Landau-teorien etter i sømmene, finner en at den ikke på en riktig matematisk måte tar hånd om de kritiske fluktuasjonene i gjennomsnittsmagnetiseringen.

Ginzburgkriteriet

De atomære magnetiske momentene i et jernstykke er ordnet i et tredimensjonalt gitter og vekselvirkningen mellom dem vil også være tredimensjonal. Innenfor en enhetscelle med sidekant a av stoffet til vekselvirkningen mellom naboatomer bli litt påvirket av de store fluktuasjonene i magnetiseringen med utstrekning ξ, og en må finne en måte å korrigere for disse fluktuasjonene innenfor enhetscellen. V. L. Ginzburg var den første som prøvde å finne ut hvordan fluktuasjonene skulle innføres på en riktig måte. Han fant fram til at virkningen av disse fluktuasjonene vil reduseres i forholdet mellom volumene i vedkommende dimensjon $=(a/\xi)^d$ der d er dimensjonen av systemet.

Den eksponentielle avhengighet av dimensjonen viser årsaken til at molekylærfeltteorien bryter sammen for lave dimensjoner. De kritiske fluktuasjoner i et lavdimensjonalt system har katastrofale følger. En finner i virkeligheten at Landaus teori bare er rett dersom dimensjonen er lik eller over fire. I tre dimensjoner vil altså virkningen av fluktuasjonene måtte tas med i en eventuell teori fra begynnelsen av. Det er virkningene av fluktuasjonene som gjør at en finner andre verdier for de kritiske eksponenter i tre dimensjoner enn Landaus verdier. I fire dimensjoner flyter enhetscellen som en kork på lange, slake havsdønninger uten å la seg affisere det minste, i tre dimensjoner vil bølgene bryte inn over korken.

Skalering og Wilsonteori

Skaleringstankegangen inspirerte flere amerikanske fysikere til innsats. Vi kan nevne navn som L. Kadanoff og B. Widom. De innførte den såkalte «statiske skalering». Denne teorien behandler eksponenter av typen ν, β og γ ovenfor. B. I. Halperin og P. C. Hohenberg har behandlet «dynamisk skalering». Dette gjelder oppførselen til fysiske størrelser som er knyttet til demping av tidsvarierende effekter. (Sammenlign levetid – energibredde innenfor spektroskopi). I 1971 kom den såkalte «renormaliseringsgruppeteori», eller populært «Wilson teori» etter K. Wilson ved Cornell University. Dette er en videreføring av skaleringsteoriene.

La oss anta at vi starter med et flerdimensjonalt system av magnetiske momenter i avstand a fra hverandre. Hvert moment kan tillegges en magnetisering s. Koffisienten χ gir uttrykk for koblingen til de andre momenter. Ved en vilkårlig temperatur i nærheten av Tc er systemets oppførsel fullstendig bestemt av disse to størrelsene. La oss nå omgruppere momentene i stoffet slik at vi i stedet for en enhetscelle ser

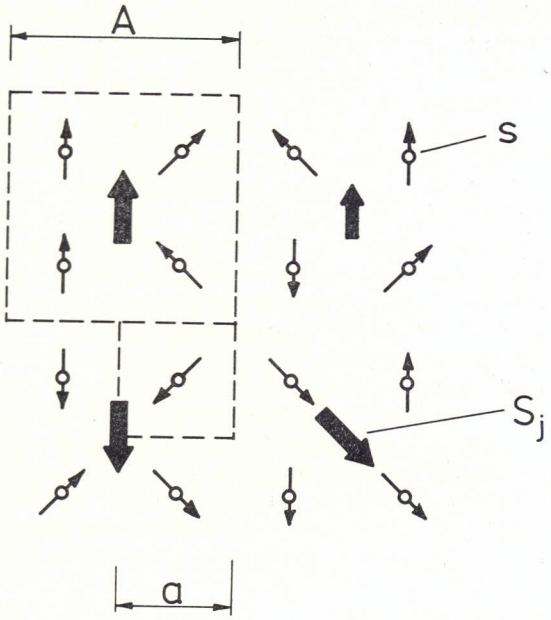


Fig. 4 Atomære magnetiske momenter, s, befinner seg i en avstand a fra hverandre. Vekselvirkningen mellom dem uttrykkes ved størrelsen χ. Vi erstatter fire momenter med resultantmomentene Sj. Disse ligger nå i en avstand A = 2a fra hverandre, og vekselvirkningen mellom dem uttrykkes ved en ny størrelse χ^1.

på en celle med utstrekning A = La. Hver slik ny celle inneholder nå en mengde momenter, og gjennomsnittet av magnetiseringen i den nye cellen er proporsjonal med S. Koblingen mellom disse nye cellene kan uttrykkes ved en ny koeffisient χ'. Se figur 4. En passer på at de nye cellene framleis er små i forhold til utstrekningen ξ av de samordnede områdene ved Tc. Poenget er nå at en antar at de samme fysiske fenomenene må avspilles mellom de nye cellene i stoffet som mellom de gamle elementærcellene. På denne måten kommer en fram til formler for kritisk oppførsel som bare avhenger av størrelsen av ξ. Denne størrelsen finner en er gitt av den relative temperaturavstand fra det kritiske punkt, og en har på denne måten eliminert de elementære magnetiske momentene og celledimensjonen a. En slik omskalering kan en se på som et element i en gruppe: foretar en to suksessive omskaleringer vil dette være jamgodt med en ny omskalering der en bare har tatt litt kraftigere i! Egenskapene til slike renormaliseringsgrupper viste seg å ha fundamental betydning for forståelsen av kritiske fenomener. (Det er særlig «fikspunkter» i funksjonsrommet eller invariante funksjonsformer som er av betydning i denne forbindelse. Klassen av homogene funksjoner kommer ut som mulig løsning).

Hva med systemer i tre dimensjoner?

Vi har nå hørt at naturen virker «best» i fire dimensjoner når det gjelder kritiske fenomener. De fleste fysiske fenomener i vår umiddelbare nærhet foregår i tre dimensjoner, så det ser ut til at lite er vunnet ved den store innsatsen på det teoretiske området. Men nå er det at de matematiske abstraksjonene virkelig kommer en til hjelp. Det viser seg nemlig at en kan rekkeutvikle de matematiske funksjonene som en finner rundt dimensjonen fire. En kan nemlig bruke en størrelse $\varepsilon = 4 - d$ som rekkeutviklingsparameter. Dette er en kontinuerlig størrelse, og det fører til dimensjoner som ikke er heltallige, f. eks. 3,7.

Vi har vanskelig for å forestille oss dette, vant som vi er til vårt tredimensjonale rom, men matematisk er det ikke noe problem.

K. Wilson og M. E. Fisher fant f. eks. for den kritiske indeksen γ ovenfor følgende formel:

$$\gamma = 1 + \frac{n+2}{2(n+8)}\varepsilon + \frac{(n+2)(n^2+22n+52)}{4(n+8)^3}\varepsilon^2 + \ldots\ldots (4)$$

Her er n antall uavhengige komponenter til ordensparameteren i systemet og ε systemets avvik fra fire dimensjoner. Tilsvarende formler er blitt utviklet for de kritiske eksponenter for andre fysiske størrelser i nærheten av Tc. De viser alle det såkalte *universalitetsprinsipp,* nemlig at eksponenten får den samme verdi for ulike systemer når ordensparameteren har det samme antall uavhengige komponenter = n og vekselvirkningskrafta i systemene har samme dimensjon = d. Vi ser at for det tredimensjonale tilfellet ($\varepsilon = 1$) finner en for n = 1 at $\gamma = 1{,}244$. En tilsvarende rekkeutvikling gir verdien $\beta = .33$. Disse nye verdiene er helt identiske med dem en finner ved eksperimenter.

Allerede i 1944 hadde L. Onsager løst eksakt matematikken som gjelder for et såkalt Ising system i to dimensjoner. Dette tilsvarer n = 1 og d = 2 i formelen ovenfor. (I en artikkel i FFV nr. 2, 1975, ble slike todimensjonale systemer behandlet.) Onsagers verdier for eksponentene stemte ikke med molekylærfeltteorien anvendt på todimensjonale systemer. Dette var en antydning om at teorien var utilstrekkelig.

Går vi opp til n = 1 og d = 3 («*3dim Ising*»), viser det seg at dette tilsvarer en gass/væske overgang fordi ordensparameteren (tettheten) er en skalar og bare har en komponent. Når n = 2 og d = 3, har vi det såkalte *xy tilfellet* der ordensparameteren har to komponenter. Formelen viser seg da å dekke lambda-overgangen mellom HeI og HeII der helium-4 blir superflytende ved såkalt Bosekondensasjon. Når n = 3, har vi en såkalt *Heisenbergmodell.* Dette tilsvarer et fullstendig isotropt magnetisk system, mens Ising-tilfellet ovenfor svarer til et ekstremt anisitropt magnetisk system. Virkeligheten ligger et sted i mellom disse ytterpunktene.

Den teoretiske behandlingen av fysiske systemer i nærheten av kritiske punkt har gjort store fremskritt i de siste ti åra. De nye ideer og modeller for konvensjonelle faseoverganger er også blitt tatt opp og anvendt på andre fysiske fenomener. Vi kan nevne overgangen mellom ulike strømtilstander i en tunelldiode, overgangen mellom inkoherent og koherent lysutsending fra en laser. I væsker kan det oppstå ordnede konveksjonsceller (Benard cells) under en temperaturgradient; det samme kan skje under cumulusskyer som ligger på rad over landet en sommerdag. Det aller nyeste er at disse modellene har smittet over på felter som biologi og sosiologi. Politiske grupperinger kan oppstå, og det danner seg skiftende politiske situasjoner med overgangseffekter (revolusjoner). Ideologier og påvirkninger fra massemedia kan sees på som felt som fører til og holder på meninger («opinionen»). Felles for alle disse fenomenene er at det ut av kaos og uorden plutselig oppstår orden, enten en regelmessig romlig struktur eller grupper som oppfører seg etter et bestemt mønster.

Det fins ordningsfenomener på alle plan, mellom atomer, molekyler, makromolekyler, mennesker, stjerner og galakser. Enhetene som utgjør det enkelte system vekselvirkninger med hverandre. Graden av vekselvirkning eller sosial kontakt (bare nærmeste nabo eller også fjernere naboer) ser ut til å ha avgjørende betydning for systemenes oppførsel. I eksemplene behandlet i artikkelen ovenfor har vi antatt at delenhetene bare står i samband med sin nærmeste nabo. Studiet av oppførselen til systemer som består av samvirkende delenheter er gitt navnet «Synergetics». I dette nye forskingsfeltet vil fysikere, kjemikere, biologer og samfunnsvitere kunne møtes og utveksle erfaringer med hverandre.

Oversiktsartikler

Phase Transitions, Symmetry and Dimensionality av M. E. Fisher Essays in Physics Vol. 4 1972 (Ac. Press).

Static Phenomena near Critical Points: Theory and Experiment av L. P. Kadanoff og medarbeidere. Rev. of Mod. Phys. 39, 395 (1967).

Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena av H. E. Stanley, Claredon Press (1971).

Physics of Non-Equilibrium Systems: Fluctuations, Instabilities and Phase Transitions. Redaktør: T. Riste. Plenum Press (under trykking).

Wilsonteori: The Renormalization Group and the ε-expansion av K. G. Wilson og J. Kogut. Physics Reports *12C*, 75 (1974).

Sir George Thomson 1892 — 1975

George Paget Thomson ble født 3. mai 1892 i Cambridge. Han var eneste sønn av den kjente britiske fysikeren og nobelpristakeren J. J. Thomson, som i 1884, bare 28 år gammel, ble valgt av Lord Rayleigh til å bli hans etterfølger som leder av Cambridge Universitetets Cavendish Laboratorium. På denne tiden var Cavendish Laboratoriet den fremste lære- og forskningsanstalt i verden. Her studerte også Miss Rose Paget, som skulle bli Sir Georges mor. Hun fikk ikke nobelprisen som åtte andre av J. J.'s studenter, men hun ble mor til en, som man pleier å si.

Sir George fikk også sin utdannelse i Cambridge. Etter en glimrende eksamen, ble han i 1914 medlem av lærerstaben ved sitt college, Corpus Christi. Thomson deltok en kort tid ved fronten i Frankrike i første verdenskrig, men mesteparten av krigstiden arbeidet han ved Royal Aircraft Factory i Farnborough. Den gruppen han deltok i besto av kjente menn som Francis Aston og den senere Lord Cherwell. De arbeidet hovedsaklig med stabilitetsproblemer for flyvemaskiner.

Etter krigen vendte Thomson tilbake til Cambridge. Her arbeidet han en tid med undersøkelse av anodestråler etter en metode som hans far hadde funnet på. I 1922 ble han professor ved Universitetet i Aberdeen, og her gjorde han en oppdagelse (1927) som skulle gi han nobelprisen i 1937.

Under et besøk i Cavendish-laboratoriet fikk Thomsen se noen fotografiske registreringer av elektronstråler som var blitt spredt i heliumgass. Registreringene minnet Thomson om bøyningsfenomener for lys som han hadde observert i et øvingslaboratorium noen år tidligere.

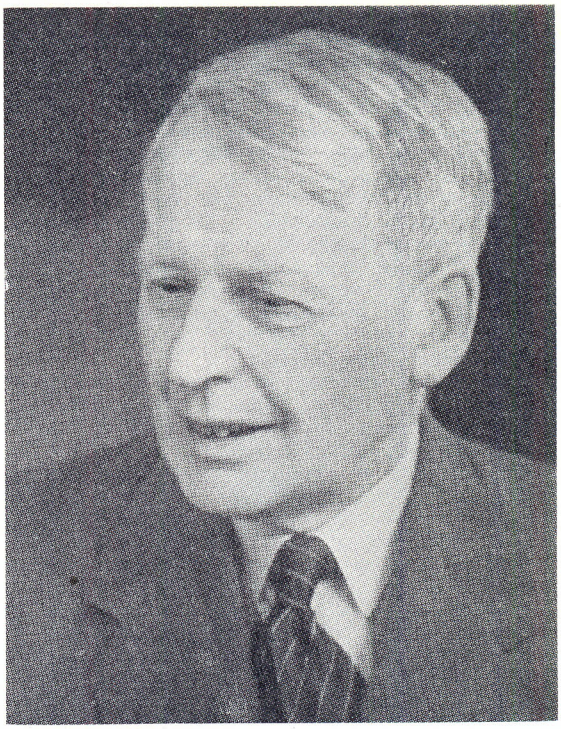
Det viste seg senere at det formodede bøyningsbildet av elektroner i helium ikke medførte riktighet. Men dette visste heldigvis ikke Thomson da han fikk den ideen at han skulle undersøke om det ble noe bøyningsbilde når elektroner passerte et tynt sjikt av et fast stoff. Han lot en tynn elektronstråle treffe et tynt sjikt celluloid på veg mot en fotografisk plate. Senere skiftet han ut celluloiden med metaller. Arbeidet ble utført sammen med Alexander Reid og de fikk frem sirkulære bøyningsbilder.

(Den amerikanske fysikeren, Clinton J. Davisson, som delte nobelprisen med Thomson, hadde på et litt tidligere tidspunkt observert bøyningsbilder for elektroner, men med en annen apparatoppstilling).

I 1929 ble Thomson F.R.S. (Fellow of the Royal Society). I 1930 fikk han stilling ved Imperial College, University of London, og samme året skrev han boken: The Wave Mechanics of Free Electrons. Thomson drev ikke selv som kjernefysiker, men det ble gjort en del kjernefysiske eksperimenter i hans laboratorium, slik at han var godt orientert om mulighetene for å få i stand fisjon.

Allerede i april 1939 gjorde han henvendelse til de britiske myndigheter om å få kjøpe opp uran fra Belgia. Dette lykkes ikke, men han ble senere valgt til formann i den såkalte Maud Committee som skulle undersøke mulighetene for å lage en fisjonsbombe. Dette arbeidet kan man lese om i Ronald W. Clarks bok: Birth of the Bomb.

Boken er noe forkortet oversatt til norsk under tittelen: Da bomben ble til, Aschehoug 1962.



Noe senere under krigen ble arbeidet overtatt av James Chodwick, og Thomson ble leder av British Scientific Office i Canada. På slutten av krigen var han vitenskapelig konsulent for Air Ministry. I 1943 ble han utnevnt til ridder.

Etter at Thomson ble pensjonert, skrev han bøkene: The Inspiration of Science (1961) og J. J. Thomson and the Cavendish Laboratory in His Day (1965).

Han døde 10. september i 1975 i Cambridge.

K. J. Knutsen

Bøker

D. J. Clark (ed.): Magnetic Oxides. John W. Wiley & Sons Ltd., London 1975, Vol. I–II. 800 sider, pris £15,– per bind.

Metalloksyder med magnetiske egenskaper har fått mange viktige tekniske anvendelser i de siste tretti åra, men allerede i oldtida ble magnetitt (Fe_3O_4) brukt som «leidarstein» eller kompass. I motsetning til metallene jern, kobolt og nikkel som er ferromagnetiske, er oksydene ferrimagnetiske stoffer. De magnetiske egenskapene er derfor ikke særlig sterke. Hovedforskjellen mellom metallene og oksydene er likevel at metallene er gode elektriske ledere, mens oksydene har lav ledningsevne. Det er nettopp isolatoregenskapene kombinert med de magnetiske egenskapene som legger grunnlag for den tekniske bruken. Ettersom elektronikken etter siste verdenskrig har gått i retning av bruk av høyere og høyere frekvenser, var det viktig at en fikk magnetiske stoffer med små tap. Det er særlig de såkalte kubiske spinell ferrittene og de ferrimagnetiske kubiske granatstrukturene som er viktige i denne sammenheng.

«Magnetic Oxides» består av to bind med artikler om ulike emner skrevet av spesialister innenfor sitt område. Boka starter med en oversiktsartikkel skrevet av redaktøren som skal hjelpe dem som ikke er kjent med magnetiske fenomener og de spesielle krystallinske strukturer en finner hos oksydene. Resten av artiklene er satt sammen på en logisk måte der en først tar for seg hvordan en kan gro krystaller av disse spesielle stoffene, deretter hvordan de magnetiske katjonene oppfører seg i krystallene. En kan nemlig se på disse stoffene som om de er bygd opp av et tett gitter av toverdige oksygenatomer, O^{2-}, der det fins mellomgitterplasser hvor de magnetiske katjonene kan smette inn. Disse mellomplassene har forskjellig symmetri. I tilfellet spinell har en oktaederplasser der katjonene er koordinert med 6 oksygenatomer, og tetra ederplasser der katjonet har 4 nærmeste naboer. Det tilgjengelige volum er litt forskjellig på de to plasstyper, og størrelsen av katjonene avgjør hvor de vil plassere seg. Når de så har tatt

plass, vil symmetriforholdene på plassene influere jonets oppførsel. De store oksygenatomene vil umuliggjøre direkte kontakt mellom katjonelektronskyene, men oksygenatomene kan overføre og formidle vekselvirkning mellom de magnetiske jonene. På denne måten vil det kunne oppstå ulike magnetiske strukturer. Etter en gjennomgang av ulike vekselvirkningsmåter kommer kapitler om magnetostriksjon og optiske egenskaper. Den elektriske ledningsevnen blir også bestemt av strukturen og blir gjennomgått i det følgende kapittel.

Etter denne drøftingen av de atomære og krystallinske forhold tar det andre bindet opp dannelsen av magnetiske domener i stoffet. Dette danner overgangen til gjennomgåelsen av de tekniske anvendelsene i geofysikk, magnetisk resonans, båndopptakere og hukommelser og logiske enheter i regnemaskiner.

Stort sett ser det ut til at en har fått med seg de siste forskningsresultater i feltet. E. J. Samuelsens magnondispersjonskurver for Cr_2O_3 fra 1970 er kommet med f. eks. For magnetitt derimot blir framleis Verwey's forklaring av den magnetiske overgangen ved 123K = Tv beskrevet. Ved hjelp av nøytronspredning har en de siste åra vist at Verwey's modell ikke passer for magnetitt. Verwey mente at en fikk en ladningsordning av katjonene på okta ederplasser når temperaturen kom under 123K. Allerede i 1967 ble det vist at en også måtte anta at katjonene i tillegg også blir litt forskjøvet fordi en fant svake satelittrefleksjoner i tillegg til hovedrefleksjonene. Symmetrien er altså blitt lavere. I den såkalte Yamada-modell forklares overgangen ved at en spesiell termisk atomær svingningsform går langsommere og langsommere ettersom en nærmer seg Tv. Under Tv er denne svingning «frosset inn» i krystallen som en permanent forskyvning av katjonene. Koblingen mellom de termiske svingninger og spesielle elektronladningsbølger fører også til en fastfrysing av en spesiell ladningsfordeling i krystallen. Slik kan den lave elektriske ledningsevnen under Tv forklares. Løsningen av «magnetittmysteriet» har foregått ved Brookhavenlaboratoriet der en har tatt i bruk alle slags neutronspredningseffekter (elastisk, uelastisk og kritisk spredning) for å oppklare fenomenet.

Harten, H.-O.: Physik für Mediziner, Eine Einfürung (Medforfattere: H. Nägerl, J. Schmidt, H.-D. Schulte). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1974. 357 sider med 553 figurer i sort/hvitt, ca. 200 regneoppgaver med svar og et rimelig detaljert saksregister. Pris heftet DM 38,–. ISBN 3-540-06770-1.

Fysikk i medisinens tjeneste – hvorledes kan vel en platonisk vitenskap vakrere komme til samfunnsmessig og god anvendelse? Tenker man. Men så har man som vanlig fått en av disse lærebøkene i hånden hvor siktepunktet er lite ut over artiumspensum, selv om presiseringsnivå er øket betraktelig og også for enkelte tema detaljbetraktningene. Emnevalget er utpreget klassisk fysisk: Mekanikk, varmelære, elektrisitet, magnetisme, optikk, atom- og kjernefysikk.

Alt vel og bra og tildels morsom lesning for en fysiker, bl. a. p.g.a. mange fine illustrasjoner, tildels hentet fra Pohl, men figurene er hentet fra dagligliv og ikke medisin bortsett fra ca. 10 stk. For medisineren med interesse for *medisin* synes det å være lite å hente, og i tilfeller som disse fristes man til å definere bokens innhold ved å angi titelen samt hva den *ikke* inneholder. Praktisk talt intet finnes om røntgenapparatur, billedforsterkning, scintiscanning eller -fotografering, ultralydscanning eller infrarøddeteksjon. Nær intet om strålebehandling ved Cancer (røntgen, koboltkanon, betatron, lineærakselerator) eller dosimetri og strålebeskyttelse (2s). Ikke et ord er nevnt fra strålingsfysikk. Nær intet er tatt med om spektroskopi, hvorav en rekke typer brukes i klinisk kjemi. Nær intet stoff om separasjonsmetoder som brukes rutinemessig i de samme laboratorier: sedimentasjon, filtrering, sentrifugering, gelfiltrering, kromatografi, elektroforese og destillasjon. Alt dette er basert på fine fysiske prinsipper. Ikke nevneverdig mye stoff fra elektronikk og moderne registreringsmetoder eller databehandling er med.

Alt i alt en velskrevet bok med konisk formulert klassisk fysikk, men ikke spesielt nyttig for den praktiserende medisiner, hverken i almen praksis, på sykehus eller i forskning. Det bør tilføyes, til forklaring av dette at forfatterne har basert seg på å dekke det fastlagte fysikkpensum under medisin ved Mainz Universitet slik at: «Physik für Mediziner» handelt von keinen anderen Naturgesetzen als ein Physik für Physiker auch.»

Svein Prydz.

Robert D. Richtmyer: (ed.) Proceedings of the Fourth International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics, June 24–28, 1974, University of Colorado. Lecture Notes in Physics, 35. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975. 457 sider.

Det er et kjent faktum at fluid mekanikkens grunnligninger bare lar seg løse i enkelte svært forenklede tilfeller. Dette skyldes det faktum at de er ikke-lineære, og at som følge derav vil eventuelle løsninger også måtte belegges med stabilitetskriterier. Den voldsomme vekst i vår evne til å løse matematiske problemer numerisk skyldes utviklingen av stadig større og hurtigere elektroniske regnemaskiner, og det er da klart at fluid mekanikken danner et fristende felt for anvendelsen av numeriske metoder. Det har på denne måte vokset frem et helt nytt felt, numerisk fluid dynamikk, hvis hovedtema er løsning av de Navier-Stokeske ligninger. Samtidig har imidlertid turbulensforskningen ført til innføring av forskjellige turbulensmodeller, hvis brukbarhet er avhengig av at en har en elektronisk regnemaskin med tilstrekkelig kapasitet til rådighet.

Den forliggende bok gir de foredrag som ble holdt ved den 4. internasjonale konferanse på området, og dekker begge de felt som er angitt ovenfor. Boken er meget stimulerende ,idet den viser hva man idag kan oppnå ved hjelp av metoder som var utenkbare for noen årtier tilbake. Den gir også et inntrykk av det voldsomme antall av regnemetoder, programmeringsteknikker og den blanding av fysikalsk forståelse og regneteknisk oppfinnsomhet som kommer til anvendelse. Det kan kanskje være verdt å peke på at introduksjonen av de numeriske metoder i fluid mekanikken neppe har gitt oss noen vesentlig ny fysikalsk innsikt, men at denne så og si er en forutsetning for at anvendelsen av metodene i mange tilfelle skal føre frem.

Boken inneholder 64 foredrag med tildels meget gode figurer. Den er trykket ved direkte avfotografering av forfatternes manuskripter. Disse inneholder tildels håndskrevne ligninger, hvilket ikke alltid er vellykket, men stort sett gir boken et tiltalende inntrykk. Den vil være uvurderlig for den som arbeider aktivt i feltet, og alle som steller med fluid mekanikk vil ha glede av den.

Leif N. Persen

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for Atomenergi, Kjeller

KURS I DATABEHANDLING HØSTEN 1976

Kursene i databehandling omfatter både generelle kurs og spesielle kurs i bruk av Control Data CYBER-74 ved Regneanlegget Blindern — Kjeller (RBK)

6/ 9—10/ 9	Grunnkurs i databehandling
13/ 9— 1/10	FORTRAN
27/ 9— 8/10	Assembly programmering — MIXAL
18/10—22/10	Videregående programmeringsmetodikk i FORTRAN
25/10—29/10	Sanntidsanvendelse av datamaskiner i prosessstyring og datainnsamling (Kurset vil bli holdt ved Institutt for Atomenergi i Halden)
1/11— 5/11	FORTRAN EXTENDED for CYBER-74
22/11—26/11	Filebehandling

Nærmere opplysninger og søknadsskjemaer fås ved henvendelse til
Kurssekretær Gerd Jarrett
Den nederlansk-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, Kjeller.

Styre: Professor dr. philos. Arnfinn Graue,
Universitetet i Bergen.
Amanuensis Ove Bratteng, Universitetet i Tromsø.
Dosent dr. philos. Thormod Henriksen,
Universitetet i Oslo, Blindern.
Dosent Ivar Svare, Ph.D., Universitetet i Trondheim,
Norges tekniske høgskole.

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

Postgirokonto: 88388 Bankgirokonto: 5102.20.16001

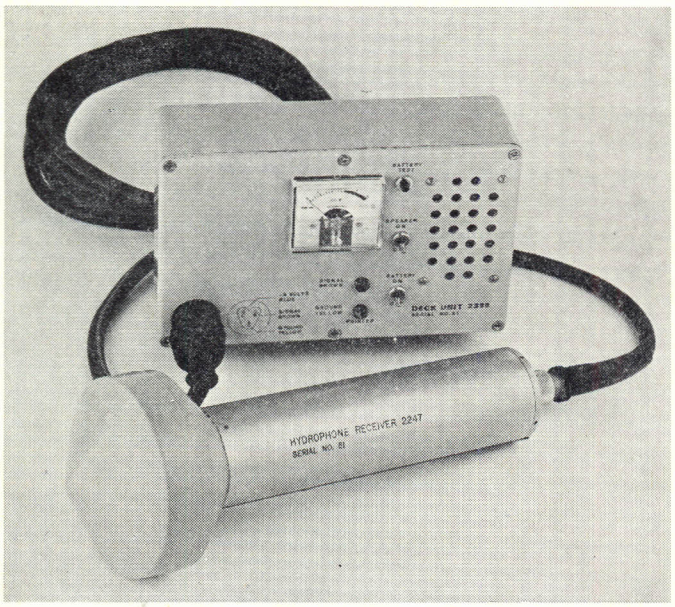
Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. techn. Haakon Olsen, Universitetet i Trondheim, Norges Lærerhøgskole.
Redaksjonssekretær:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole.
Redaksjonskomité:
Lektor K. Jostein Knutsen
Luftkrigsskolen, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer,
Universitetet i Oslo, Blindern.
Forsker, cand. real. Olav Steinsvoll,
Institutt for Atomenergi, Kjeller.
Dosent Leif Owren, Ph.D., Univ. i Bergen.
Fagsekretær Helge Klemsdal, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genéve.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 20,00. Årsabonnement 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: 10472 Bankgirokonto: 8601 236545



Hydrofonmottaker for akustisk telemetri av målinger gjennom vann

RECORDING CURRENT METERS
for ocean currents down to 5000 meters depth.

TEMPERATURE PROFILE RECORDERS
for recording vertical temperature profiles in the sea.

CLIMATOLOGICAL RECORDING STATIONS
Land-based or mounted on buoys.

WATER HEIGHT GAUGES
based on recording hydrostatic pressure.

TAPE READERS for reading magnetic tape from the above instruments.

AANDERAA INSTRUMENTS

DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR

FANAVEIEN 13
5050 NESTTUN
NORWAY
TEL.: BERGEN (05) 27 40 30
CABLE HELICON

Aktietrykkeriet i Trondhjem