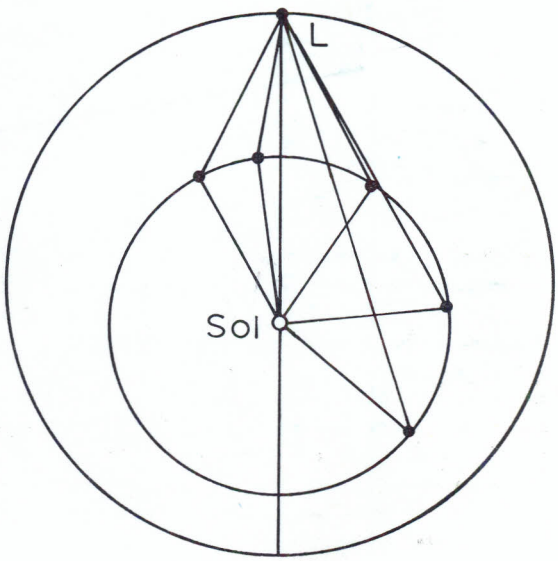
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

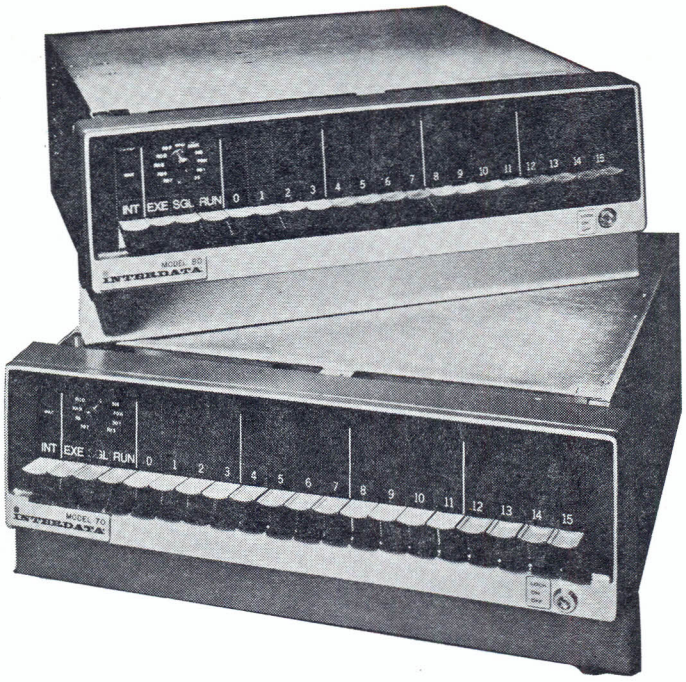
Haakon Brækken 70 år	25
Fra planetsirkel til planetellipse	26
Retningslinjer for faglige grupper i NFS	31
Radioaktivt utslipp og miljøpåvirkning	33
Rådsmøte i EFS	41
CERN-samarbeidet	41
Kommentarer til bokanmeldelse	42
Undervisningsopplegg i fysikk/kjemi for 7.–9. klasse	44
Bøker	31, 42



Mars-bane og jord-bane om sola.
(Se artikkel side 26)

Nr. 2 - 1972
34. årgang

EN «STOR» DATAMASKIN



Det gleder oss å kunne introdusere INTERDATA på det norske marked. Dette firma skapte en ny retning for miniregnemaskinene idet de var først med ROM (read-only-memory) og skapte ordet **FIRMWARE** som nå er alminnelig kjent og benyttet. Interdata brakte først stormaskinens muligheter inn på minimaskinens område med struktur og system likt IBM 360. Med introduksjonen av Interdata's modell 70 på det norske marked vil vi begynne å forplikte oss i en ny sektor — komplette datasystemer med hardware, firmware og software. Vårt omfattende og nesten komplette spekter av periferenheter kjenner De kanskje, men da vi nå også kan tilby sentralenheten skulle det være mulig å by markedet datasystemer, batchterminaler (RJE), og RTOS systemer til langt rimeligere priser enn før. Og — naurligvis full service i alle ledd — vår servicemann nummer 6 trer inn i rekken i disse dager og vi har folk på spesialutdannelse for å møte markedets krav.

La oss diskutere saken.

INTERDATA modell 70:

8.192 byte, hukommelse (Core) (max. 64 K.)
Ordlengde 8,16 eller 32 bits.
16 hoved registere (general purpose) — 16 bits.
15 Index registere.
Multiplikasjon / divisjon, (high-speed hardware)
8 registere for flytende komma — 32 bits hver.
32 bit flytende komma (hardware)
Buffret multiplexer bus for opptil 256 Automatiske I/O kanaler.
Les/skriv blokker
113 instruksjoner.
Data kanal til hukommelse (Interleaved)
Klar for 4 DAM kanaler. (Cycle stealing)
256 Vektor prioriterte avbrudd
Karakter buffret tilpasning til Teletype.
Cycle tid 1 mikrosekund.
Direkte adressering til 65.536 bytes.
Komplett med kraftforsyning, kontrollpanel.
Kun kr. **52.800,—.**
(Tollfritt kr. **49.800,—.**)

Enerepresentant

RØDLAND & RELLSMO A.S.

ENEBAKKVEIEN 230 OSLO 11

TLF.: 29 30 80

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 2 - 1972

Redaktør: HAAKON OLSEN

34. årgang

Haakon Brækken

70 år, 14. april 1972.

En av de mer fargerike personligheter innen norsk fysikk, dosent Haakon Brækken, NTH, passerte 70 år den 14. april. Brækken begynte sine studier i 1923 ved Technische Hochschule, München, hvor han studerte ved linjen for teknisk fysikk. Etter et år flyttet han over til NTH. Her var det ennå ikke kommet igang noe organisert spesialstudium i fysikk. Han valgte da å studere ved kjemilinjen, men hele tiden med det mål for øye å bli teknisk fysiker. Han tok første avdelings eksamen, men kom ikke til å fullføre høgskolestudiet, idet han etter hvert ble sterkt engasjert i virksomheten ved Fysisk institutt. I årene 1926 til 1937 var han assistent, høgskolestipendiat og til slutt laboratorieingeniør ved dette institutt. Bl.a. sto han for oppbyggingen av et velutstyrt røntgenlaboratorium for strukturundersøkelser. Han utviklet apparatur og metoder innen dette felt. Instrumenter konstruert av Brækken ble levert til ledende amerikanske laboratorier. Virksomheten i røntgenlaboratoriet resulterte i ca. 25 publikasjoner.

Det skulle imidlertid hende ting som førte Brækken over på et helt annet arbeidsområde. Stortinget ga i 1930 sin tilslutning til et forslag om å bevilge kr. 8.000,— fra Bergfondet til stipendium for en yngre norsk mann til studier i Amerika av geofysisk malmleting. Etter offentlig konkurranse ble stipendiet gitt til Haakon Brækken som i 1931 i løpet av 8 måneder oppholdt seg i USA hvor han særlig studerte ved Bureau of Mines i Washington.

Etter hjemkomsten tok han for annen gang fatt på å bygge opp noe nytt helt fra grunnen av. Institusjonen Geofysisk malmleting startet beskjedent i Fysisk institutts lokaler. Da plassen der ble for liten, flyttet virksomheten først til Kong Inges gate og senere til Østmarkneset. De arealer som Brækken der fikk lagt beslag på, var store nok til å gi plass for Norges geologiske undersøkelser og Råstofflaboratoriet ved overflyttingen fra Oslo.

Som direktør for Geofysisk malmleting (fra 1937) utfoldet Bækken seg både som leder av institusjonen og som fagmann. Hans spesialområde som geofysiker er elektromagnetiske presisjonsmetoder og tilhørende tydningsteknikk, særlig for dypleting. Han er også vel inne i andre geoeksplorasjonsmetoder som gravimetri og seismikk, men er mindre fortrolig med kunsten å stikke fingeren i jorda.

Visse uoverensstemmelser førte til at han i 1962 måtte forlate den institusjon som han selv hadde bygget opp fra ingenting. Alle forhold tatt i betraktning kan jeg ikke se det annerledes enn at den behandling Brækken her fikk, var dypt urettferdig.

Etter 1962 kom Brækken tilbake til utgangspunktet, Fysisk institutt, NTH. Han har arbeidet med forskningsstipendium, bevilget av Bergfondets midler, samt innehatt et dosentur II i geofysikk. I disse årene har han fortsatt vært glødende opptatt av utviklingen innen den tekniske geofysikk både hva angår forskning, undervisning og organisasjon. Spesielt kan nevnes at det var Brækken som i 1963 innledet etableringen av tidsskriftet Geoexploration som har vunnet internasjonal anerkjennelse. Det er ingen tegn på at hans innsatsevne og innsatsberedthet vil avta etter oppnådd pensjonsalder. Vi ønsker ham fortsatt fruktbare arbeidsår.

Njål Hole

Fra planetsirkel til planetellipse

(1600—1605—1687)

*I anledning Keplers 400-årsjubileum**

Johs. A. Lohne

De veier som fører oss til kunnskap om stjernene, synes meg nesten like forunderlige som stjernene selv.
(Fritt og forkortet etter *Astronomia Nova* LXV)

Etter fem års forskning i Prag innså Johannes Kepler endelig hvor vidunderlig enkle og skjønne planetenes bevegelser fortonet seg når de ble henført til et ekte heliostatisk system. Han satte seg til å beskrive ikke bare sitt nye system, men også de overveielser og lykketreff som gradvis førte ham til ny innsikt og til slutt til hans *Astronomia Nova*. Noen korte sitater fra dette verk vil fortelle oss om de viktigste stasjoner, omveier og framskritt under Keplers lange vandring fra sirkel til ellipse.

Om fem år synes en lang tid, blir den kort i forhold til de åtti år den astronomiske verden brukte på å bli overbevist av Keplers lover. Ellipsen ble lenge ignorert i den astronomiske litteratur, og da den endelig vant innpass, avviste astronomene fremdeles hans areallov. Omslaget kom i 1687. Da påviste Newton at areallovén betød at planetens akselerasjon alltid pekte mot sola og at den i elliptisk bane måtte være omvendt proporsjonal med avstandskvadratet.

Om vi med Kepler forestiller oss hvordan himmellegemenes bevegelser vil ta seg ut fra sola, forsvinner de ptolemeiske episirkler. Den sirkulære mars-deferent* blir selve banen for planeten.

Da Kepler i år 1600 fikk adgang til Brahes observasjoner, verifiserte han først sin antakelse om *stabile baneplan* med knutelinjer gjennom *den sanne sol*. Dernest ville han bestemme apsidelinja for mars. Beregningen ble uhyre møysommelig fordi han samtidig ville finne ut hvordan Marssirkelens sentrum delte avstanden fra sol til ekvantpunkt (Fig. 1). For å verifisere sitt solsystem måtte Kepler skaffe seg *heliosentriske* lengder for Mars. Slike fantes i Brahes journaler, men bare for de tidspunkt da Brahe hadde observert Mars i opposisjon til sola. Kepler konsentrerte seg om følgende fire opposisjoner:

Jomfruen	25°43′	kl. 7^{23}	den	6. mars	1587
Skytten	26°43′	kl. 7^{43}	den	8. juni	1591
Fiskene	12°16′	kl. 5^{27}	den	26. aug.	1593
Tyren	17°31⅔′	kl. 0^{39}	den	31. okt.	1595

Ptolemeus hadde sloppet forholdsvis lett fra tilsvarende beregninger for Mars-deferenten, fordi han gikk ut fra at eksentrisiteten ble halvert. Men Kepler kom til at Marssirkelens sentrum delte avstanden sol→ ekvantpunkt i forholdet 11 332 : 7 232. Aphel viste seg å ligge i løvens 29. grad. Keplers dobbelt eksentriske Marsbane ga heliosentriske lengder som overalt stemte med Brahes journaler innenfor observasjonenes feilgrenser. Kepler nøyde seg dog ikke med denne triumf men kontrollerte sin Marsbane på forskjellig vis, spesielt ved omfattende trianguleringer. Først bestemte han jordbanen nøyaktig ved peilinger av to faste punkt i himmelrommet. Sola var hans ene faste punkt. Det andre var en viss posisjon av Mars, for eksempel 17. februar 1595 kl. 10^{00}. Da Mars kom tilbake til samme posisjon med 687 døgns mellomrom, fikk Kepler nye anledninger til å peile inn jorda ved de samme «trigonometriske punkt».

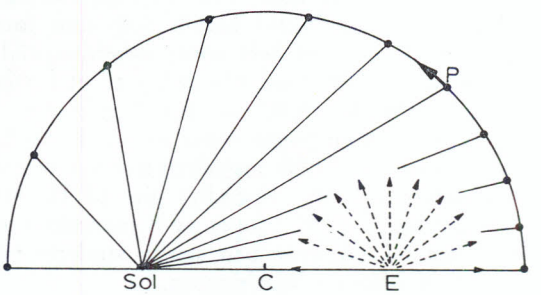


Fig. 1. I år 1600 mente Kepler at marsbanen var en sirkel hvor planetens bevegelse syntes jevn fra et ekvantpunkt E. Han måtte da prøve å finne SC og CE.

* Episirkelen for Mars gled med sitt sentrum rundt deferenten i løpet av 687 døgn.
planeten.

* Som regel angis 27. desember 1571 som dato for Keplers fødsel, men etter gregoriansk tidsregning blir det 6. januar 1572.

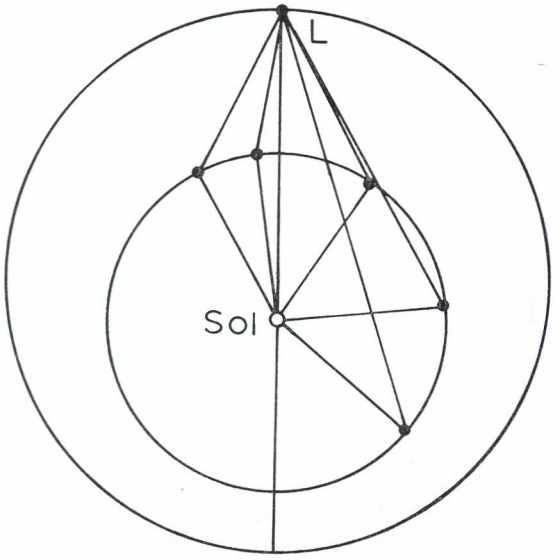


Fig. 2. Med mellomrom på 687 døgn inntar mars samme posisjon L. På indre bane er angitt tilsvarende posisjoner av jorda.

Samme posisjon som ovenfor hadde Mars ifølge Brahes journaler

6. januar	1587	kl. 9^{31}
22. november	1588	kl. $9^{2½}$
10. oktober	1590	kl. 8^{35}
6. mars	1600	kl. $6^{17½}$

Dermed kunne Kepler trigonometrisk bestemme fem punkt på jordsirkelen og ved hjelp av disse dens apsidelinje og eksentrisitet samt alle avstandsforhold. En lignende framgangsmåte med andre Marsposisjoner fastla Marsbanen. Mens jordbanen hadde vist seg nesten sirkulær, var Marsbanen merkbart forskjellig fra en sirkel. Framfor alt konstaterte Kepler at det ikke fantes noe slag ekvantpunkt hvorfra en jevnt roterende viser kunne peke hen mot planeten. Kepler begynte pånytt («de novo incipiendum» sa han forøvrig ofte) en årelang søkning etter sann baneform og ny lov for planetens fart. Som vi skal se ved våre sitater, ble Keplers egen vei både lang, rykkvis og kronglet før han fikk se hvilken enkel vei og ruteplan planeten fulgte i sin periodiske vandring.

I det følgende gjengis sitater fra Keplers *Astronomia Nova* om Keplers første og annen lov.

Keplers annen lov (som ble funnet først)

A *I samsvar med Ptolemeus forutsatte jeg: Alle posisjoner av en planet lar seg innordne på en eneste sirkel.*
Den absolutte retardasjon er størst når planeten er lengst fra sitt sentrallegeme.
Det fins et fast punkt som regulerer denne retardasjon. Alt øvrig har jeg bevist. Men om forutsetningene holder vil framgå av det som følger.
(Fra slutten av kap. 16)

B. *Teorien leverte riktige heliosentriske lengder. Men likevel fins intet sikkert og fast punkt innenfor planetbanen, om hvilket [radius vektor til] planeten stadig beskriver like vinkler i like tidsrom.*
(Konklusjon til kap. 20)

C. *På små jamstore buer av banen bruker planeten tider som forholder seg til hverandre som buenes avstander [fra sola].*
Jeg delte altså banen i 360 like store buer . . . Men da denne framgangsmåte er mekanisk og langtekkelig, så jeg meg om etter andre utveier . . .
I stedet for å dele o m k r e t s e n i 360 [like] stykker, skar jeg s i r k e l p l a n e t opp i 360 [like] stykker fra det punkt hvorfra eksentrisiteten blir regnet.

D. *Det falt meg inn at summen av alle disse avstander måtte finnes i det areal banen omslutter.*

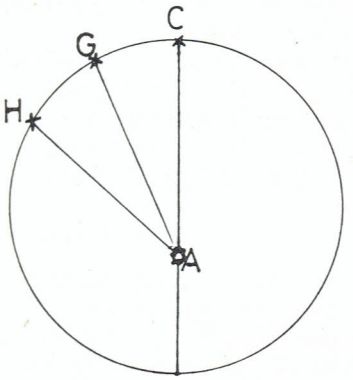
E. *Derfor vil arealet CGA bli et mål for den tida planeten bruker på banen CG. (Fig. 3)*
Det er dog en feil i dette resonnemang.

F. *Men hvis vi forutsetter en elliptisk bane, blir min metode uklanderlig. (Kap. 40)*

G. *Når delingspunktene C, K, E og I forbindes med Sola A, sier jeg at planetens opphold (m o r æ) i buen PC kan måles ved arealet PCA, dens opphold i buen PCK har sitt mål i arealet PCKA etc. (E p i t o m e, femte bok, 1. del, s. 666)*

Keplers første lov

A. *Som de gamle ser vi bort fra fysiske årsaker og forutsetter at planetbanen er e n s i r k e l med et indre punkt hvorfra [linja til] planeten i like tider beskriver like vinkler. Et sted mellom dette punkt og sola fins sirkelsentret. (Kap. 16)*
Heliosentriske lengder funnet ved denne hypotese stemmer med alle observasjoner tatt under opposisjon. (Kap. 18). Men de heliosentriske bredder stemmer ikke. Dette



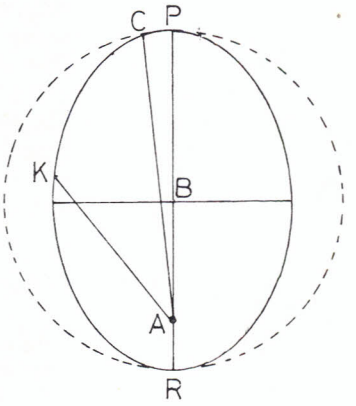


Fig. 3 a. *Astronomia Novas* illustrasjon til arealloven.

Fig. 3 b. *Epitomes* illustrasjon til arealloven.

skyldes at eksentrisiteten ikke ble halvert. Men hvis eksentrisiteten blir halvert, oppstår det feil i de heliosentriske lengder. (Kap. 19)

B. *Ved to argumenter påvises at planetbanen ikke er noen sirkel. Den er en oval. . . Den fullkomne sirkel hvis diameter ble funnet i kapittel 42, gir andre avstander [fra sol til planet] enn i kapittel 41 hvor observasjonene krevde at avstandene til begge sider var kortere [enn for en sirkel]. For det andre passer tidsrommene for de enkelte veistykker ikke med en sirkel, men vel med en oval. (Kap. 44)*
Tre forskjellige konstruksjoner [som ble forsøkt] til en slik oval, gir alle e k t e o v a l e r, ikke ellipser. For i ovalen (egget) er den ene enden stumpere enn den andre, og den skråner [midt] på hver side. (Kap. 46)

C. *Om vår figur hadde vært en fullkommen ellipse, ville Arkimedes ha løst oppgaven for oss. La oss derfor anse vår figur som en fullkommen ellipse (den avviker ytterst lite fra den) og se hva det vil føre til. (Kap. 47)*

D. *I kapittel 46 er bredden av den «nymåne» som måtte skjæres vekk av sirkelen, funnet lik 858 når sirkelradien settes lik 100 000. Da jeg av to argumenter i kapitlene 49, 50 og 55 slutter at «nymånens» bredde bare måtte antas halvt så stor, altså lik 429 . . . , kom jeg helt tilfeldig over sekans til en vinkel på 5°18′ som er den største optiske jevning. Da jeg la merke til at denne sekans er lik 100 429, var det som jeg ble vekket av en søvn. (Kap. 56)*
Sirkelen i kapittel 43 er for vid og ellipsen i kapittel 45 for trang. Overskudd og defekt er like. Men [den kurve som ligger] midtveis mellom sirkel og ellipse kan bare være en annen ellipse. Ergo er p l a n e t b a n e n e n e l l i p s e; og «nymånen» som den skjærer vekk av halvsirkelen, er halvt så bred som før, nemlig 429. (Kap. 58)

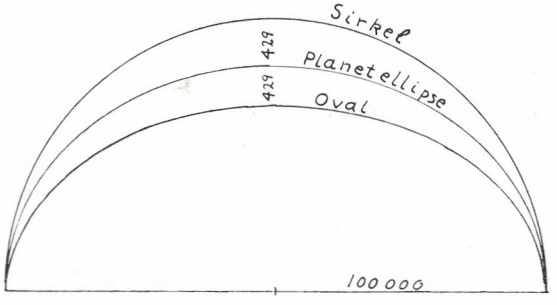


Fig. 4. Keplers *ovum* eller eggformete bane. Den ene enden er litt stumpere enn den andre, men forskjellen merkes ikke på en figur som denne.

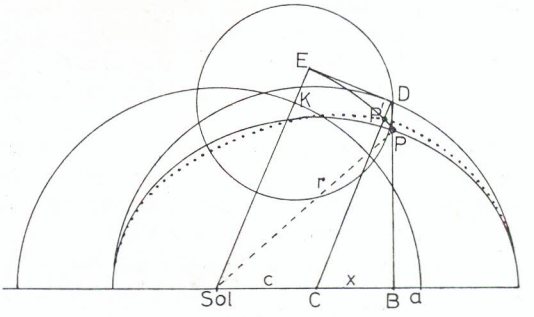


Fig. 5. Keplers konstruksjon av *fokalellipsen:* Om C og sola slås sirkler med samme radius. Om et vilkårlig punkt K på venstre sirkel slås en «episirkel» med radius c (= SC). Fra snittpunktet D felles normalene DB og DE. På DB ligger planeten P i en avstand SP = SE fra sola. SP = r = a + ex.
Punktet p beskriver en bane Kepler kalte *via buccosa.*

Kommentar til sitatene

Keplers skritt på hans veier og omveier mot riktig planetbane var ikke bare ledet av ønsket om den bane og ruteplan som stemte mest mulig med Brahes observasjoner. Når han satte undertittelen *Physica Coelestis* på sin *Astronomia Nova,* var det fordi han hele tida prøvde å begrunne planetbevegelsene fysisk. Den pre-galileiske fysikk, som ofte ble kalt «physiologia», hadde ingen tilfredsstillende bevegelseslære, så Kepler må også på det område anses som en av pionerene. Han hadde studert Gilberts *Physiologia nova de Magnete* (1600) og forestilte seg en slags «magnetiske naturer» hos sol og planeter til forklaring av det faktum at sola skjøv planetene rundt i ellipser og ikke i rene sirkler. Den slags fysiske overveielser førte ham undertiden av sporet, og en stund dukket episirklene opp igjen. Vi nevner også at han konstruerte en *via buccosa* (Figur 5) eller fritt oversatt en «kurve med basunengel-kinner».

Det er påfallende at Kepler i *Astronomia Nova* ikke uttrykkelig sier at sola blir liggende i ellipsens ene brennpunkt. Foruten med sine ovaler opererte han jo med to ellipser etter hverandre, og den første, som var smalest, kunne ikke ha samme brennpunkt som den andre. I *Epitome* sies det imidlertid rett ut at sola ligger i den siste ellipses ene brennpunkt.

Videre ser det ut som om fokalellipsen må ha spøkt i Keplers hjerne allerede før han var ferdig med sine ovale baner. Under sin jakt på den optiske brytingslov (1602—1603) forsøkte han også om en fokalellipse kunne gi ham sammenhengen mellom innfalls- og brytingsvinkler. Fra det ene brennpunkt trakk han opp siktelinjer med vinklene 10°, 20°, . . ., 80° mot aksen og fra det andre brennpunkt de tilsvarende eksperimentelt funne brytingsvinkler. Om de siste hadde vært nøyaktigere, ville han vel ha sett at de parvise snittpunkt ville falle på en sirkel og ikke på den ellipsen han hadde tenkt seg men måtte forkaste. Episoden viser at Kepler tidlig hadde en fokalellipse i tankene, selv om det ikke gjaldt en planet.

Før 1650 forekom Keplers lover sjelden i den astronomiske litteratur. Galilei nevnte dem ikke i sin berømte bok om de to verdenssystemer (1632), ei heller Descartes i *Principia Philosophiæ* (1644). Men lovene, også den tredje fra år 1618, var selvsagt å finne i Keplers lærebok *Epitome* (1617—1621), som ble trykt om igjen i 1635. Åpenbart ble Kepler best forstått i England, men hans første tilhengere publiserte ikke sine meninger. Matematikeren Henry Briggs foretrakk Keplers dobbelt eksentriske sirkelbane framfor ellipsen. Hans samtidige Thomas Harriot (1560—1621) hevdet derimot at sirkelastronomiens tid var forbi. Harriots venn Sir William Lower (1570—1615) ble overmåte begeistret for *Astronomia Nova* og var antakelig den første som framkastet den idé at også kometene gikk i elliptiske baner. Nesten tredve år seinere ble Keplers astronomi prist i høye toner av den tidlig døde Horrocks, men dennes *Astronomia Kepleriana* tryktes ikke før 1673.

Den elliptiske bane ble i 1645 godtatt av franskmennene Boullieau og i 1653 av Seth Ward. Den siste plasserte en ptolemeisk ekvant i ellipsens tomme brennpunkt. Ellers nevner vi den svære *Almagestum Novum* av 1651, hvor Riccioli samvittighetsfullt gjenga Keplers lover, uten å godta dem.

Åpenbart var det vanskeligst for astronomene å forsone seg med Keplers merkelige areallov. Rent konsepsjonelt voldte den besvær i det 17. århundre, og den var uhåndterlig i praksis, for da måtte en dele halvellipsen i et gitt arealforhold med en brennpunktradius. Det berømte *Keplers Problem* var formulert i 60. kapittel av *Astronomia Nova.*

I 1669 tok Nicolaus Mercator for seg Seth Wards ellipse og viste at i den kunne heliosentriske lengder (v) fås meget enkelt av midlere lengder (u) av relasjonen

$$\frac{\operatorname{tg} \tfrac{1}{2} v}{\operatorname{tg} \tfrac{1}{2} u} = \frac{a-c}{a+c}$$

Keplers etterfølgere var åpenbart mest opptatt av det geometriske og kinematiske i *Astronomia Nova.* De overså eller forkastet den himmelsfysikk som blant annet hadde ført Kepler vekk fra idéen om fartsregulering fra et materietomt ekvantpunkt. Keplers sol var ikke bare en kilde for sol og varme, men også en roterende beveger som med immaterielle kraftstråler skjøv planetene rundt i ellipser. Hans areallov kan fritt oversettes med at hastighetens moment om sola

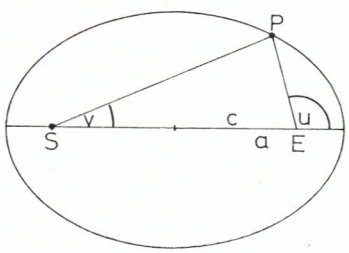


Fig. 6. En ellipse med ekvantpunkt E i det tomme brennpunkt ble foreslått av Seth Ward i 1653.

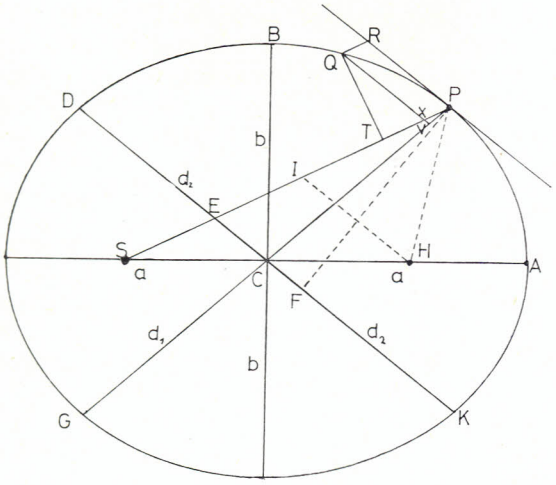


Fig. 7. Newtons ellipse av 1687. PR er planetens treghetsbevegelse i tida Δt. RQ er det avvik solas tiltrekning gir planeten i samme tidsrom. Han fant RQ proporsjonal med QT^2 og dermed ifølge arealloven med $1/SP^2$.

er konstant. Keplers nærmeste ettertid kunne ikke godta hans *Physica Coelestis* fordi astronomene fremdeles var bundet av ptolemeisk tankegang. Om Ptolemeus skrev den kjente keplerforsker og — utgiver Max Caspar:

«Episirklene var for ham ingen virkelighet, bare formale hjelpemidler til rent geometrisk å regne ut planetposisjonen for et gitt tidspunkt. Han søkte ikke naturlover i kosmos, bare bilder av matematiske funksjoner. Uten å ta i betraktning at planetene var legemer, abstraherte han dem til matematiske omgrep, slik at det ikke framkom noen himmelfysikk, bare en kinematikk.»

For Kopernikus var sola en lampe plassert i (eller rettere n æ r) sentrum i et stjernetempel — til belysning og oppvarming. Planetene dreide seg om sola i naturgivne sirkler eller i kurver sammensatt av sirkler. For Kepler derimot var det ikke planetene som ifølge sin egen natur kretset om et sentrallegeme, det var sola som med sine kraftstråler dreide planetene rundt. Han mente at planetene ifølge sin egen natur ville forbli i ro eller komme til ro når de ikke var fanget inn i virkningssfæren av beslektede himmellegemer. Vi skjønner at Keplers treghetslov var forskjellig fra den Newton arvet fra Descartes og Gassendi.

Ballistiske kurver var undersøkt av Harriot og Galilei som fant at de i vakuum ville bli parabler. Det visste ikke Kepler da han påviste at planetene gikk i ellipser med brennpunkt i sola. Derfor falt det ham heller ikke inn at Galileis* parabler kanskje bare var forenklede aphelbuer av en ellipse med brennpunkt i jordas sentrum. Men denne tanke synes å ha streifet Robert Hooke, da han i desember 1679 tok opp til diskusjon Newtons idé om fallkurven for et legeme sloppet fra et meget høyt tårn. Hooke foreslo også en akselerasjon omvendt proporsjonal med avstandskvadratet for sentralbevegelse. Hookes innvendinger og forslag førte til at Newton begynte å undersøke de banekurver som ville oppstå ved forskjellige lover for sentralkrefter — også loven $F = k/r^2$.

Figur 7 gjengir Keplers ellipse slik Newton utstyrte den i *Principia* (s. 50) da han utledet planetens (P's) akselerasjon. Denne akselerasjon fikk en uvant dimensjon, fordi Newton brukte Keplers dobbelte sektorareal (tiln. $SP \cdot QT$) som mål for tida Δt. Videre sa treghetsloven at uten solas tiltrekning ville planeten fortsette langs tangenten i P med uendret fart. Men sola bevirket en deviasjon RQ som han for et lite område nær P kunne betrakte som et galileisk fritt fall, og dermed satte han $RQ = \frac{1}{2}\gamma(\Delta t)^2$.

Av ellipsens geometri nevner vi at den konjugerte diameter kutter et stykke $PE = a$ av brennpunktradien SP. Hvis vi setter $2d_2$ for den konjugerte diameter og b for ellipsens lille halvakse, får vi $d_2 \cdot FP = ab$. En innser lett hvilke forenklinger kan foretas når $R \to P$. Newton stilte opp og multipliserte fem proporsjoner:

$$\frac{L \cdot QR}{L \cdot PV} = \frac{AC}{PC}$$ (*Latus rectum* L er ellipsens parameter)

$$\frac{L \cdot PV}{GV \cdot VP} = \frac{2\,BC}{GV \cdot AC} \left(\text{da } L = \frac{2\,BC^2}{AC}\right)$$

$$\frac{GV \cdot PV}{QV^2} = \frac{CP^2}{CD^2}$$ (Sml. tilsv. relasjon for sirkelen $GV \cdot VP = QV^2$)

$$\lim \frac{QV^2}{QX^2} = 1$$

$$\frac{QX^2}{QT^2} = \frac{CD^2}{CB^2} \left(\text{Da } \frac{QX}{QT} = \frac{EP}{PF} = \frac{CA}{PF} = \frac{CD}{CB}\right.$$

$$\left.\text{og da } a \cdot b = d_2 \cdot PF\right)$$

$$\frac{L \cdot QR}{QT^2} = \frac{2\,PC}{GV} = 1$$ (ved grensen), hvorav

* Antakelig kjente han heller ikke til Galileis eller Harriots kasteparabler, skjønt han korresponderte både med italieneren og englenderen.

$$\frac{SP^2}{QR} \cdot L \cdot QR = QT^2 \cdot \frac{SP^2}{QR} \quad \text{eller}$$

$$L \cdot SP^2 = \frac{f^2\,(\Delta t)^2}{QR}$$

hvor venstre side er proporsjonal med $SP^2 = r^2$ og høyre side med den inverse verdi av sentripetalakselerasjonen γ. ½ f er «flatefarten»

$$\frac{\frac{1}{2}\,SP \cdot QT}{\Delta t}$$

LITTERATUR

R. Small: *An Account of the Astronomical Discoveries of Kepler.* London 1804 og Madison 1963.

J. L. E. Dreyer: *History of the Planetary Systems from Thales to Kepler.* — Annen utgave med tittelen *History of Astronomy* 1953.

Johannes Kepler: *Neue Astronomie,* overs. og innledet av Max Caspar. München 1929.

Volker Bialas: *Die quantitative Beschreibung der Planetenbewegung v. Johannes Kepler in seinem handschriftlichem Nachlass* i *Kepler Festschrift 1971,* Regensburg 1971.

Curtis Wilson: *How did Kepler discover his first two Laws? Scientific American* for mars 1972.

Det syn jeg i min artikkel gjør meg til talsmann for, er sterkt påvirket av en lengere korrespondanse med Dr. D. T. Whiteside, Cambridge.

RETNINGSLINJER FOR DE FAGLIGE GRUPPER I NORSK FYSISK SELSKAP

(Vedtatt på årsmøtet i Bergen 1971)

1. En «faglig gruppe» skal dekke undervisning, et forskningsfelt eller en kombinasjon av beslektede aktive områder innen norsk fysikk.
2. En faglig gruppe har til oppgave:
   a. Å skape kontakt og stimulere forsknings- og undervisningsaktiviteten innen gruppens fagområder i Norge.
   b. Å organisere møter og symposier.
   c. Å medvirke til å utveksle forskere, lærere og studenter.
   d. Å holde kontakt med de tilsvarende grupper i European Physical Society.
3. Medlemskap i en faglig gruppe.
   a. En faglig gruppe er en del av Norsk Fysisk Selskap. Ethvert medlem i en faglig gruppe må derfor være medlem av NFS.
   b. Individuelle medlemmer i NFS kan, men må ikke, være medlem av en eller flere av de faglige grupper.
   c. Andre interesserte, f.eks. studenter, kan delta i gruppenes aktivitet.
4. Ledelsen av en faglig gruppe.
   a. En faglig gruppe skal ha et styre på minst 3 medlemmer.
   b. Styret velges av gruppens medlemmer for en periode på 2 år. Hvert medlem har én stemme og simpelt flertall gjelder. Valget kan skje på et møte eller pr. brev.
   c. Resultatet av valget meddeles styret i NFS
   d. Gruppens styre bør orientere de øvrige medlemmer i NFS om gruppens virksomhet på årsmøtet i NFS og gjennom Fra Fysikkens Verden.
5. Økonomi.
   Norsk Fysisk Selskap vil søke å finansiere en stadig økende del av de faglige gruppers aktiviteter i henhold til punkt 2. Finansiering fra andre kilder bør da skje i forståelse med styret i NFS slik at dobbeltsøknader og lignende unngås. Årsregnskapet skal innen utgangen av januar sendes NFS' sekretær og er underlagt NFS' revisjon.
   En minner om medlemskontingenten for 1972, kr. 40,00.

Bøker

Kosmos 1970

Det hender til stadighet såvidt mye nytt og interessant innen fysikken at en publikasjonsserie basert på oversiktsartikler av almen interesse og rimelig vanskelighetsgrad har mer enn nok stoff. Svenska fysikersamfundets årbok Kosmos er et bevis på dette.

Det siste bind (Bd. 47, 1970) er etter anmelderens smak særlig interessant. Det er ikke her plass til annet enn en summarisk omtale av innholdet. Som vanlig får vi først en presentasjon av nobelpristakere i fysikk, denne gang pristakerne i 1969. Deretter følger artikler om elementærpartikler, gravitasjonsbølger, overlyshastighet, jakten på det absolutte nullpunkt, for å nevne noen av de mest fascinerende emnene.

Forfatterne er vel inne i det de skriver om. Alle artiklene er etter måten lettfattelige og greie og utstyrt med en rekke gode figurer. Hele boken er delikat, og blir hermed anbefalt på det beste.

Njål Hole

O. Øgrim: Termofysikk (Termodynamikk). Universitetsforlaget 1971 (Kr. 26,00).

Denne lille innføring i varmelære bygger på realgymnasets pensum og tar ifølge forordet sikte på studenter som utdanner seg til fysikk- og kjemilærere for ulike skoleslag og for dem som trenger et grunnlag i termofysikk for videre studier.

Boka dekker den elementære termodynamikk for enkomponentsystemer, ørlite kinetisk teori, samt litt om stråling. Fremstillingen er elementær. For eksempel gjengis Maxwells hastighetsfordeling (ukorrekt forøvrig), men det gjøres ikke bruk av denne. Utvalget av stoff synes fornuftig. Jeg savner bare to ting: Begrepet Boltzmannfaktor (f.eks. via den barometriske høydefordeling) samt en kommentar om entropiens forbindelse med tilstanders sannsynlighet. Dessuten hadde jeg ved enkelte anledninger gjerne sett noen anvendelser for å kunne rettferdiggjøre innførelse av nye begreper. Det gjelder kapitlet om de termodynamiske potensialer, der den eneste virkelige anvendelse er Clausius-Clapeyrons likning, og det gjelder begrepet den midlere fri veglengde, denne nyttige størrelse som her ikke anvendes til noe.

Boka virker her og der preget av hastverk. Det er en del trykkfeil (bl.a. to feil i bokas siste regnestykke) og inkonsekvent språkføring (bonn/bunn, sånn/slik, vatn/vann, fins/finnes, rein/ren). En detalj som nok vil forvirre leseren er at det etter noen sider gjøres ingen forskjell i notasjon på instantan partikkelhastighet og effektivhastighet.

Under Brownske bevegelser gis en detaljert anvisning på hvorledes disse best observeres. Når forfatteren heter Øgrim hadde jeg nok håpet på flere slike henvisninger til demonstrasjoner!

Øgrim forklarer konsentrert og korrekt. Han har ved flere høve gode oppklarende kommentarer. Helhetsinntrykket er at det er en grei innføring i varmelære.

P. C. Hemmer

Paul Kruger: Principles of Activation Analysis. John Wiley and Sons. Inc. London, 1971. £ 11.75, 520 s., ill.

Fra å være et spesiale praktisert av få kjernekjemikere, har aktiveringsanalyse utviklet seg til en generell metode som mer og mer finner innpass i all analytisk-kjemisk undervisning og i anvendelser også utenfor den rene kjemi. Dette skyldes at metoden er velegnet for mange studier innen biologi, medisin, farmasi, geologi og ikke minst innen miljøforskning, samt for teknologiske og industrielle problemer. Foruten det rent analytiske har nemlig aktiveringsanalytiske metoder i seg en detektivs evne til å identifisere, efterfølge, måle selv de minste mengder i høyst kompliserte systemer og prosesser. Det foreligger en mengde publisert om aktiverings analyser, men P. Krugers bok dekker et lenge følt savn. Den henvender seg til studenter og forskere med høyst forskjellig bakgrunn, men som alle har det felles, at de ønsker å anvende disse metoder innen sitt forskningsområde, samtidig som den virker inspirerende på mange andre.

Boken innleder derfor med to elementære kapitler om stabile og radioaktive nuklider samt om aktivering. For lesere helt ukjente med radioaktivitet og radioaktive fenomen kan disse virke noe knappe, men efter et par gangers gjennomlesning står en godt rustet til med utbytte å ta fatt på de efterfølgende noe vanskeligere kapitler. For lesere med kjennskap til radioaktivitet gir de første kapitler en grei repetisjon. Det følgende kapitel om bestrålingskilder er til sine tider nokså ujevnt med hensyn til hvor detaljert de forskjellige typer behandles. Denne ujevnhet går noe igjen i noen av de efterfølgende kapitler. I kapitel 4 behandles radionukliders karakteristika, så som desintegrasjons skjema, -hastighet, og strålers gang gjennom materien, godt og oversiktlig. Kapitlet om detektorer er meget informativt og vil sikkert leses med glede også av lesere med erfaring i å omgås den slags utstyr.

Radiokjemien behandles i kapitel 6, og det legges først og fremst vekt på metoder basert på bruk av bærere til fremstilling av preparater for bestemmelse av desintegrasjonshastigheter. De forskjellige separasjonsmetoder som kommer til anvendelse omtales, men noe kort. I siste halvdel av dette kapittel behandles selve radioaktivitetsmålingene. Effekter av betydning for bestemmelse av såvel relative som absolutte desintegrasjonshastigheter gis en detaljert og fyldesgjørende omtale.

De tre siste kapitler som utgjør over halvparten av boken, beskjeftiger seg med selve aktiverings analysene, hvorledes disse utføres, deres begrensning og deres anvendelser. I det første av disse kapitler er det et godt samspill med kapitlene tidligere i boken. Derved oppnås et helhetsbilde over utførelsen av aktiveringsanalyser som en ofte har savnet. Her tas opp til behandling radiokjemisk (destruktiv) og instrumentell (nondestruktiv) analyse både av generell og av spesiell karakter. Det er derfor tatt med bruk av epithermiske og hurtige neutroner samt av ladete partikler — metoder av betydning for bestemmelse av bl.a. biologisk viktige elementer som carbon, nitrogen, oksygen osv.

I nest siste kapitel som begynner med «Activation analysis like all other analytical methods, cannot meet the multitude of requirements of analytical chemistry» «legges kortene på bordet» og leseren blir gjort oppmerksom på vanskeligheter og begrensninger i bruk av aktiveringsanalyser. Her besvares også hvorledes en del av disse problemer kan unngås eller omgås. Det ville bety et langt steg frem i verdien av analytiske lærebøker i sin alminnelighet om også flere andre forfattere inkluderte et slikt kapittel istedenfor ofte mer eller mindre ubevisst å skjule slike problemer i begeistringen over «sine» metoders muligheter — det er nemlig ingen metode som behersker alt.

Siste kapittel i Krugers bok tar for seg anvendelser av ulike aktiveringsanalyser. Her diskuteres kriteria, og en utstrakt sammenligning med andre metoder foretas, først og fremst med andre metoder for sporelement analyser. Omtalen av anvendelser er en alt for kort, men på flere måter lærerik oversikt, med spredte eksempler og tabeller for anvendelser innen studier av cosmo-, atmo-, hydro- og bio-sfæren. Innenfor avsnittet om biosfæren fås dessuten «smakebiter» fra biokjemi, biologi, intern medisin og miljøvitenskap. Boken avsluttes med «on-line» analyser og aktiveringsanalysen som en eftersporingsmetode. En rekke referanser og oppgaver følger efter hvert kapittel. Teksten er lett og velskrevet og med bare få feil.

P. Kruger har gjennom denne bok påtatt seg en vanskelig oppgave, men løst den godt. Boken, som dekker et stort savn anbefales til alle som er interessert i moderne analytisk kjemi.

En lavere pris ville utvilsomt ha oppmuntret flere studenter til å anskaffe denne utmerkede bok. Det er derfor å håpe at denne vil komme ut i billigutgave.

Alexis C. Pappas

Radioaktivt utslipp og miljøpåvirkning

Ulf Tveten

1. *Innledning*

Det er høyst forskjellige meninger om kjernekraft som miljøfaktor. Den ene ytterlighet representeres av f.eks. den amerikanske lege E. Sternglass, som mener å ha påvist statistisk en økning i barnedødelighet i USA. Denne økningen tilskrives radioaktivt nedfall og atmosfærisk utslipp fra atomreaktorer. Men hans behandling av det statistiske materialet er åpenbart feilaktig, og kunne like gjerne ha ført til den motsatte konklusjon, nemlig at radioaktivitet statistisk viser seg å ha en gunstig virkning. Kritikk av denne typen er sterkt oponionsdannende på grunn av sitt skremmende innhold. Det er derfor uhyre viktig at det materiale som anvendes som begrunnelse for slik kritikk ikke er feilaktig.

Sternglass' arbeide har blitt analysert av en rekke uavhengige eksperter, som alle uten unntagelse har konkludert med at hans påstander ikke understøttes av de data han har fremskaffet. Han er blitt offentlig irettesatt av bl. a. US Public Health Service, Environmental Protection Agency, statene New York, Pennsylvania, Michigan og Illinois, og i fjor sommer i en erklæring fra presidenten i Health Physics Society ved årsmøtet i New York City.

En annen type kritikk representeres av f.eks. J. W. Gofman og A. R. Tamplin. De mener ikke slik som Sternglass og liknende kritikere at enhver eksponering til radioaktivitet er uakseptabel. De retter kritikken mot grensen mellom det som blir ansett å være en akseptabel eksponering og det som anses som ikke akseptabelt. De mener at denne grensen i USA ikke er satt tilstrekkelig lavt. Deres argumentasjon er basert på et solid faglig grunnlag, men analysen er på ingen måte uangripelig. Det antas f.eks. at alle mennesker i USA vil få en eksponering lik den maksimalt akseptable. Når det gjelder den biologiske virkning av strålingen, vil ikke den være den samme for forskjellige individer, og det er ganske stor usikkerhet i graden av virkning for lave bestrålinger over lang tid. Gofman og Tamplin har i hvert enkelt slikt tilfelle av tvil antatt at virkningen er den største tenkelige. Endelig er sluttresultatene av analysen gitt i en form som er egnet til å gi feil oppfatning av tallenes betydning. De er oppgitt som et antall kreft-tilfelle per år i hele USA som skulle kunne tilskrives en full utbygging av kjernekraften. Men det er ikke gitt noen tall på hva som skulle ventes av kreft-tilfelle i USAs befolkning hvis det ikke blir noen kjernekraft. Lenger ut i denne artikkel refereres et britisk arbeide som konkluderer med at økning i kreft-tilfelle som kan tilskrives utbygging av kjernekraft, vil være en så liten prosent av det totale antall tilfelle at det ikke vil gi seg reelle utslag.

Fra et miljøsynspunkt er det visse markerte fordeler og visse bestemte ulemper ved kjernekraft i forhold til andre kraftproduksjonsmetoder.

To av hovedfordelene er
- — Ingen luftforurensning
- — Lavt forbruk av natur-ressurser

De to viktigste ulempene er
- — Produksjon av langlivete fisjonsprodukter
- — Høyere varmeutslipp til omgivelsene enn ved andre kraftproduksjonsmetoder

Her skal vi konsentrere oss om en diskusjon av ulempene, og mest om de problemene som har med atmosfærisk utslipp av fisjonsprodukter å gjøre.

2. *Fisjonsprodukter i reaktorsystemet*

I reaktorbrenselet foregår det fisjoner. Uranatom-kjerner deles i to, og disse delene kalles fisjonsprodukter eller fisjonsfragmenter. Fisjonsproduktene er radioaktive. Noe av denne radioaktiviteten dør fort ut, mens noe har lang levetid. Så lenge de radioaktive fisjonsproduktene oppbevares under kontroll, enten i reaktoren eller i oppbevaringsanlegg for avfall, har de ingen virkning på omgivelsene.

Reaktorbrenselet er omgitt av en kapsling, som oftest laget av zirkalloy, som er hermetisk tett. Brenselet er ikke tett pakket inne i kapslin-

Cand. real. Ulf Tveten er forsker ved Institutt for atomenergi, Kjeller.

gen. Det finnes en smal klaring mellom brenselet og kapslingen. Denne gassfylte spalten kalles ofte plenum. Fisjonsproduktene dannes inne i uranet (reaktorbrenselet). De har riktignok oppstått ved at uranatomkjerner deler seg, men etter delingen er hver slik bit en egen atomkjerne av et eller annet grunnstoff som er omtrent halvparten så tungt som uran. Noen av bitene (fisjonsproduktene) er sølv, noen er tinn, noen er cadmium, og noen er andre grunnstoffer som er mindre kjente. De tre som ble nevnt foran, er metaller og er faste stoffer ved romtemperatur. Noen få av fisjonsproduktene er gasser. I motsetning til de fisjonsproduktene som er faste eller flytende, vil de gassformige fisjonsproduktene vandre gjennom reaktorbrenselet og samle seg i den smale spalten mellom brenselet og kapslingen, plenum.

Når en reaktor har vært i drift noen tid, viser erfaring at det gradvis oppstår små hull i kapslingen på noen av brensels-stavene. De hullene som oppstår, er på størrelse med knappenålsstikk og oppstår bare på en liten del av brenselet (mindre enn 1 % av brensels-stavene). Men gjennom disse hullene kan de gassformige fisjonsproduktene i plenum lekke ut i selve reaktorvannet.

De gassformige fisjonsproduktene som er viktige, kan deles opp i to klasser:

— Edelgasser (mest xenon og krypton)
— halogener (jod og brom)

Både edelgassaktivitet og halogenaktivitet vil lekke ut i reaktorvannet når det er oppstått huller på kapslingen, men i reaktorvannet vil de to typene oppføre seg helt forskjellig. Halogener er lett oppløselig i vann, og mesteparten av halogenaktiviteten vil bli i vannet. Edelgassaktiviteten vil derimot forbli i gassform.

I øvre del av reaktortanken er det gass og damp (vi snakker her om en kokendevannsreaktor), og edelgassen vil også samle seg her. Gassen og dampen føres gjennom dampledningene til turbinene og derfra til kondensatorene. Kondensatorene har som funksjon å fortette dampen til vann igjen etter at dampkraften har blitt utnyttet i turbinene. Så blir dette vannet ført tilbake til reaktortanken igjen. Det hele er altså et lukket system som består av reaktortanken, turbinene, kondensatorene og damp- og vannledninger. Men systemet er ikke helt lukket. Fra kondensatorene suges det av noe gass. Det er nødvendig å holde undertrykk i kondensatorene for at dampen skal kondensere, og undertrykket holdes ved at gass pumpes ut.

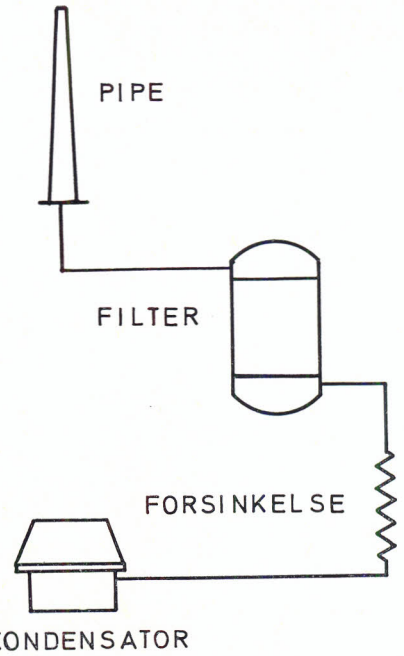


Fig. 1. Enkelt avgass-system.

Gassen som suges av fra kondensatorene inneholder noe fisjonsprodukter, nemlig edelgassaktivitet og en beskjeden mengde halogenaktivitet. Derfor må gassen fremdeles oppbevares i et lukket system. Den føres til avgassystemet.

Figurene 1, 2 og 3 viser skjematisk tre forskjellige typer avgass-systemer. Figur 1 viser et enkelt avgass-system. Fra kondensatorene går gassene til en forsinkelse. Deretter går de gjennom et filter som fjerner partikler og det lille som finnes av halogenaktivitet, og så slippes gassene ut gjennom en skorstein. Radioaktiviteten i gassene har da sunket vesentlig. Dette er vesentlig på grunn av forsinkelsen. Aktiviteten synker ved radioaktiv nedbrytning og synker mer jo lenger tid det tar før gassene eventuelt slippes ut. Aktiviteten synker fortest til å begynne med og langsommere etter hvert.

Det er nå vanlig å gi aktivitetene lengre forsinkelse enn ved dette enkle systemet. Figur 2 viser et slikt bedre system. Først varmes gassene opp før de føres til en rekombinator. Den kraftige strålingen inne i selve reaktoren fører til at en del av vannet spaltes i hydrogen og oksygen. I rekombinatoren blir hydrogenet og oksygenet igjen til vann. Dette gjøres bl.a. for å redusere gassvolumet. Hele 70—90 % av avgassene er hydrogen og oksygen. Vannet fjernes så i en kondensator. Derfra går gassene gjennom en forsinkelse og en avkjøling før de kommer

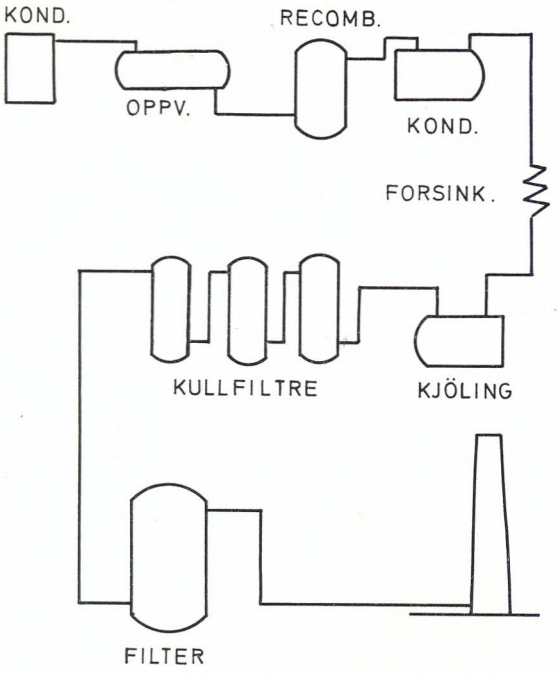


Fig. 2. Bedre avgass-system

inn i det som er kalt kullfiltre. Dette er egentlig ikke filtre, men forsinkelse av en meget effektiv type. Med disse forsinkelsesenhetene vil gassene oppholde seg 40 døgn i avgass-systemet, mens oppholdstiden for det enkle systemet på figur 1 er 30 minutter, for å gi to typiske verdier. Til slutt passerer gassene gjennom et filter før de slippes ut fra skorsteinen. Fra det bedre avgass-systemet slippes det ut 100 ganger mindre aktivitet enn fra det enkle i figur 1.

Figur 3 viser en type avgass-system hvor gassene kjøles ned til så lave temperaturer at de går over i flytende form. Her føres gassene akkurat som i systemet i figur 2 først til en rekombinator. Men så går de til et filter som har til hensikt å fjerne partikler, vann og kulldioksyd. Da har mesteparten av avgassene blitt fjernet. For ytterligere å redusere volumet blir det resterende kjølt ned til så lav temperatur at det blir flytende. Til slutt går dette til en destillasjonsenhet, der alt unntagen edelgassene kokes av. Vi har altså fremdeles edelgassaktivitetene samlet, men med drastisk redusert volum. Avgassaktivitetene tar nå så liten plass at det er fullt mulig å oppbevare dem permanent i et kjøleanlegg, men vanlig praksis blir vel å oppbevare dem så lenge at radioaktiviteten har blitt ubetydelig.

3. *Utslipp av aktiviteter til kjølevannet*

Utslipp av aktiviteter til kjølevannet avhenger fullstendig av hvordan avfallsbehandlingen i reaktoranlegget utføres. Utslippet til kjølevannet er kontrollert, og det er myndighetenes oppgave å avgjøre i hvert enkelt tilfelle hva som er akseptabelt utslipp.

I tabell I er oppgitt totale aktivitetsutslipp i kjølevannet i løpet av et helt år. Dette er målte verdier, og rutinemessige målinger av denne typen vil foretas ved et hvert kjernekraftverk.

Tabell I

Væske-aktivitetsutslipp året 1969

Reaktor	Type	Utslipp (Curie)
Dresden 1	kokende-vanns	9.5
San Onofre	trykkvanns	8.0
Yankee	trykkvanns	0.019

La oss gjøre en liten beregning for å illustrere hva tallene i Tabell I innebærer.

USAEC (United States Atomic Energy Commission) opererer med en verdi på 10^{-7} μCi/ml (μCi betyr mikroCurie, og en mikroCurie er en milliontedels Curie) som maksimalt tillatt konsentrasjon av denne typen aktiviteter. Dette er konsentrasjoner i drikkevann. Et aktivitetsutslipp med kjølevannet på 10 Curie/år tilsvarer et aktivitetsutslipp på 100 μCi/time. Hvis dette blandes opp med 1000 m^3 vann, vil det tilfredsstille kriteriet ovenfor. Men i virkeligheten blandes det opp med hele 190,000 m^3 vann, som

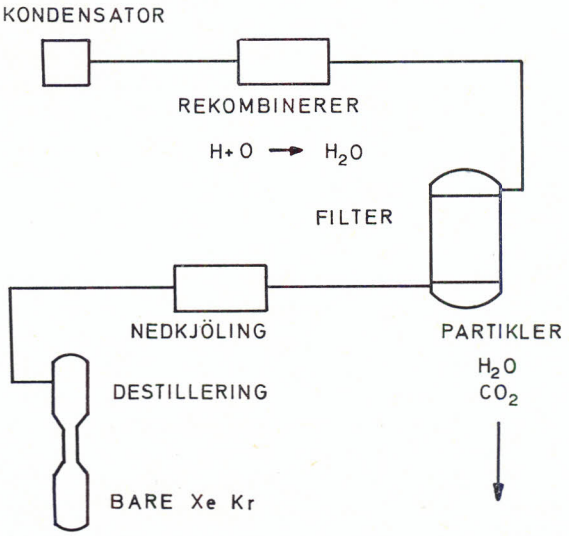


Fig. 3. Frysing.

er kjølevannsmengden pr. time for en typisk kraftreaktor.

Det er altså ubetydelige mengder aktiviteter som slippes ut med kjølevannet. Likevel er det nødvendig å vurdere utslipp med kjølevannet i hvert enkelt tilfelle. Noen organismer har evne til å konsentrere visse aktiviteter, og det er nødvendig å finne ut om disse brukes til føde for mennesker og om aktivitetene kan konsentreres så sterkt at det kan begynne å bli betenkelig. Nå er det ikke slik at disse organismene konsentrerer radioaktivitet; det er bare en tilfeldighet at denne effekten opptrer. De radioaktive stoffene som slippes ut i små mengder med kjølevannet, er vanlige kjemiske grunnstoffer, bare med den forskjellen at de er radioaktive. Kjemisk er de helt identiske med det vanlige grunnstoffet som ikke er radioaktivt. Slik er f.eks. radioaktivt kalium kjemisk helt lik vanlig kalium. Nå kan f.eks. kalium brukes i oppbyggingen av en organisme, og organismen bruker da det kalium den «får tak i», enten det er radioaktivt eller ikke. Så det som foregår, er en konsentrering av *kalium,* ikke en konsentrering av *radioaktivitet.* Hvis noe av kaliumet er radioaktivt, vil det da selvfølgelig også bli en konsentrering av radioaktivt kalium.

4. *Termisk utslipp*

Problemene i forbindelse med termisk utslipp har i den populære debatt blitt sterkt overdrevet. Det er riktig at det trengs store mengder med kjølevann til et kjernekraftverk, men man har tilsvarende termiske utslipp eller forstyrrelser ved andre kraftproduksjonsmetoder.

Om man sammeligner et kjernekraftverk med et konvensjonelt varmekraftverk, vil det termiske utslippet fra kjernekraftverket være ca. 50 % høyere enn fra varmekraftverket. Større er ikke forskjellen. Man unngår altså ikke disse problemene ved å bygge varmekraft istedenfor kjernekraft.

Selv vannkraftproduksjon gir kraftige termiske forstyrrelser. Det meste av tilsiget til magasinene skjer om sommeren, mens det meste av tappingen skjer om vinteren. Det vannet som skulle ha kommet ned gjennom vassdraget i løpet av sommeren i naturens orden, blir altså grovt et halvt år forsinket og kommer da ut i resipienten med en helt annen temperatur.

Problemene med termisk utslipp er av andre dimensjoner i land som Tyskland og USA der kjernekraftstasjoner stort sett har brukt elver og innsjøer som resipient. Alle de hittil vurderte plasseringsalternativ her i Norge er ved sjøen, der problemene vil være vesentlig mindre.

Den alternative kjølemetode er med kjøletårn. Dette er en vesentlig dyrere løsning, og kjøletårnene er noen enorme og dominerende konstruksjoner.

5. *Spredning av radioaktivitet i atmosfæren*

Et utslipp av radioaktivitet til atmosfæren vil blande seg med luften etter hvert som de føres bort fra utslippspunktet. Og stort sett vil det gi mindre bestråling jo lengre fra utslippspunktet en person befinner seg.

Utslippet kan være et bakkeutslipp eller et utslipp fra skorstein. For et bakkeutslipp vil bestrålingen være størst nærmest reaktoren. For et skorsteinsutslipp vil bestrålingen være størst i en viss avstand fra reaktoren som avhenger av høyden på skorsteinen og de meteorologiske forholdene. Men denne avstanden er i de fleste tilfelle kortere enn avstanden til stasjonsgrensen.

Aktivitetene som slippes ut vil tynnes ut på samme måte som en røyksky brer seg. Røykskyen vil ha et ellipseformet tverrsnitt, og størrelsen på denne ellipsen vil bli større og større jo lenger avstand skyen har drevet med vinden. Hvis værforholdene er stabile, vil ellipsestørrelsen øke langsommere med avstanden enn om værforholdene er nøytrale eller ustabile. Det betyr med andre ord at aktivitetene blander seg mindre effektivt med luften under stabile værforhold, og disse kalles derfor i denne forbindelse for ugunstige værforhold. Stabile værforhold er ofte forekommende om vinteren i kalde perioder med vindstille.

For å kunne beregne miljøvirkningen av et utslipp av radioaktivitet til atmosfæren må man ha gode opplysninger om de meteorologiske forhold på stedet. Typisk for norske forhold er at det ofte er to motsatte vindretninger som er fremherskende. I Oslofjord-området er det f.eks. meget hyppigere vind fra syd om sommeren og fra nord om vinteren, mens vind fra øst og vest forekommer meget sjeldnere. Vindretningene styres også av terrengformasjonene. Vinden vil blåse langs en dal, ikke på tvers av den.

6. *Miljøpåvirkning*

Vi har sett at det er mulig helt å unngå utslipp av aktivitet til atmosfæren under normal drift av en atomreaktor. Men her, som i så mange andre sammenheng, er det ikke bare snakk om hva som er mulig, men hva som er hensiktsmessig.

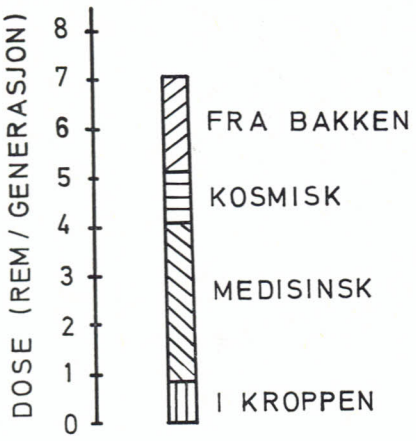


Fig. 4. Vanlig bakgrunns-stråling.

Den menneskelige organisme har vært utsatt for radioaktivitet lenge før oppfinnelsen av atomreaktorer. I figur 4 er vist hvilke strålingskilder vi er utsatt for fra naturens side. En del bestråling stammer fra radioaktivitet i selve kroppen. Dette er ikke kunstig fremstilt radioaktivitet, men naturlig forekommende radioaktive stoffer som også fantes i kroppen til steinaldermannen. En del bestråling er såkalt kosmisk stråling. Dette er radioaktiv stråling fra verdensrommet. En strålingskilde som er større enn disse to, finnes i radioaktive stoffer i jordsmonnet eller stein og fjell.

Disse naturlige strålingskildene kalles bakgrunns-stråling. I bakgrunns-strålingen inkluderes ofte en bestråling som ikke er naturlig forekommende, men som har blitt en uunngåelig del av moderne menneskers liv. Dette er den medisinske bestråling. Bruk av radioaktivitet i medisinsk sammenheng har ført til at bakgrunnsstrålingen har blitt omtrent fordoblet.

De atomreaktorer som har blitt bygget til i dag har vært basert på at en viss grad av utslipp av radioaktivitet til atmosfæren kan finne sted. Dette utslippet vil gi en viss stråle-eksponering av befolkning i omgivelsene. Det relevante spørsmål er nå: Er dette av helsemessig betydning? Hvis det er av helsemessig betydning, kan utslippet reduseres. Dette koster penger, og det ville være urimelig å foreta en ekstra investering uten at dette er begrunnet.

I figur 5 er eksponeringen av det mest utsatte individ tegnet opp for et par reaktorer. Verdiene for Humbolt Bay og Dresden er målte verdier. Disse to atomreaktorene er av relativt gammel årgang, og radioaktivitetsutslippet fra en moderne kraftreaktor vil være adskillig mindre, som vist på figuren. Disse verdiene er sammenlignet med størrelsen på den naturlige strålingen. Vi ser at eksponeringen fra et kjernekraftverk vil utgjøre en liten prosentvis økning av eksponeringsnivået. Disse verdiene (bortsett fra bakgrunns-strålingen) gjelder mest utsatte individ og gjelder for normale driftsforhold av reaktoren.

Men den naturlige bakgrunns-strålingen varierer fra sted til sted, og figur 6 viser hvor stor denne variasjonen er. Det som er kalt «normal verdi» er det samme som er kalt naturlig stråling eller vanlig bakgrunns-stråling i de to foregående figurene. Også i Norge er det steder der bakgrunns-strålingen er abnormt stor, nemlig der man har alunskifer. Dette gjelder f.eks. de nedre bydeler i Oslo. Høyeste observerte bakgrunnsstråling finnes ved Krekling, mellom Hokksund og Kongsberg.

Strålingseksponeringen som er vist i de foregående figurene, refererer til normal drift av en reaktor. Men hvis det inntreffer et uhell ved et kjernekraftverk, kan utslippet av radioaktivitet bli meget større.

Det er et ubehagelig faktum at de fleste tekniske landevinninger også innebærer en fare. Tabell II viser en statistikk over noen dødsårsaker i USA i 1966. Denne statistikken gir risiko for dødsfall, sannsynligheten for at en gjennomsnittsperson skal dø av denne bestemte grunn i løpet av et år. Tallene på risikoen er basert på registrerte dødsfall. Tilsvarende risikotall for dødsfall grunnet reaktoruhell har blitt beregnet av forskjellige vitenskapsmenn eller grupper, men disse er ikke basert på registreringer, da det ikke har vært noen reaktoruhell som har hatt konsekvenser for personer som ikke er knyttet til anlegget.

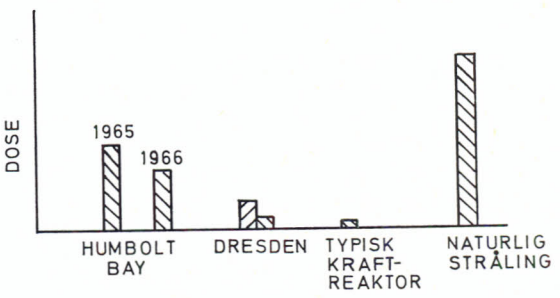


Fig. 5. Dose utenfor stasjonsområdet sammenlignet med naturlig stråling.

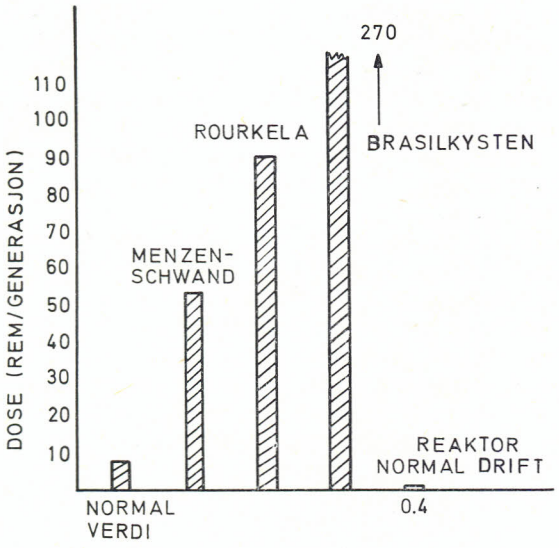


Fig. 6. Naturlig stråling.

Tabell II

Ulykkesstatistikk, USA, 1966. Sannsynlighet for dødsfall pr. person pr. år

Bilulykke	2.7×10^{-4}
Fall	1.0×10^{-4}
Brann, eksplosjon	4.0×10^{-5}
Forgiftning	1.9×10^{-5}
Maskiner	1.0×10^{-5}
Fly	7.5×10^{-6}
Jernbane	5.1×10^{-6}
Elektrisitet	5.1×10^{-6}
Dyr, ikke giftige	6.6×10^{-7}
Lynnedslag	5.5×10^{-7}
Giftige dyr og insekter	2.4×10^{-7}
Trikk	4.5×10^{-8}

Man ser fra tabell II at det er mulig å plassere dødsårsakene i risikogrupper, som f.eks. kan kalles «ikke aksepterbare», «tolererbare» og «aksepterbare». Bilulykker faller i gruppen «ikke aksepterbare». Det er store pengesummer som i form av trafikklys, sikkerhetsseler, trafikkkontroll m.m. anvendes i et forsøk på å redusere denne risikoen. Forgiftning er eksempel på en dødsårsak som faller i en mellomgruppe. Man er oppmerksom på farene, men begrenser innsatsen til merkelapper om at medisiner skal oppbevares utilgjengelig for barn. Lynnedslag og giftige dyr og innsekter faller i gruppen «aksepterbare» risikoer. Riktignok monteres det lynavledere på større bygninger, men det er for å unngå brann, ikke dødsfall. Ellers er det få som noensinne reflekterer over muligheten av å bli drept av lynnedslag.

Beregninger over risiko fra kjernekraft er nødvendigvis omtrentlige, da det ikke finnes erfaringsmateriale, men resultatene fra forskjellige kilder er i god overensstemmelse og plasserer kjernekraften langt under de laveste i tabell II. Risikoen er av samme størrelsesorden som risikoen for å bli drept av en meteoritt.

Men et uhell ved et kjernekraftverk har også økonomiske konsekvenser. Selv i tilfelle hvor det ikke blir noen skade på deler av anlegget, vil et uhell medføre en driftsstans og et økonomisk tap. Hvis det er skader på anlegget, vil driftsstansen bli av tilsvarende lengre varighet.

Som eksempel kan man velge ut en rimelig ulykkesrisiko fra Tabell II og se hva den innebærer i økonomisk sammenheng, om den skulle være typisk for kjernekraft. Vi velger en risikofrekvens i området «akseptabelt», f. eks. 5×10^{-6}, eller 5 dødsfall blant en million mennesker pr. år. Dette er langt høyere enn risikoen som er ventet fra fullt utbygget kjernekraftnett, men som sagt i den gruppen ulykker som av samfunnet betraktes som akseptable, siden det ikke gjøres noen innsats for å minske antallet slike ulykker.

Rundt år 2000 vil det sannsynligvis trengs 10 kjernekraftverk-enheter (hver på 1000 MWe) for å dekke forbruket til en million mennesker. For at det skal bli et gjennomsnitt på 5 dødsfall pr. år blant disse menneskene av årsaker som har sammenheng med reaktoruhell, måtte det forekomme et totalt reaktorhavari hvert annet år. Eller sagt på en annen måte: en raktor ville ha en gjennomsnittlig «levetid» på 20 år. Dette er selvfølgelig økonomisk fullstendig uakseptabelt. Derfor vil reaktoranlegget bli bygget mer driftsikkert. Dette eksemplet viser at et kjernekraftverk ofte av *økonomiske grunner* vil bli bygget mer driftsikkert enn det sikkerhetshensyn tilsier.

Når en atomreaktor skal vurderes sikkerhetsmessig vil det bli foretatt en fullstendig uhellsanalyse. Ved analysen undersøkes alle tenkelige feilfunksjoner i anlegget. Så analyseres alle tenkelig utviklinger som resultat av en slik feilfunksjon. Om alt annet fungerer som det skal, vil det eneste resultat som regel være en kortere eller lengre driftstans. Men hvis det samtidig opptrer flere feil, kan det føre til utslipp av radioaktivitet. Sannsynligheten for et slikt sammentreff er liten, og denne beregnes ut fra opplysninger om komponentenes pålitelighet. Dessuten beregnes størrelsen på utslippet i hvert tenkelig tilfelle. Resultatene fra analysen blir altså en sammenheng mellom størrelsen på

radioaktivt utslipp og sannsynligheten for at et slikt utslipp kan finne sted.

Ved en slik analyse er det mulig å finne tall som uttrykker miljøpåvirkningen fra et kjernekraftverk, tidligere i dette kapitel uttrykt som risiko.

De eventuelle skader fra radioaktiv bestråling består, som omtalt i en annen forelesning, hovedsakelig i leukemi og skjoldbruskkjertel-kreft, og dessuten i mulige forandringer i arveanleggene. Man kan ikke vente å finne eksakte tall for disse skadene, da direkte sammenlignbart observasjonsmateriale ikke foreligger.

Figur 7 viser en fremstilling av naturlig forekomst av leukemi og skjoldbruskkjertel-kreft sammenlignet med den økning man vil vente i forekomst av disse sykdommene ved full kjernekraftutbygging. Dette er resultater av beregninger utført ved United Kingdom Atomic Authority. Økningen er så liten at den har blitt multiplisert med en faktor hundre for å bli synlig på figuren. Som nevnt er ikke beregninger av denne typen helt eksakte, men resultatene fra uavhengige analyser viser god overensstemmelse. Nøyaktig verdi på tallene er heller ikke av viktighet. Betydningen av en slik beregning ligger i at den indikerer om det ville være noe tjent ved en ytterligere ivestering på sikkerhetssiden.

Forandringer i arveanlegg er også noe som forekommer av en rekke forskjellige årsaker. En del må kunne tilskrives bakgrunns-strålingen, men det finnes også helt andre typer årsaker. Medisiner har gitt drastiske arvemessige virkninger. Skadevirkninger av narkotika og LSD har blitt vist. Men også mer vanlige nytelsesmidler som kaffe og alkohol menes å ha arvemessige effekter. Arvemessige virkninger av full kjernekraftutbygging har blitt sammenlignet med virkninger av andre årsaker og funnet å være forsvinnende.

De vesentlige avfallsproblemer vil være ved reprosesseringsanlegget for brensel, og ikke ved selve kjernekraftstasjonen. Alt som er sagt i det foregående refererer til kraftstasjonen. Bestråling fra radioaktivitet frigjort fra reprosesseringsanlegget kommer i tillegg. Men den overveiende del av denne bestrålingen vil resultere fra utslipp som er kontrollert, i motsetning til de som skyldes uhell. Det er derfor mulig å redusere eller helt unngå et slikt utslipp, og ønskeligheten av å gjøre dette er delvis et økonomisk spørsmål.

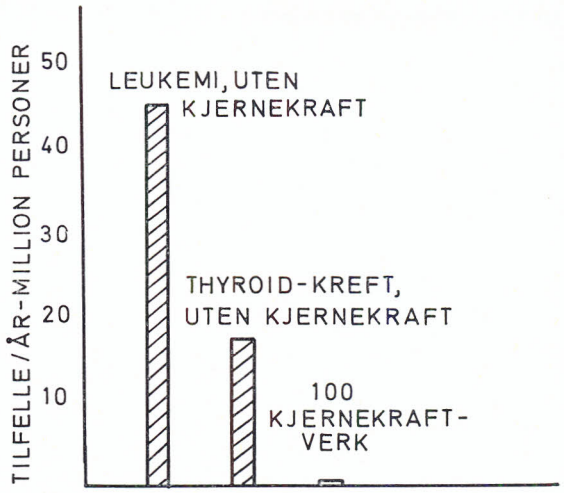


Fig. 7. Total risk. Uhell og normal drift.

Det er en annen begrensning ved betraktningsmåten i det foregående. Virkningen på kortere og lengre sikt av bestråling fra et radioaktivt utslipp til atmosfæren blir analysert. Men selve bestrålingen antas å finne sted mens gassene spres utover fra utslippspunktet. I realiteten vil bestråling kunne finne sted så lenge de radioaktive stoffene er aktive og befinner seg i atmosfæren. Det er slutt på den tid da man anså atmosfæren og verdenshavene som ubegrensede avfallsreservoirer, og dette er et problem som krever å settes i perspektiv.

Stråledoser fra naturlige kilder (mrad/år)*

Person på granitt		Person på sedimeter	Person på hav	Stor fisk i havet		Mikroorganismer i havet	
3000 m.o.h.	0 m.o.h.			Ved overfl.	100 m	Ved overfl.	100 m
207	142	75	52	64	30	39	5

* 1 mrad er en tusendel av 1 rad, enheten som angir absorbert energi i vev.

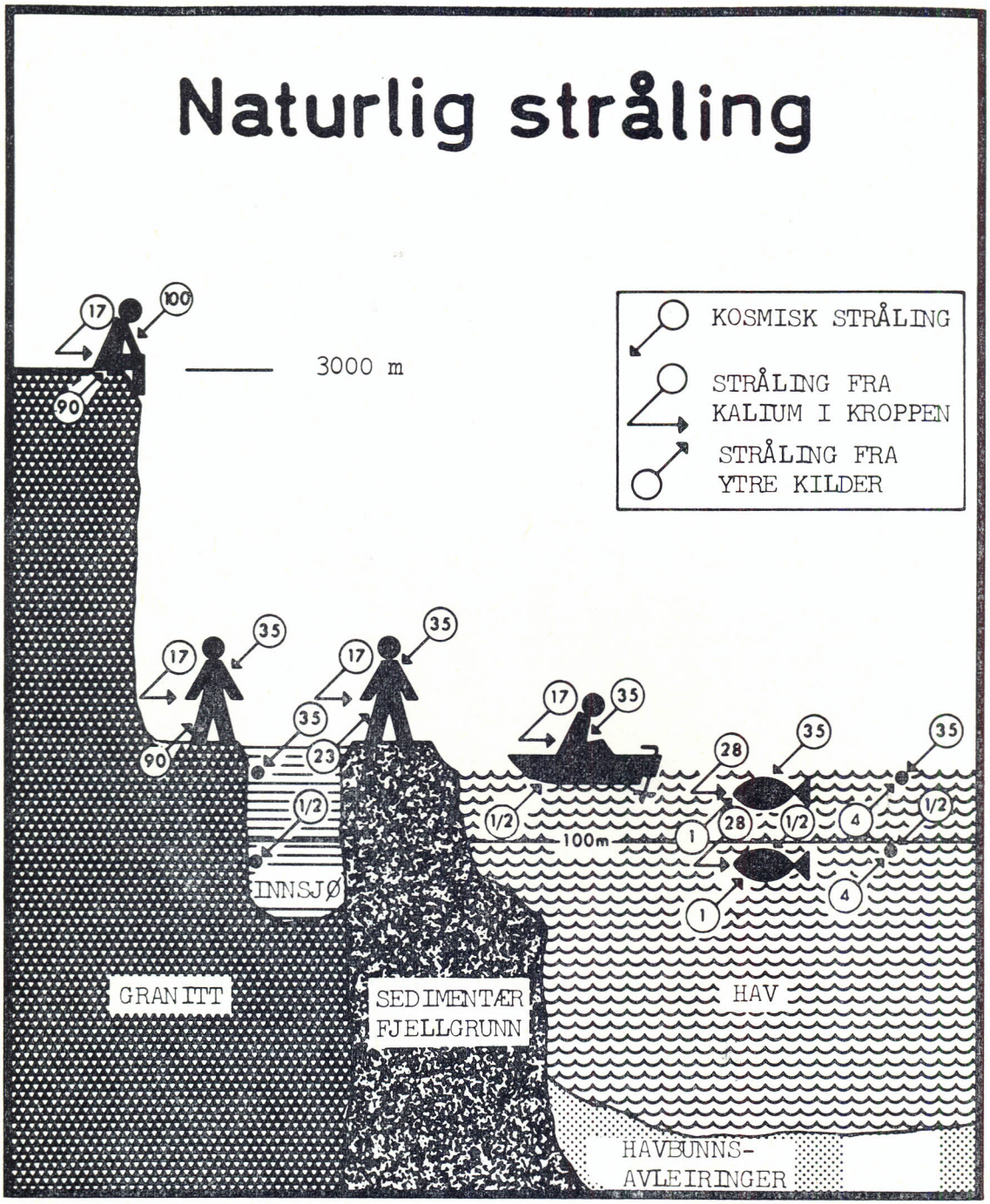


Fig. 8. Figuren er hentet fra IAEA Bulletin, Vol. 12, No. 5, 1970.

Her gis en del referanser som bedre belyser de problemer som har blitt omtalt i dette kapitlet:

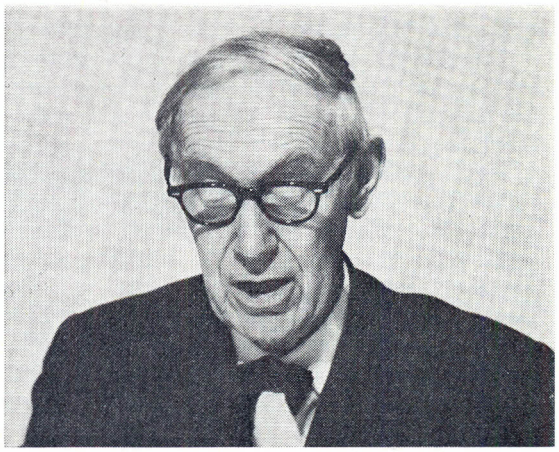
H. J. Otway: The Application of Risk Allocation to Reactor Siting and Design (LA—4316, 1970).
IAEA Conference on Containment and Siting of Nuclear Power Plants (1967).
Safety and Reliability Analysis of Nuclear Power Plant Systems (Nuclear Eng. and Design, Vol. 13, No. 2, 1970).
US Department of Health Report (BRG/OC70-1, 1970).
C. D. Corbit: Let's put Reactors, Radiation, and Risk in proper Perspective (Transactions of ANS Conference on Reactor Operation Experience, Denver, Colorado, 1971).
H. Mandel: Standortfragen bei Kernkraftwerken (Atomwirtschaft, Jan. 1971).
IAEA Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Plants (New York, Aug. 1970).

Rådsmøte i Europeisk Fysisk Selskap

Rådet i Europeisk Fysisk Selskap (EPS) hadde i mars møte i Oslo, og i den anledning kom mange av Europas mest kjente fysikere på besøk. Samtidig med rådsmøtet var det møte i en del faglige grupper tilknyttet EPS. Rådsmøtet tok opp en rekke organisasjonsspørsmål og fikk lagt fram for seg arbeidsrapporter fra de fleste faggruppene. Flere faggrupper har gjort et godt arbeide, og noen av dem har allerede organisert konferanser innen sitt spesialområde. Vi har allerede brakt referat i FFV fra den første europeiske faststoffkonferanse i Firenze.

I oktober 1972 skal EPS organisere et generelt møte i fysikk i Wiesbaden. Hovedtemaet for møtet er utviklingsretningen innen fysikk, og det er meningen å lage en oversikt over hvor langt de ulike grener av fysikken er kommet, hvilke problemer som er aktuelle og hva framtida vil bringe. En vil også prøve å finne ut hvordan resultatene av grunnlagsforsking i fysikk kan nyttes i moderne teknikk, og hvilket forhold det er mellom fysikk og samfunn. Her vil en også prøve å danne seg et bilde av arbeidsmarkedssituasjonen for fysikere i Europa. Samtidig med møtet i Wiesbaden skal det være generalforsamling i EPS. Rådsmøtet i EPS godkjente de foreløpige planer for konferansen, og en må bare håpe på at flest mulig norske fysikere finner anledning til å ta del i møtet.

En del møtedeltakere



Presidenten i EPS, professor Erik Rudberg

Inntil nå har professor Erik Rudberg, Sverige, vært president i EPS. Han hadde frasagt seg gjenvalg, og som ny president ble valgt professor H. B. G. Casimir, Nederland. Professor C. M. Braams, Nederland, ble visepresident og professor L. Jansen, Sveits, sekretær.

I samband med møtet nyttet deltakerne høve til å besøke noen av institusjonene og laboratoriene i Oslo-området, og det ble arrangert flere gjesteforelesninger om spesielle fysiske emner. Norsk Fysisk Selskap ved formannen T. Riste var vertskap for et hyggelig sherry-selskap med innbudne gjester fra Universitetet og forskningsinstituttene.

O. S.

Nytt om CERN—samarbeidet

Den danske regjering har besluttet at Danmark skal delta i 300-GeV prosjektet ved CERN. Beslutningen er bekjentgjort i mars i år i skriv til CERN's Råd fra Det Kongelige Danske Undervisningsministeriet, der det blir sagt at Danmark ønsker å delta i 300 GeV-programmet, etter de retningslinjer som er fastlagt i dokumentet CERN/958/Rev.

H. O

KOMMENTARER TIL EN BOK-ANMELDELSE

K. J. Knutsen

I Fra Fysikkens Verden nr. 1 1972 finner man Andres Bjørnhaug: Fysikk 8 og 9, Dreyer 1965 og 1966, anmeldt. Anmeldelsen gir grunn til et par kommentarer. Det hadde selvsagt vært mer naturlig om en fysikklærer fra ungdomsskolen gjorde det. Men for å være sikker på at det blir gjort, skal jeg forsøke å skrive kommentarene.

Anmelderen skriver: «Det er ingen grunn til å henge ut Andres Bjørnhaugs bøker i denne sammenheng. De er vel ikke verre enn andre.» Sannheten er nok at Bjørnhaugs bøker er blant de beste bøker man har for ungdomsskolen. Mange vil vel si at de er de beste. (Universitetslektor Otto Øgrim har skrevet en artikkel i Norsk Skoleblad Nr. 4 1969 p. 110 ff. med tittel: Skolens fysikkbøker holder ikke mål. Den kan anbefales for dem som ønsker en kort redegjørelse om ungdomsskolens lærebøker i fysikk.)

Om lærebøkene i ungdomsskolen skriver anmelderen: «De holder fast ved den meningsløse oppdeling i Mekanikk, Varmelære, Optikk osv.» Det er selvsagt ingen som har noe i mot at man løsner litt på den strenge oppdelingen som man hittil har hatt. Men man må stikke fingeren i jorden og lukte hvor man er. I ungdomsskolen underviser det i dag en rekke lærere som ikke har tilstrekkelig utdannelse for fysikkundervisning. Det gjør at det som står i lærebøkene må være riktig, og de må så å si gi svar på alt. Så når anmelderen kritiserer at «Læreboka forteller praktisk talt alt uten å overlate noe til elevenes fantasi og skapende evne,» så er det en dyd av nødvendighet. (Fantasien og den skapende evne kan kanskje til en viss grad oppøves ved tilleggshefter med spørsmål på den ene side og svar på baksiden.)

Skal fysikklærerne bli tilstrekkelig fortrolige med pensum, må heller ikke de forskjellige utgaver forandres for radikalt. Man må bruke tid på forandringen. Erfaringer fra radikale forandringer i andre fag, skulle tilsi at man bør gå meget forsiktig til verks. Man må også være klar over at fysikken skal passes inn i andre fag.

Da jeg for mange år siden var elev av Statens Gymnastikkskole, sa direktøren ofte at Norge hadde vært lykkelig forskånet fra store gymnastikkpedagoger, slik at man i ro og mak kunne plukke ut bra ting fra andre systemer. Man får håpe at det samme fortsatt må være tilfellet for fysikk.

Ad. K. J. Knutsens kommentar.

En vurdering av en lærebok i fysikk vil selvsagt avhenge av den bakgrunn av kunnskap og erfaring som anmelderen sitter inne med, og av de krav han mener bør stilles til en god lærebok. — I mitt arbeid ved Norges lærerhøgskole har jeg hatt anledning til å sette meg inn i en del av den omfattende virksomhet som har funnet sted så å si over hele verden for å skape en reform i skolefysikken. Ved Lærerhøgskolen har vi dessuten gående et større prosjekt som går ut på å utarbeide et nytt opplegg i fysikk/kjemi for ungdomstrinnet. — På denne bakgrunn har jeg uttalt meg om norske fysikklærebøker generelt og Bjørnhaugs bøker spesielt. Jeg har ikke bare tenkt på den faglige side ved bøkene (slik som O. Øgrim i nevnte artikkel), men like mye på den pedagogiske, dvs. valg av emner og fremstillingsform, og ikke minst den undervisningsmetodikk og arbeidsmåte som bøkene inviterer til. Jeg finner ingen grunn til å modifisere mine uttalelser etter Knutsens kommentar.

Jacob Bøe

P.S. — Det må visst være svært lenge siden Knutsen gikk på Statens Gymnastikkskole.

Bøker

Otto Øgrim: Størrelser og enheter i fysikken. 3. utgave. Universitetsforlaget, Oslo (1971), 78 sider, uinnb., pris kr. 24,50.

Denne tredje utgave er en utvidet og forbedret versjon av boken som først ble utgitt i 1962, og som ble gitt en omfattende anmeldelse av J. Aars i FFV nr. 4 1963. De utvidelser som er foretatt er naturlige forbedringer, særlig symbolregisteret. Utvalget av enheter er stort sett rimelig, men når short hundredweight og apothecaries ounce er blitt med, burde vel også f.eks. tonn TNT fått plass. Det skulle også være naturlig å angi usikkerhetene i de fysiske konstantene og å ajourføre disse så godt som mulig.

Det er vel prinsipielt meningsløst å kritisere en standard, men ifølge anmelderens vanetenkning er både spinn og bevegelsesmengdemoment dårlige nye ord for $r \times p$, og hvorfor densitet og nukleide når man først skal bruke norsk. Og betegnelsen dimensjon én er neppe bedre enn dimensjonsløs eller ubenevnt. Av hensyn til elektrodynamikken burde vel magnetisk vektorpotensial heller kalles elektromagnetisk vektorpotensial.

I og med at det internasjonale målsystemet SI nå er i ferd med å bli alminnelig akseptert er anvendelighet og verdi av Øgrims bok stigende. Den anbefales til fysikere på alle trinn.

Kjell Mork

Trenger De tjenere, er det bare å komme til Hewlett-Packard. Vi kan nemlig tilby Dem et utvalg på mer enn 2.000 stk. Noen enkle typer, andre i høyeste grad avanserte.

Som f. eks. vår Caesium tidsstandard. Den er så nøyaktig at den bare avviker ett sekund på 3171 år. Og våre digital voltmetere kan påvise spenning ned til en milliontedels volt. Eller oscilloskopet som kan «fryse» et kurveforløp som påbegynnes og avsluttes i løpet av tusendelen av et milliontedels sekund — så man kan fotografere det hele.

Med disse og en mengde andre produkter dekker vi våre utvalgte felter innenfor måling, analyse og beregning. Det er produkter med utallige anvendelses-muligheter innenfor vitenskap, medisin og utdannelse; ingeniørarbeid, kommunikasjon, business og industri.

Selv om vår virksomhet er verdensomspennende, foregår 1/3 av omsetningen i Europa — og denne andel er i rask vekst. Her har vi slått dype røtter etter mange års virksomhet, med salgs- og servicemuligheter i alle større land. Fabrikker har vi også — med betydelige forsknings- og utviklingsprogram nær knyttet til de lokale behov.

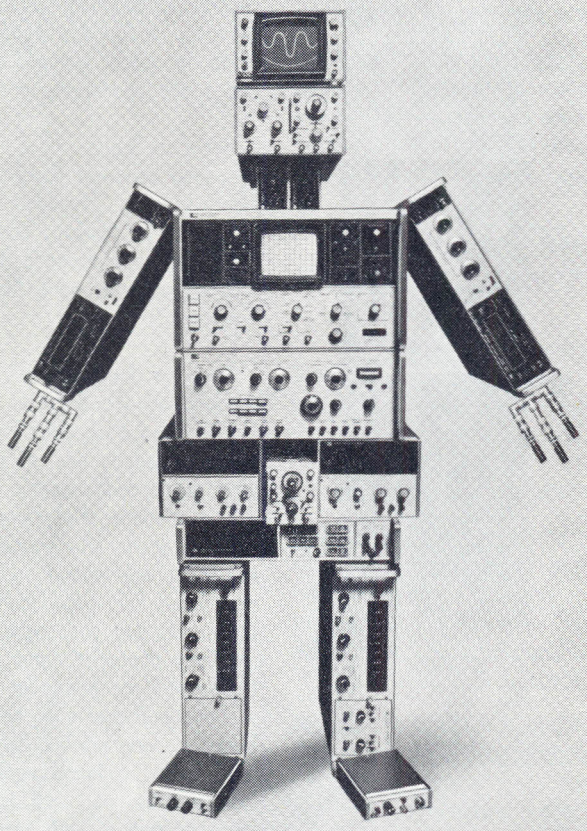
Ønsker De ytterligere opplysninger, ber vi Dem vennligst kontakte:

Hewlett-Packard Norge A/S,
Nesveien 13, 1344 Haslum

MALING - ANALYSE - BEREGNING

HEWLETT hp PACKARD

Herren ønsker?



Nytt undervisningsopplegg i fysikk / kjemi for 7. til 9. klasse i grunnskolen

Asbjørn Solheim

1. Presisering.

I artikkelen vil det bli brukt begreper som «vi», «vårt prosjekt» o.l. Disse begreper refererer seg til en gruppe på fire personer ved Norges lærerhøgskole (senere brukt NLHT) som satte prosjektet igang i 1970. Presentasjon av disse personer samt andre som er med i prosjektet vil bli foretatt senere.

2. Oversikt over de områder orienteringen omfatter.

2.1. Globale tanker om undervisning i naturfag.

Først vil det bli gitt en kort orientering om de nye tanker om undervisningen i naturfag som globalt er kommet til uttrykk i 50—60-årene. Disse tanker sammen med våre egne vurderinger danner basis for vårt prosjekt.

2.2. Hensikt og hovedmål med vårt prosjekt.
Her vil det bli gjort nærmere rede for vårt prosjekt.

2.3. Erfaringer som vi har gjort til nå.
Vi har foreløpig spinkelt grunnlag for å bedømme prosjektet, men det grunnlaget vi har blir presentert.

3. Globale tanker om naturfagundervisning.

Fra begynnelsen av 1950-årene er det i USA vokst fram en rekke nye undervisningsprosjekter, både i matematikk, fysikk, kjemi, historie, samfunnslære og i flere andre fag. Mange av disse prosjektene har fellestrekk i det metodiske opplegget, fellestrekk som:

a) en tro på den effekten som ligger i det at elevene selv får anledning til å sette tingene sammen,
b) en tro på den mulighet som dette gir til å oppdage meningsfulle mønstre og linjer i lærestoffet,
c) en tro på den mulighet som ligger i at eleven får sjanse til å være «his own discoverer» — den som selv oppdager —.

I denne sammenheng er det selvfølgelig ikke tale om å oppdage eller finne noe nytt i objektiv forstand, men en form for kunnskapstilegnelse som fører til at eleven engasjeres på en slik selvstendig og personlig måte at det for han, subjektivt, oppleves som «discovery».

1960-årenes tenkning omkring undervisningsspørsmål har vært sterkt preget av dette begrepet «Learning by discovery». Både i USA, Europa og andre steder i verden har det vokst fram en rekke prosjekter som i større eller mindre grad er preget av «discovery methods».

Nevnes kan:
Physical Science Study Committee (PSSC)
Introductory Physical Science (IPS)
Science Curriculum Improvement Study (SCIS)
Nuffield-prosjektet i England
IPN-prosjektet ved Universitetet i Kiel, Tyskland.

Det er kanskje på sin plass med en kort omtale av de enkelte prosjekter.

PSSC er et fysikk/kjemi-opplegg beregnet for vårt gymnastrinn, altså 10.—12. klassetrinn i den allmenndannende skolen. I startfasen var det hektiske diskusjoner omkring stoffvalget. Fra en kant ble betydningen av kjennskap til moderne teknologi sterkt framhevet, fra en annen kant ble fortrolighet med naturvitenskapelige metoder satt opp som hovedmål, idet det er disse metoder som i nyere tid har brakt den fysikalske erkjennelse så langt framover.

Det endelige valg førte til at fysikkens teknologiske anvendelse ble skjøvet i bakgrunnen, men den naturvitenskapelige metodelære ble heller ikke satt på førsteplass. Det som fikk førsteprioritet var stoffutvalget. Kurset skulle vise hvordan enkelte sentrale begreper hadde oppstått og hvordan de hadde utviklet seg. Valget falt på bølgepartikkelmodellen og hvordan denne danner utgangspunkt for forståelse av moderne atomfysikk. (PSSC-kurset har vært anvendt i norske gymnas helt siden 1962.)

Cand. real. Asbjørn Solheim er førstelektor ved Universitetet i Trondheim, Norges Lærerhøgskole.

Utdrag av et foredrag som i april 1972 ble holdt for foreldre og lærere ved Rosenborg ungdomsskole, Trondheim.

Altså:

PSSC-kurset tar utgangspunkt i sentrale begreper i fysikk/kjemi.

Undervisningsmetoden bygger på den naturvitenskapelige arbeidsmåte.

IPS (Introductory Physical Science) er beregnet på samme alderstrinn som våre 1.—9. klasse.

IPS har vært påvirket av PSSC når det gjelder hovedlinjer for oppbygging av det faglige innhold og det metodiske opplegg. Men kurset skal, som nevnt, brukes av elever på lavere klassetrinn, og derved får det *sitt* særpreg. IPS-prosjektet startet våren 1963, og i en rapport i 1968 blir det opplyst at kurset blir brukt av *3.500 lærere.*

SCIS-prosjektet er beregnet på et alderstrinn som kan sammenlignes med vår 1.—6. klasse. Også dette prosjektet bærer i seg de samme hovedintensjoner som nevnt i de to foregående prosjekter, naturligvis tilpasset alderstrinnet.

Alle de tre nevnte prosjekter er utviklet i USA. Jeg skal også gi en kort omtale av de to nevnte europeiske prosjektene. Begge disse prosjektene har hatt direkte betydning for vårt prosjekt ved at medlemmer av vår gruppe har vært på kurs og konferanser både i England og Tyskland.

Nuffield-prosjektet i fysikk dekker alle alderstrinn fra 1.—10. klasse, og kursene er inndelt i tre hovedgrupper:

Junior science prosjekt — klasse 1—5.
Ordinary — eller «O-level» — fra 11 til 16-årsalderen.
Advanced — eller «A-level» — over 16-årsalderen.

Jeg skal ta for meg opplegget til «O-level physics» som svarer til det alderstrinnet som er aktuelt for vårt prosjekt.

I tidsrommet 1962—65 pågikk en meget intens og omfattende forsøksvirksomhet med over 100 lærere og flere tusen elever. (I parantes bemerket: Prosjektet hadde rikelig med penger bak seg gjennom Nuffield Foundation.) Utviklingsarbeidet ble organisert på den måten at Nuffield Foundation utnevnte en ansvarlig leder, en naturvitenskapsmann med allsidig skolepraksis. Rundt seg samlet han et dusin rådgivende lærere og ga hver av dem i oppdrag å lede en studiegruppe bestående av universitetsfysikere og praktiserende lærere. Hver gruppe gjennomdrøftet fysikkundervisningens mål og metoder og utarbeidet et forslag til en enhet i undervisningsprogrammet.

Det arbeidsresultatet som forelå midt i 60-årene omfattet en utførlig «Teacher's Guide» for hvert av de fem skoleårene, og et tilsvarende antall veiledningsbøker for de fysikalske eksperimenter, en samlet veiledning til den delvis nyutviklede apparaturen, samt «Questions book» for elevene.

Selv hadde jeg anledning til å være på et kurs ved University of Leicester i 1970, der en fikk ta del i den undervisningsform som er utviklet av Nuffieldprosjektet. Mitt inntrykk er at det faglige innholdet i Nuffieldprosjektet spenner over færre emneområder enn det som er vanlig i tilsvarende opplegg, og dette gir tidsmuligheter til at undervisnings- og arbeidsmåten i høyere grad kan stimulere til aktivt elevengasjement og til dypere forståelse.

Det siste prosjekt som ble nevnt foran var IPN-prosjektet ved Universitetet i Kiel.

IPN står for «Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften».

Dette instituttet ble opprettet i 1966 med finansiell støtte fra «Volkswagenwerk». Instituttet har satt seg som oppgave å drive forskning og utviklingsarbeid innenfor den naturvitenskapelige undervisning, d.v.s. innenfor fysikk, kjemi og biologi. For å makte dette er det sørget for en bemanning og ledelse som representerer ekspertise såvel på de fagvitenskapelige områder som på de pedagogiske og psykologiske. IPN har valgt å konsentrere sitt arbeid i første omgang til naturfagundervisningen i 5., 6. og 7. kl. (10—12 år).

Utviklingsarbeidet i IPN administreres på følgende måte: Representanter fra institutt og praktiserende lærere i vedkommende skoleslag danner arbeidsgrupper som utarbeider emneenhetene. Lærerne prøver ut disse enhetene fra andre arbeidsgrupper. De innhentede lærererfaringene sammen med inntrykket av undervisningsforløpet ved en planmessig observasjon, danner basis for gjennomdrøfting og revisjon av undervisningsenhetene.

De første emneenhetene fra IPN forelå i 1969.

4. Vårt prosjekt.

4.1. Presentasjon.

Alle de foran nevnte prosjektene er gigantprosjekter etter vår målestokk, og den følgende presentasjon av vårt prosjekt er ikke et forsøk på å sette prosjektet inn i en global ramme, men på enkelte punkter kan det likevel være hensiktsmessig å se vårt prosjekt i relasjon til gigantprosjektene i USA, Storbritannia og Tyskland.

Vårt prosjekt, som vi har kalt «Fysikk/kjemi i skolen», startet høsten 1969 ved Norges Lærerhøgskole ved et samarbeidstiltak mellom pedagoger og fysikere. Vi i denne forbindelse er følgende personer:

Rektor, professor Haakon Olsen
Professor Torstein Harbo
Inspektør Jacob Bøe
Førstelektor Asbjørn Solheim

Harbo og Bøe er knyttet til Pedagogisk institutt, og Olsen og Solheim er knyttet til Fysisk institutt. Fra høsten 1970 har Forsøksrådet for skoleverket støttet tiltaket økonomisk. Jeg vil imidlertid presisere at ingen av disse fire nevnte personer har mottatt eller vil motta en eneste krone for det arbeid som de utfører for prosjektet. Det er altså ingen økonomisk bakgrunn for vårt engasjement, men engasjementet har sitt utspring i en generell misnøye med den eksisterende naturfagopplæring og mangelen på fornying av skolens undervisning på dette felt. Denne mangelen kan ha flere årsaker bl.a. følgende:

a) Alle nye lærebøker som kommer på markedet følger stort sett det gamle mønster. Bøkene gir elevene meddelelse om «alt» og reduserer elevenes eget arbeid til gjentakelser og verifisering.
b) Lærerne er for sterkt bundet til det tradisjonelle opplegg, og har ikke fått den nødvendige utdannelse som en omlegging forlanger.
c) Bruk av direkte oversettelser av f.eks. amerikanske og engelske læreverk er ikke mulig p.g.a. de store forskjeller i skoleordningene.

Forholdene i de andre nordiske land er omlag de samme som hos oss. Skal vi oppnå noen fornyelse av naturfagundervisningen, ser det derfor ut til at dette bare kan skje ved å utarbeide fullstendig nye opplegg for norske forhold.

4.2. Siktemål for prosjektet.

På bakgrunn av det som er nevnt har Komiteen for «Fysikk/kjemi i skolen» satt seg som mål:

a) Å utvikle et undervisningsopplegg for 7.—9. klasse i grunnskolen.
b) Undervisningsopplegget skal tilfredsstille de krav til god naturfagundervisning som stilles i dag, både fra pedagogisk og fra faglig hold.
c) Dette betyr at opplegget skal gi relevante kunnskaper og erfaringer. Kunnskapene skal presenteres i en slik form at elevene selv finner dem meningsfylte og interessante.

For å oppnå dette målet har Komiteen stilt opp følgende hovedkriterier:

1. Elevene skal få anledning til å lære fysikk/kjemi ut fra fagenes egenart.
2. Stoffvalget skal presenteres i en slik form at *eleven selv* må engasjere seg aktivt i læringsprosessen.
3. Undervisningsopplegget skal ta tilbørlig hensyn til elevenes modenhetsnivå.
4. Det må tas hensyn til skolens økonomi.
5. Det må tas hensyn til den faktiske lærersituasjonen.

Kriterium 1 gjelder stoffvalget. Her har komiteen valgt å ta utgangspunkt i de grunnleggende begreper i fysikk og kjemi. Som eksempler på slike begreper kan nevnes:

Massebegrepet
Tetthetsbegrepet
Massens konstans
Partikkelmodellen
Temperaturbegrepet
Stoffenes oppbygging og sammenbinding
Molekylstruktur
Kraftbegrepet
Energibegrepet
Forskjellige energiformer (Elektriske, kjemiske, Mekaniske, Varme)
Energioverføring
Energiens konstans

Alt dette er lærestoff som blir presentert i 7. og 8. klasse. For 9. klasse har Komiteen tenkt seg visse valgmuligheter, idet vi regner med å kunne tilby undervisningsenheter av litt forskjellig innhold. Det vil bli lagt vekt på å tilby enheter som kan kombinere arbeidet med biologiske emner, som f.eks. økologi, naturvern etc.

Det er uten videre klart at en fagplan som konsentrerer seg om slike grunnleggende begreper vil måtte sløyfe mye av det velkjente stoffet fra tradisjonelle lærebøker, dette gjelder da en rekke tekniske anvendelser. Slikt stoff kan og bør imidlertid komme med som eksempler og oppgaver. Det er verdt å merke seg at når det gjelder stoffvalg er Komiteen *prinsippielt* på linje med f.eks. PSSC-prosjektet og Nuffield-prosjektet.

Kriterium 2 gjelder undervisningsmåten. Her har Komiteen i samråd med praktiserende lærere, særlig adjunktene Bjørn Gylterud og Peter Ekerhovd ved Rosenborg skole, Trondheim, valgt å gjøre mest mulig bruk av *elev-eksperimenter* i større eller mindre grupper. Meningen er at *eleven selv* skal engasjeres aktivt i sin

egen opplæringsprosess ved at han på egen hånd skal få anledning til å arbeide seg fram til forståelse av fenomenene.

Her er Komiteen på linje med de tanker som ligger bak «Learning by discovery» som jeg tidligere har nevnt.

Kriterium 3 tar for seg elevenes modenhetsnivå. Komiteen støtter seg her til anerkjente teorier fra framtredende pedagoger. Teoriene går i korthet ut på at barn fra omkring 12-årsalderen er modne for en viss formaloperasjonell tenkning, med andre ord: fra 12-årsalderen kan vi regne med større og større evne til abstrahering.

Utgangspunktet for tankevirksomhet på det abstrakte plan må imidlertid for elevene på dette trinn i stor grad være en utstrakt bruk av konkretiseringer med eksempler fra elevenes erfaringsverden, men dette betyr ikke at praktiske forsøk utover elevenes daglige erfaringsverden ikke kan brukes, snarere tvert imot, elevene skal utvikle sin erfaringsverden, og de skal utvikle sin fantasi og skapende evne så langt råd er.

Kriterium 4 gjelder skolens økonomi. Her er Komiteen innstilt på i størst mulig utstrekning å bygge på enkel og billig apparatur. Dette kan få visse uheldige innvirkninger på valg av lærestoff, men Komiteen håper å kunne finne fram til tilfredsstillende løsninger på problemet.

Kriterium 5 berører lærersituasjonen. Det er et faktum at det i ungdomsskolen finnes mange naturfaglærere som ikke har kompetanse for undervisning både i fysikk, kjemi og biologi. Komiteen vil på lengere sikt arbeide for en bedring av naturfaglærerutdannelsen.

4.3. Arbeidsgangen i prosjektutviklingen.

Organisasjonen bak prosjektet består av to ledd:

1. *Styringsgruppen* for prosjektet består av en Komité som foruten de 4 tidligere nevnte personer også har en representant for forsøkslærerne. Denne representanten er pr. i dag adjunkt Bjørn Gylterud, Rosenborg skole.

2. *Arbeidsgruppen.* – I arbeidsgruppen deltar, foruten hele Komiteen, følgende engasjerte medarbeidere:

   Adjunkt Anne Lise Drege
   Adjunkt Peter Ekerhovd
   Lektor Kjell Jenssen
   Lektor Per Inge Hønnås
   Adjunkt Ulf Haave
   Vit.ass. Sverre Vangberg

Av disse er Jenssen, Hønnås og Haave engasjert på heltid. Framdriften er stort sett følgende:

Hovedlinjene i emneenhetene trekkes opp av styringsgruppen. Deretter utarbeider det engasjerte personale et detaljert utkast til emneenheten. Dette utkastet blir så inngående drøftet i arbeidsgruppen. De endringer som arbeidsgruppen foretar blir innarbeidet slik at et første forslag til emneenheten kan benyttes i to klasser på Rosenborg skole med hver sin forsøkslærer. Forsøkslærerne gir tilbake detaljerte rapporter om emneenheten generelt og om de enkelte forsøkene i enheten. På bakgrunn av disse rapportene og i samarbeid med forsøkslærerne blir det så foretatt revisjoner av førsteforslaget til emneenhet. Denne reviderte utgaven er det som er lagt til grunn for den utvidede forsøksvirksomheten (12 klasser i Trondheimsskolene: Rosenborg, Blusuvoll, Gerh. Schøning og Lademoen). P.g.a. de rapporter som kommer inn fra disse skolene, er det så foretatt ytterligere revisjoner, og disse 3. utgavene skal utprøves i ca. 50 klasser på forskjellige steder i Norge. På bakgrunn av de informasjonene som så kommer inn, vil det igjen bli foretatt revisjoner før emneenheten legges ut på det åpne marked. Dette fører til at utviklingsprosjektet i sin helhet først kan legges ut på det åpne marked i 1976.

I første omgang vil undervisningsopplegget bestå av to typer av skriftlig materiale, nemlig:

1. Elevbok og 2. Lærerveiledning.

Elevboken består av nødvendig instruksjon for at elevene skal kunne arbeide seg fram i lærestoffet. Videre inneholder den spørsmål og åpne felter for de svar som enten eleven på egen hånd arbeider seg fram til, eller for de svar som en klassediskusjon om lærestoff fører til. Videre inneholder boken oppgaver som er knyttet til lærestoffet, og oppsummeringen av viktig lærestoff.

Elevboken inneholder *ikke* svar på alle de spørsmål som stilles, idet dette etter Komiteens mening ville redusere den muligheten som bor i enhver elev til å yte intellektuell innsats ut fra sine forutsetninger. Etter Komiteens mening, er en slik innsats nødvendig for å oppnå den åndelige utvikling som både skolen og vi foreldre ønsker at eleven skal gjennomgå. Det er kanskje akkurat på dette punktet at enkelte foreldre reagerer overfor det nye undervisningsopplegget.

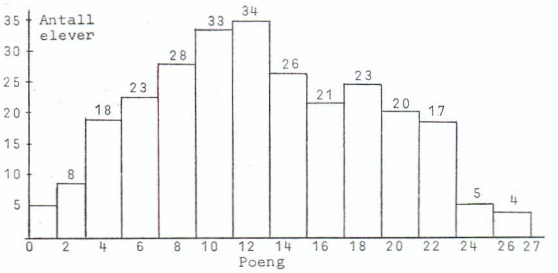
Kjære foreldre, prøv følgende tankeeksperiment. Sett deg i elevens sted i en ordinær skolesituasjon med den tidsbelastning som dette innebærer. Du vet at svar på alle spørsmålene

som er stillet står velformulert ved siden av, men din oppgave er å besvare disse spørsmålene ut fra de konklusjoner du på egen hånd kan dra av det foreliggende eksperiment som du har utført. Med hånden på hjertet, hvor mange av dere ville virkelig anstrenge sitt intellekt, jeg mener da virkelig anstrenge, for å skrive ned sin egen konklusjon på problemet, når en vet at konklusjonen står formulert ved siden av? Dette er ikke noen anklage mot noen, det er bare en helt naturlig menneskelig reaksjon som kommer til uttrykk når det store flertallet av elevene, og også vi voksne, ville velge den enkleste løsning. Men dette betyr igjen at elevenes mulighet for intellektuell utvikling er redusert. Og det er i dette tilfelle læreboken som legger forholdene til rette for denne reduksjon i utviklingen.

Komiteen vil derfor innarbeide alle slike facts i lærervegledningen, og dette betyr at alle faktiske opplysninger *er* tilgjengelige, og eleven vil derfor enten via klassesamtaler eller enkeltvis kunne få de opplysninger som de eventuelt mangler. Foreløpig har nok ikke lærervegledningen vært god nok, men det vil bli lagt vekt på å skaffe gode lærervegledninger, ikke minst på bakgrunn av den mangel på fullt kvalifiserte lærere som ungdomstrinnet i den 9-årige skolen strir med.

4.4. Evaluering av prosjektet.

Komiteen har lagt plan for en omfattende evaluering av prosjektet. Det skulle ikke være nødvendig å komme nærmere inn på selve evalueringsprosessen i denne sammenheng, men det kan være verdt å framheve at forsøkslærernes rapporter vil bli tillagt stor vekt. Det er også utarbeidet tester til evaluering av elevprestasjonene, og det vil etter hvert bli utarbeidet en rekke slike tester til hjelp for lærerne. Som en naturlig følge av prosjektets siktemål, vil det bli lagt liten vekt på «hukommelsesspørsmål»



som bare går ut på å gjengi fakta. Testene skal først og fremst inneholde spørsmål som går på elevenes faglige innsikt og forståelse, både når det gjelder fagstoff, tenkemåte og arbeidsmetode.

Nedenfor er gjengitt resultatet av en slik test som er anvendt på 265 elever. Av plasshensyn kan jeg ikke gjengi hele analysearbeidet som er foretatt i forbindelse med testen. Det som vises er bare fordelingen av elevene på de ulike skåreklasser.

Prøven må sies å ha en forholdsvis høg vanskelighetsgrad. Sett på denne bakgrunn må løsningsfrekvensen sies å være tilfredsstillende. Helhetsinntrykket er at elevene har tilegnet seg vesentlige kunnskaper i lærestoffet, og at de i en viss grad er i stand til å anvende disse kunnskapene.

Dersom en med noen få ord skal prøve å gjengi hovedinnholdet av de generelle kommentarene i rapportene fra forsøkslærerne, må det bli omlag som følger:

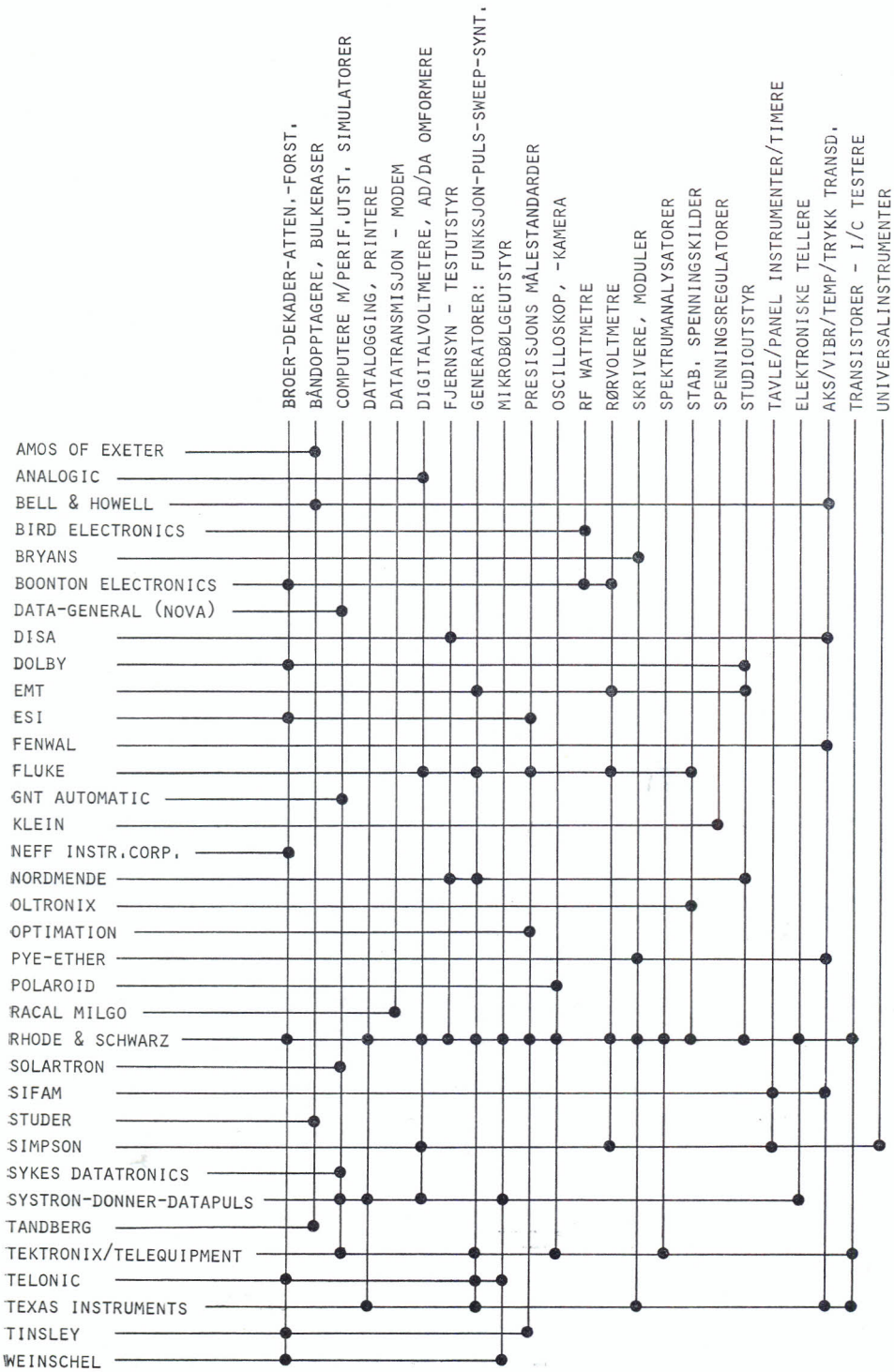
Elevene er svært positive og interesserte i oppgavene og liker å utføre dem. Denne positive holdning gjelder også elever som ikke forøvrig er særlig interessert i skole og læring.

Elevene har vansker med på egen hånd å trekke de riktige konklusjoner og forme disse i egne ord.

Disse kommentarene fra forsøkslærerne gjaldt 1. emneenhet. Rapportene fra senere emneenheter tyder på at elevenes evne til å dra egne konklusjoner er i utvikling.

Instrumentprogram

Vennligst kontakt oss hvis De ønsker tilsendt kataloger eller datablader.



MORGENSTIERNE & CO A/S

INGENIØRFIRMA

KONGHELLEGT. 3-5 —— OSLO 5 —— TELEFON 37 29 40

Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. techn. Haakon Olsen, Universitetet i Trondheim, Norges lærerhøgskole.
Redaksjonskomité:
Rektor Finn Berntsen, Strinda gymnas, 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.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genève.

Norsk Fysisk Selskap

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

Styre: Professor dr. philos. **Arnfinn Graue,**
Universitetet i Bergen.
Amanuensis Gunnar J. Kvifte, 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.

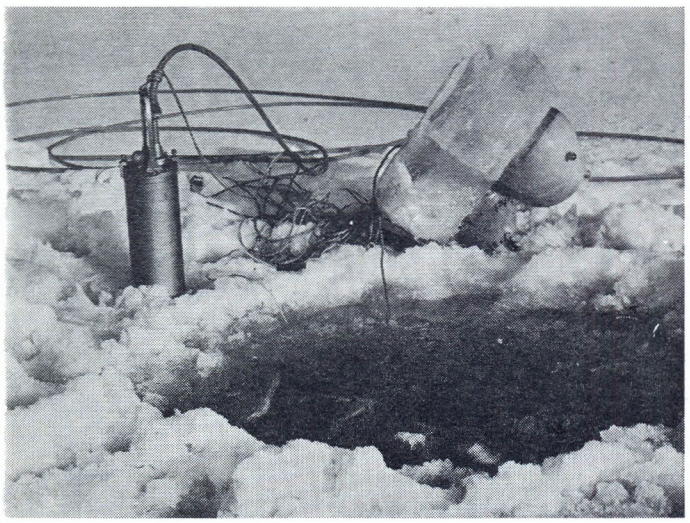
Postgirokonto: 88388 Bankgirokonto: 5102.20.16001

Teknisk medarbeider og annonsetjeneste:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 15,00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 10,00.

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

Postgirokonto: 10472 Bankgirokonto: 8601 236545



Temperature profile recorder TR-1, just recovered from bottom of frozen lake.

RECORDING CURRENT METERS
for ocean currents down to 2000 meters depth.

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

CLIMATOLOGICAL RECORDING STATIONS
Land-based or mounted on buoys.

TAPE READERS for reading magnetic tape from the above instruments.

IVAR AANDERAA
MANUFACTURER OF DATA COLLECTING INSTRUMENTS

HARDANGERVEIEN 2
5050 NESTTUN
NORWAY
TELEPHONE: BERGEN 27 23 14
CABLE: HELICON

Aktietrykkeriet i Trondhjem