Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Gnistkammeret og dets anvendelse 1

Regneautomaten ved NTH 6

Påvirkning av enzymers og bakteriers strålefølsomhet 8

Nye elektronmultiplikatorer (2) 12

Tale og hørsel 16

AHA-spalten 20

Programmering av NTH's regneautomat GIER (side 6).

Nr. 1 - 1963
25. årgang

Lyskopimaskiner for tegninger

Fotokopiautomater for dokumenter og boksider

SATEK tegningsarkiv

Forsterkningslerret for kart

Plastor tegnebrettunderlag

Magnettavler og magnetkart

Fix tegningsholdere fester uten tegnestifter

Tape, ensfarvet og stiplet i 17 farver og 8 bredder fra 0.4 mm til 3.2 cm

MAGNE ORE A/S

Parkveien 25, OSLO

Telefon 60 79 00

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 1 - 1963

Redaktør: HAAKON OLSEN

25. årgang

Gnistkammeret og dets anvendelse

Trygve Holtebekk

Den utviklingen i kjernefysikken og elementærpartikkel-fysikken som har funnet sted i de siste decennier har teknisk vært betinget av to ting, muligheten for å akselerere partikler til stadig høyere energier, og muligheten for å registrere elementærpartikler i tilsvarende energiområder. Det er meget interessant å se hvorledes utviklingen på disse to feltene har gått parallelt og vært til gjensidig inspirasjon og stimulanse. Vi skal her omtale nærmere en ny detektortype — gnistkammeret — som viser seg å dekke et meget spesielt behov i forbindelse med de største protonakseleratorene. Vi bør da først bli klar over hva en ønsker å observere i denne forbindelsen, og hvilke egenskaper en egnet detektor bør være i besittelse av.

Den eneste hittil kjente måte å registrere elementærpartikler på, er ved hjelp av deres evne til å ionisere. Dette vil si at bare elektrisk ladde partikler kan registreres. Nøytrale partikler iakttas bare via reaksjoner med ladde partikler. De eksisterer forsvidt bare som nødvendige bindeledd mellom, årsak til eller resultat av hendelser hvor ladde partikler inngår. For å skaffe seg mest mulig fullstendige opplysninger om disse hendelsene og de partikler, både ladde og nøytrale, som er implisert, er det ønskelig å identifisere de observerte partiklene med hensyn til masse, ladning og energi. Dette er de samme problemene som en alltid har stått overfor i kjernefysikken. Men i elementærpartikkel-fysikken kommer problemet om identifikasjon av de nøytrale partiklene med langt høyere grad enn i kjernefysikken. For å kunne det trenger en å knytte sammen begivenheter hvor disse partiklene har deltatt. Dette kan bare gjøres ved å lokalisere dem i tid og rom, i rommet for ved kinematiske betraktninger å slutte seg tilbake til hendelsesforløpet, i tiden for å vise at de forskjellige begivenhetene virkelig har noe med hverandre å gjøre, eller har inntruffet i en antatt tidsrekkefølge.

Detektorer med den egenskap at de kan lokalisere en partikkel eller rettere en partikkels bane i rommet, kaller vi spordetektorer. De vanlige typene spordetektorer er de fotografiske emulsjonene, boblekammeret og tåkekammeret. I emulsjonene er det mulig å lokalisere en partikkelbane innenfor en avstand av størrelsesorden 1 μm, i boblekammeret 0.1 mm og i tåkekammeret 1 mm. Til gjengjeld forteller emulsjonene ingen ting om tidspunktet for hendelsen (mellom tiden for produksjon og framkalling av emulsjonen), mens tåke- og boblekammeret har en tidsoppløsning på ca. 1 s.

Spordetektorene kan betraktes som én hovedtype av detektorer. Den andre hovedtypen utgjøres av det som går under fellesbetegnelsen tellere. Tellerne er karakterisert ved et avgrenset følsomt volum, som avgir et signal når det treffes av en ioniserende partikkel. Den har ingen mulighet for å angi en posisjon, et spor av partiklen innenfor dette volumet. Derimot gir den meget gode tidsinformasjoner. For de beste tellerne har en karakteristiske tider på noen nanosekunder.

I elementærpartikkel-fysikken ville det være ønskelig å ha en detektor som forente spordetektorens romlige oppløsningsevne med tellerens tidsoppløsning.

Vi kan også spesifisere en tredje ønsket egenskap: Det vil svært ofte være de relativt sjeldne begivenhetene en er på jakt etter. De hyppig forekommende vil som regel snart være kjente. En god detektor bør ha den egenskap at den bare registrerer de interes-

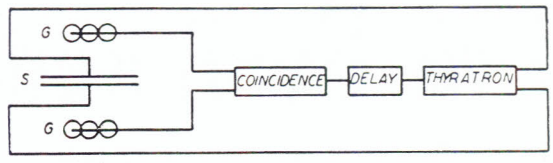
sante begivenhetene. Den bør være selektiv, altså selv kunne avgjøre om en begivenhet er interessant eller ikke. En velkjent måte å gjøre dette på er ved koinsidensteknikk. Bare når et bestemt antall partikler befinner seg innenfor eller passerer gjennom bestemte områder trer detektoren i funksjon. En kan også si at detektoren skal kunne utløses på et gitt signal. Den eneste av de tidligere spordetektorene som tilfredsstillet dette kravet var tåkekammeret, mens teknikken er blitt vel utviklet ved bruken av tellere.

Gnistkammeret, en spordetektor som er tatt i bruk de siste to-tre årene, viser seg å være et kjempeskritt på veien mot det målet vi nå har skissert opp, å finne en detektor som er selektiv og har god oppløsning både i tid og rom.

Vi skal se litt på virkemåten av denne detektoren, og tar med spredte trekk av dens historie. Noen fullstensig historisk oversikt er vanskelig å gi. Utviklingen gjennom de siste 30 eller kanskje 50 årene har vært så full av parallellkjøringer og sidespor at neppe noen vet hvem som fortjener mest ære. Det kan det i sin tid bli Nobelpris-komiteens oppgave å finne ut av. Det kan neppe være tvil om at utviklingen av gnistkammeret er en likeså viktig begivenhet som utviklingen av boblekammeret som Glaser fikk Nobelprisen for i 1960, men den er ikke på samme måte en én-manns prestasjon.

Prinsippet for gnistkammerets virkemåte ses best fra dens forløper, gnisttelleren. Her blir to planparallelle ledende kondensatorplater med en gassart mellom ladet til en spenning litt mindre enn overslagsspenningen mellom platene. En ioniserende partikkel som passerer mellom platene kan da utløse et gnistoverslag. Prisippet er i virkeligheten — bortsett fra de geometriske forhold — det samme som ved Geiger-Müller-telleren: Elektroner frigjøres i ionisasjonsprosessen, akselereres i et sterkt elektrostatisk felt og forårsaker derved en kaskadedannelse, et elektronskred eller en gnist. De geometriske forhold gjør at en må arbeide med langt høyere spenninger enn i Geiger-telleren. Derved foregår også utladningsprosessen langt raskere og det har vist seg mulig å måle stigetider i den tilhørende spenningspuls på ned til 0.15 nanosekunder.

Problemene som oppstår med å gjøre gnisttelleren brukbar, er nær beslektet med de tilsvarende problemene i Geiger-telleren, å få en effektiv slukning av gnisten og å hindre



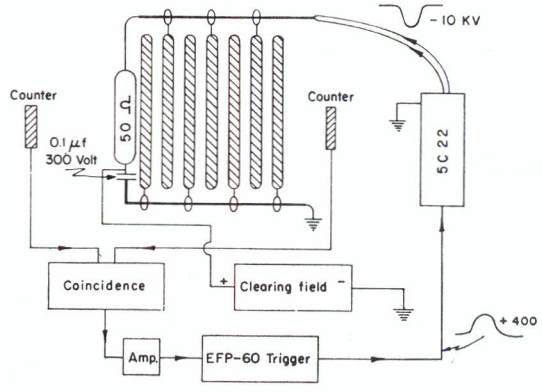


Fig. 1. Skisse av Cranshaw's og de Beer's «gnistkammer» arrangement. (Fra ref. 4).
Fig. 2. Prinsipp-skisse for gnistkammerets virkemåte (fra ref. 7).

for sterk ionisasjon slik at en får sekundærutladninger eller kontinuerlige utladninger. Arbeidet med gnisttelleren ble tatt opp i slutten av 40-årene da Geiger-telleren ikke lenger viste seg konkurransedyktig med scintillasjonstelleren. Men heller ikke gnisttelleren har foreløpig vist seg å være utviklet nok til erstatte scintillasjonstellerne og solid-state tellerne.

I 1949 viste amerikaneren Keuffel [1] at gnisten i en gnistteller kunne iakttas og brukes til sporlokaliseringen. Hans arbeid betegner forsåvidt begynnelsen på utviklingen av gnistkammeret.

Den fotografiske registrering av gnisten ble først foretatt av italienerne Bella og Franzinetti i 1953 [2]. De viste at det var mulig å lokalisere gnisten innen et volum på ca. 1 mm^3.

Sammenstillingen av flere gnist-tellere oppå hverandre slik at sporet kunne følges fra sted til sted finnes først omtalt i 1955 av en tysk student, Henning, tilhørende en gruppe som ble ledet av professor Bagge i Hamburg [3]. Denne gruppen var også den første til å ta stereoskopiske fotografier av gnisten for således å kunne reprodusere partikkelbanen i rommet.

Problemet med å gjøre kammeret selektivt ble løst av engelskmennene Cranshaw og de Beer i 1957 [4]. De erstattet det konstante

høyspenningsfeltet over platene med høyspenningspulser sluppet inn på et gitt signal. Fig. 1 viser et diagram av deres oppstilling. Hver gang en ioniserende partikkel passerer gjennom en Geiger-teller (G) på oversiden og en på undersiden av «gnistkammeret» (S) sendes en høyspenningspuls inn på platene i kammeret og gnisten dannes langs partikkelens spor. Denne metoden gir også en effektiv slukning av gnisten straks spenningspulsen blir borte.

Det siste nødvendige skritt for å gjøre kammeret brukbart ble tatt av japanerne Fukui og Miyamoto i 1959 [5]. De nyttet edelgass mellom platene og viste at det da var mulig å registrere spor av minimum ioniserende partikler, og at det var mulig å få gnister samtidig langs flere spor, altså å registrere flere partikler samtidig.

I 1959 var atskillige grupper både i U.S.A., Vest-Europa og Sovjetsamveldet i gang med å studere gnistkammeret. Etter at Fukui og Miyamotos arbeid var kjent, kunne en i disse gruppene straks ta fatt med å bygge kamre som var egnet for spesielle formål, spesielt i forbindelse med høyenergiakseleratorene. Den senere utvikling finnes bl. a. diskutert i forskjellige kongress-symposier og oversiktsartikler [6–8].

På fig. 2 ser vi et prinsippskjema for hvordan et vanlig gnistkammer tar seg ut. Kammeret består av et større eller mindre antall parallelle ledende plater i en edelgass atmosfære, eventuelt med tilsetning av en polytomær gass (alkohol). Annenhver plate er på jordpotensial. Den andre halvparten er forbundet med en spenningskilde på noen hundre volt. Derved oppstår et felt — oppklaringsfeltet — mellom platene. Dette får ioner og elektroner som er produsert mellom platene til å drive inn og bevirke at alle spor av en ioniserende partikkel blir slettet ut i løpet av omlag ett mikrosekund (avhengig av felt, plateavstand, gasstrykk o. l.). Denne tiden representerer kammerets hukommelsestid.

De samme platene er dessuten forbundet med en pulset høyspenningskilde. Kommer en spenningspuls inn vil det bli gnistoverslag mellom platene hvis det finnes ionespor etter en partikkel der, m. a. o. hvis det har gått en ioniserende partikkel gjennom kammeret i løpet av den tid det husker bakover. Hvis vi nå ønsker å registrere en bestemt prosess, f. eks. registrere de ioniserende partikler som har passert hele veien gjennom kammeret, plasserer vi en scintillasjonsteller i hver ende,

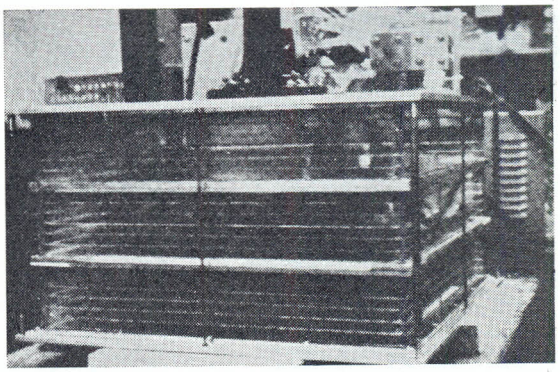


Fig. 3. Gnistkammer bygget ved University of Michigan. (Fra ref. 6).

kopler dem i koinsidens og bruker signalet for å utløse høyspenningspulsen. En slik høyspenningspuls er det mulig å skaffe seg i løpet av 100 nanosekunder. Kammerets dimensjoner kan varieres meget. En kan ha plateavstander fra 1 mm til 1 cm, platetykkelsen fra de tynneste aluminiumfolier til tykke metallplater av antall plater etter behov.

For å få et inntrykk av hvordan kammeret er bygget er det tatt med et par typiske bilder. Fig. 3 viser et forsøkskammer, bygget ved University of Michigan. Veggene er av perspeks, platene av 0,3 mm aluminiumfolie. Avstanden mellom platene er 10 mm. Hele kammeret er 20 cm høyt og 40 cm $\times$ 40 cm i flate. Det andre bilde (fig. 4) er av et kammer bygget for høy energioppløsning. Det er konstruert av professor O'Neil ved Princeton University for bruk ved 30 GeV proton synkrotronen i Brookhaven. Det består av 129 «plater» laget av 0.001″ tykke folier. Platene er kvadratiske med sider på 1 ft og med 1/8″ avstand mellom hver plate slik at hele kammeret blir 2 ft høyt. Det kan plasseres i et sterkt magnetfelt og har da en energioppløsning omtrent like god som den en har i boblekammeret.

Bildene av gnistene i slike kamre kan en ta direkte, men for å unngå for store avstander til kameraet bruker en vanligvis å fokusere lyset som kommer ut parallelt med platene, ved hjelp av sylinderlinser eller prismer av perspeks. Stereoskopisk fotografering gjør det mulig å reprodusere sporet på samme måte som ved tåke- og boblekammeret.

På fig. 5 er vist noen typiske gnistkammer spor. Eksponeringen er gjort ved kosmotronen (3 GeV synkrotronen) i Brookhaven. π^--mesoner kommer inn fra venstre. Det øverste bildet viser produksjon av en K° partikkel

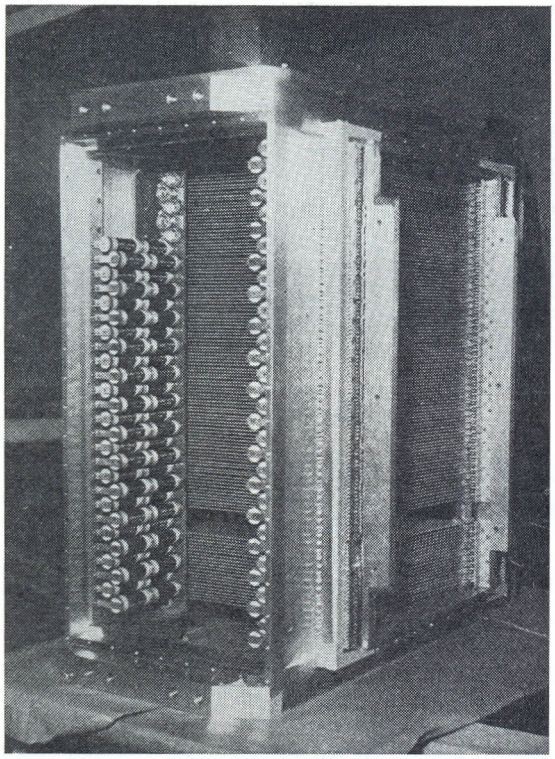


Fig. 4. Gnistkammer bygget av Professor O'Neill, Princeton University for høy energi oppløsning. (Fra ref. 7).

som desintegrerer i to π-mesoner. På nederste bilde er det dannet en Λ° partikkel som desintegrerer i et proton og et π-meson. En ser at gnistene dels følger sporet, dels, når sporet går for mye på skrå, tar korteste vei mellom platene. En ser også at begge sporene kommer tydelig fram når partiklene ioniserer

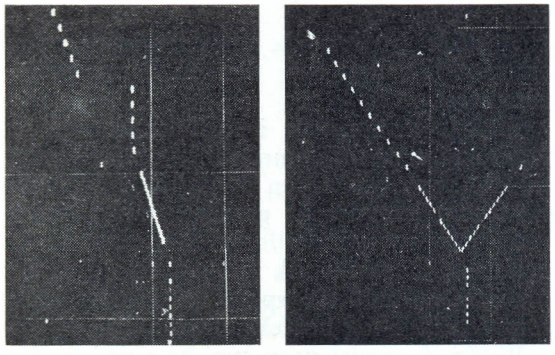


Fig. 5. π^--meson kolliderer med en kjerne og produserer nøytrale partikler, til venstre en Λ° partikkel som desintegrerer i et proton og et π^--meson, til høyre en K° partikkel som desintegrerer i to π-mesoner. (Fra ref. 7).

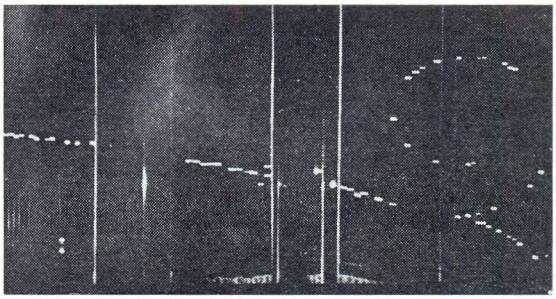


Fig. 6. Parproduksjon i et gnistkammer som er plassert i magnetfelt. Bildet er tatt ved protonsynkrotronen i CERN. (Fra ref. 9).

like sterkt. Har en derimot en sterkt og en svakere ioniserende partikkel, vil gnistene vesentlig danne seg langs sporet til den sterkest ioniserende.

Et bilde av en pardannelsesprosess er vist på fig. 6. Her kommer et π^--meson inn, kolliderer med en kjerne og produserer et π° meson som desintegrerer i to γ-kvant. Fra det ene av disse oppstår til slutt elektron-positron paret.

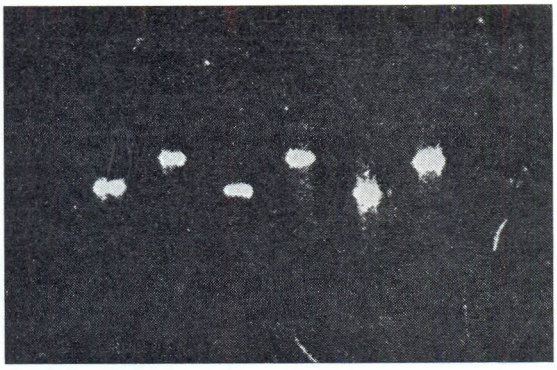


Fig. 7. Spor etter partikkel når gnistkammeret er plasert i et sterkt magnetfelt. Det elektrostatiske oppklaringsfeltet skifter retning for hver plate i kammeret. Elektronene beveger seg langs cykloider loddrett på de to feltene. (Ref. 6).

På fig. 7 er vist en effekt som opptrer i sterke magnetfelt. Elektronene som frigjøres når den ioniserende partikkel passerer vil da ikke bevege seg langs det elektrostatiske oppklaringsfeltet, men loddrett både på dette og magnetfeltet. Bildet er tatt ca. 1 mikrosekund etter at partiklen passerte. Dette er meget lengre tid enn det som vanligvis nyttes og effekten er til liten hindring for å få effektive bilder, men kan være til hjelp når det gjelder å forstå hvorledes gnisten dannes.

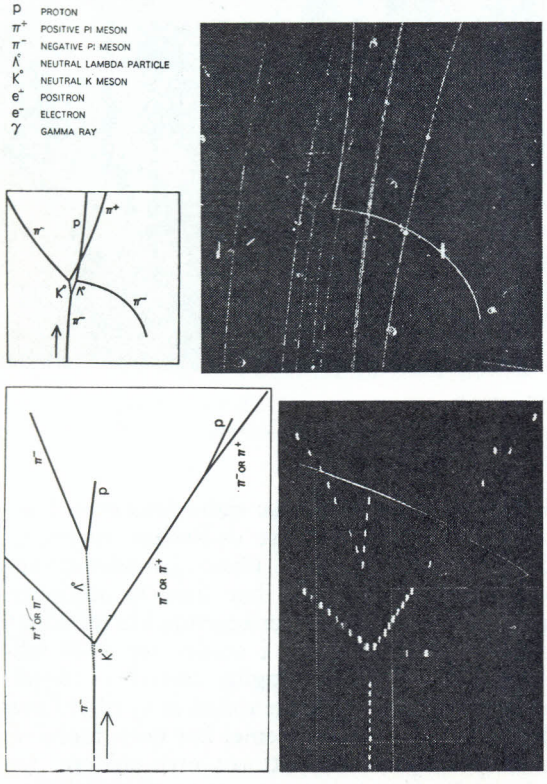


Fig. 8. Samme prosess registrert med boblekammer (øverst) og gnistkammer (nederst). Eksponeringen er foretatt i Brookhaven. (Fra ref. 9).

På fig. 8 ser vi samme typen reaksjoner registrert med gnistkammer og boblekammer. Disse bildene viser klart betydningen av at detektoren virker hurtig slik at en bare får fram en enkel begivenhet. At den dessuten må være selektiv synes innlysende, i det minste når det ikke gjelder å studere de aller vanligste reaksjonstypene. Hva som ikke framgår så klart, er på hvilke områder boblekammeret er overlegent. Det er det først og fremst hva angår partikkel identifikasjon og energibestemmelse, hvor både bobletettheten og den nøyaktigere posisjonsangivelse gir verdifulle informasjoner. Dessuten kan en i boblekammeret nytte hydrogen som eneste stoff og derved forvisse seg om at bare protoner som inngår som mulige target-kjerner inne i kammeret. I gnistkammeret må en ha tyngre atomer både i plater og gass, og får derved både protoner og nøytroner inn som mulige targets.

(Forts. i neste hefte)

BALZERS

Høyvakuum

PUMPER

Gassballastpumper, Roots pumper, oljediffusjonspumper, manuelt og automatisk kontrollerte pumpestands, ultra-høyvakuum pumpestands, spesial-pumpestands, ione-baffler.

BYGGEELEMENTER

Plateventiler, ultra-høyvakuum ventiler, servo-kontrollerte måleventiler, kombinasjonsventiler, diverse elementer for forbindelser og gjennomføringer, strømgjennomføringer, roterende gjennomføringer, strømgjennomføringsenheter.

MÅLEINSTRUMENTER

Måleinsturmenter for fin-, høy- og ultrahøyvakuum. Måleceller for fin- og høyvakuum, ionisasjonsmåleceller, ultrahøyvakuum måleceller, trykkreleer for fin- og høyvakuum, halogen lekasjesøkere.

HØYVAKUUMANLEGG

Høyvakuum pådampningsanlegg for optikk, elektroteknikk, halvledere og metallisering, ultra-høyvakuum pådampningsanlegg for elektron-mikroskopi, pådampningsmateriale, høyvakuum metallurgi – ovner for sintering, smelting og støpning, avgassningsanlegg, spesialanlegg for nuclear metallurgi.

Eneforhandler:

C. GRINDVOLD A/S

Tidemandsgt. 16 – Oslo – Sentralbord 56 35 90

Regneautomaten ved N.T.H.

W. Romberg

Endelig har også NTH fått en elektronisk regneautomat, og vi venter at dette vil føre til at Norge får utdannet mange fagfolk på dette viktige arbeidsfelt.

Vi vil benytte anledningen til å fortelle litt om disse maskinene og deres nytte.

Ingeniørene har vanligvis benyttet enkle formler til sine beregninger, og da var det også tilstrekkelig med regnestav i de fleste tilfelle. Men etter hvert har matematikken trengt seg inn på alle felter i teknikken — og ikke bare der — og vil en ingeniør idag konstruere noe nytt og bedre, er han nødt til å beregne nøyaktigere.

Allerede før siste verdenskrig hadde en mekaniske, analogiregnemaskiner, som kunne hjelpe vitenskapen i sin forskning (f. eks. ved Astrofysisk Institutt på Blindern). Men deres begrensede nøyaktighet reduserte deres nytte. Derfor begynte under den andre verdenskrig konstruksjonen av de første elektriske regneautomater, først i Tyskland i privat regi med primitive midler (Züse), så i USA med sine store ressurser. Naturligvis fantes det hullkortmaskiner i bruk før, som også regnet og arbeidet elektrisk. Disse er også regnemaskiner, men nå kom det inn noe nytt, som vi vil fremheve med ordet regneautomater.

En stor beregning foregår etter et bestemt program. Er programmet meget enkelt, men tallmengden stor, så er bruken av hullkortmaskinene på sin plass. Men dersom programmet er langt og innviklet, så blir regneautomatene overlegne. Forskjellen ligger i at en automat selv endrer sitt program under arbeidet, når den er kommet langt nok. Slik kan disse regneautomater selv under beregningens gang finne ut om og hvordan de må endre beregningsprogrammet.

Disse første maskiner benyttet reléer. Vanskeligheten viste seg snart. Reléene har bevegelige deler, og en relékontakt tåler bare noen milliarder omlegginger før metallet blir sprøtt og brekker. Utviklingen førte derfor fra

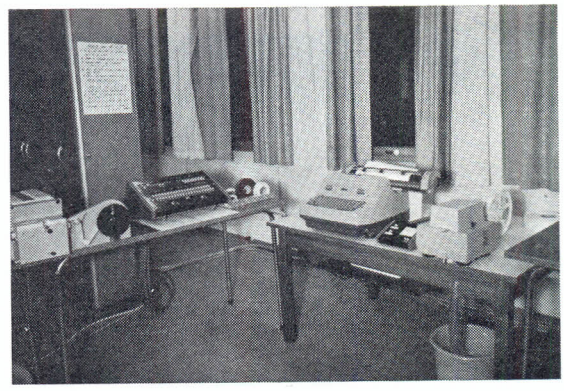


Fig. 1. Regneautomaten GIER (kabinettet til venstre), kontroll- og betjeningsplassen (midl.tidig oppstilling).

elektriske til elektroniske sjalteelementer. Derved ble maskinene mere driftssikre og regnehastigheten øket sterkt. Disse sjalteelementene er innrettet slik at de har bare to stillinger, på eller av. Det er da nærliggende å la maskinen regne i 2-tallsystemet i stedet for i 10-tallsystemet. At vi til daglig regner i 10-tallsystemet, henger sammen med at vi tilfeldigvis har 10 fingre. 2-tallsystemet har noen fordeler; multiplikasjoner kan utføres mye enklere. Jeg pleier å minne om en gammel multiplikasjonsmetode hvor en bare benytter multiplikasjoner med 2.[1]

Automatene har innebygget et lager, hvor de kan oppbevare mellomresultatene til senere bruk, og hvor de også lagrer selve regneprogrammet. Jo større dette lager er og jo

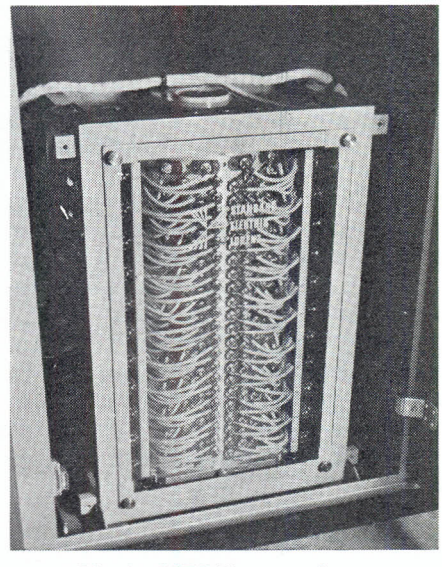


Fig. 2. GIER'S trommelager.

W. Romberg er professor i anvendt matematikk ved Norges tekniske høgskole, Trondheim.

hurtigere tilgjengelig, dess mere anvendelig, men også desto kostbarere blir maskinen.

Siden de første maskinene ble konstruert, holdt diskusjonen seg levende om en er bedre tjent med noen få kjempestore, eller med mange mindre maskiner. For de få store taler at en maskin med 10 ganger så stor regnekapasitet (regnehastighet og lager) ikke koster 10 ganger så meget, men kanskje bare det det dobbelte eller tredobbelte. Derfor planla en for 15 år siden et internasjonalt regnesenter i Rom, som skulle forsynes med de den gang mest moderne maskiner, og som skulle løse alle regneproblemer i Europa. Men i mellomtiden har utviklingen gått videre. Alle land har skaffet seg egne regnesentra med egne maskiner. Vi skal se litt på årsaken til dette.

Vi kan dele oppgavene i to grupper, administrativ databehandling og teknisk vitenskapelige beregninger. Første gruppe har å behandle store datamengder, men forholdsvis enkle regneoperasjoner, og er derfor en videreutvikling av de oppgaver som før ble løst med hullkortmaskiner. Disse oppgaver kommer vanligvis igjen i bare ubetydelig forandret form hvert år, som f. eks. årsregnskap, skatteberegninger, forsikringsselskapenes statistikker og lignende.

Teknisk vitenskapelige beregninger krever i de fleste tilfelle store og kompliserte regneprogrammer. Dette er et tidskrevende arbeide av høyt kvalifiserte fagfolk, og programmene må stadig utprøves, rettes og forbedres.

Det finnes også her oppgaver, som kommer om og om igjen, bare med litt forandrede konstanter. I disse oppgaver kan en legge stort arbeide i programfremstilling, og når et slikt program er utprøvd og funnet korrekt, kan disse oppgavene bli utregnet på en stor maskin. (Eksempler: Fourier analyser og kjemiske synteser). Men størsteparten av vitenskapelige tekniske oppgaver er anderledes. De oppstår under forskningen, og må kunne løses snart, ellers taper de aktualitetens interesse. Hvis en skriver et program, sender det bort og lengter etter svar, men om noen dager får tilbake en liste over de feil en har gjort under programmeringen, da blir denne skuffelse til skremsel mot å benytte disse maskiner. Så vi forstår at ikke bare landene hver for seg har skaffet seg regnesentra, men de enkelte institusjonene trenger mindre maskiner i nærheten, passende til løsning av deres enklere oppgaver.

N. T. H. har nå fått sin første maskin,

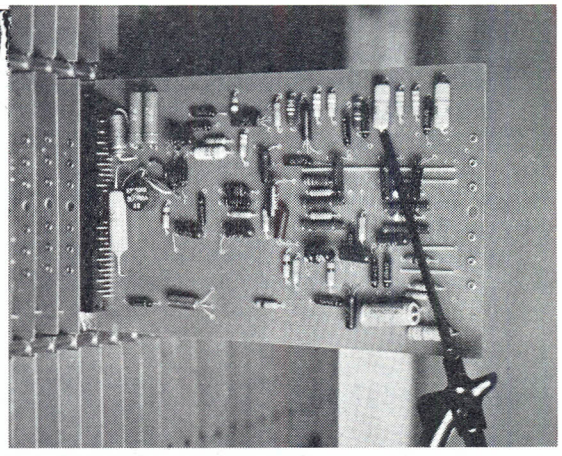


Fig. 3. Et montasjekort uttrukket for kontroll. Trykte kretser på baksiden forbinder komponentene.

omtrent 10 år senere enn tilsvarende høyskoler i U. S. A. og ca. 5 år etter f. eks. ETH, Zürich.

Der Eidgenössiche Technische Hochschule i Zürich lånte først en Züse-maskin, og bygget så en maskin selv, (ERMETH). I dag har de forskjellige institusjoner ved ETH selv skaffet seg maskiner. I 1962 var det allerede 5 forskjellige elektroniske regneautomater plasert i ETH's institusjoner.

Norge ligger langt tilbake på dette felt, og dette har medført at vi ikke har nok erfarne fagfolk til å skrive programmer. Derved ville en meget stor maskin i den første tid måtte stå ubenyttet storparten av tiden. Og da de store maskiner er kostbare, ville det være forhastet med en så stor investering allerede nå. På den andre siden bør NTH's maskin ha flest mulig av de nyutviklinger som de siste 10 år har bragt på regneautomatenes område.

Så ble GIER valgt, maskinen som den Danske Regnesentral har utviklet og bygget. Den ventes å være pålitelig, da den arbeider med transistorer i stedet for rør. Å sammenlikne regnehastigheten mellom maskinene er vanskelig, da den er avhengig av programmenes art. For å imponere med store tall, anføres vanligvis addisjonstid og multiplikasjonstid. GIER's addisjonstid er ca. 80 mikrosekunder, multiplikasjonstiden (i flytende regning) 200 mikrosekunder. Hvis en ville legge disse tall til grunn, ville maskinen i dag være Norges hurtigste. Men maskinens Ferrithukommelse omfatter bare 100 ord. De øvrige 12 000 ord (tall) blir lagret i trommelager, og dette medfører av og til en reduksjon av regnehastigheten. Minst like viktig for regnehastigheten er hvordan maskinen kan pro-

grammeres, og der har GIER en del meget interessante muligheter. De fleste ved NTH vil skrive sine programmer i ALGOL, det nye internasjonale programspråk, som såvel fagfolk som regneautomater kan forstå. Men noen vil også lære maskinprogrammet, og derved kunne utnytte maskinens finesser på beste måte.

Hovedoppgaven for maskinen ved NTH er å undervise de blivende ingeniører om hvor nyttig en slik maskin kan være til beregning av deres konstruksjoner. Videre skal den hjelpe til å løse de ellers ofte for vanskelige vitenskapelige og tekniske problemer som venter på løsning, og til disse oppgaver er, så håper vi, GIER meget godt egnet. Vi er spent på å se om den kan oppfylle våre forventninger.

[1] W. Romberg: Fra Fysikkens Verden, nummer 2 1949, side 10.

Forandring av stråleføIsomheten av enzymer og bakterier ved hjelp av H_2S og NO

Tor Brustad

Ved strålebehandling av kreftsvulster står man ofte overfor det problem at friskt vev omkring en kreftsvulst destrueres lettere enn selve svulsten. Dette kan for eksempel gi seg utslag i betydelige hudreaksjoner som er meget lidelsesfulle for pasienten og sette en stopper for videre strålebehandling *før* man har fått gitt en tilstrekkelig dose til selve svulsten. Med dette vil vi her bare lede oppmerksomheten mot det velkjente faktum at visse typer av vev blir destruert av stråling langt lettere enn andre, og man snakker om stor og liten strålefølsomhet eller strålesensitivitet.

Fig. 1. Illustrasjon av strålingsinduserte hudreaksjoner. Strålefeltets utstrekning kan tydelig sees.

* Stipendiat ved Landsforeningen mot Kreft.

I fantasien kan vi se for oss de betydelige, *praktiske* konsekvenser det ville hatt om man ved et eller annet genialt kunstgrep kunne forandre et materiales strålefølsomhet etter ønske. Dette er, dessverre, i dag bare mulig innenfor meget snevre grenser.

Ved siden av slike rent praktiske aspekter som knytter seg til en kontrollert endring av et materiales strålefølsomhet, vil viden på dette området også være av betydning for å kaste lys over mekanismene som ligger til grunn for virkningen av ioniserende stråling på biologisk materiale i sin alminnelighet. Nok er hermed sagt til at en vil forstå at begrepet strålesensitivitet er meget sentralt innen moderne radiobiologi. Et enormt arbeide blir nedlagt overalt hvor radiobiologisk forskning utføres for å forsøke å forstå de faktorer som bestemmer et materiales strålesensitivitet. Dessverre må det straks innrømmes at arbeidet i denne retning ikke er kommet langt, nye og uventede ting dukker stadig opp.

La oss først presisere at strålesensitivitet alltid refererer seg til en spesifisert effekt, under spesifiserte eksperimentelle betingelser. Man kan ikke snakke om Strålesensitivitet*en* av bakterier, da en må spesifisere både typen av bakterie, hvilken effekt det dreier seg om, for eksempel inaktivering av evnen til å danne synlige kolonier på et spesifisert næringsmedium, hemming av DNA syntese, induksjon av spesielle mutasjoner etc. etc.

Før vi nå går videre, la oss først se litt nærmere på hva vi mener med strålesensitivitet.

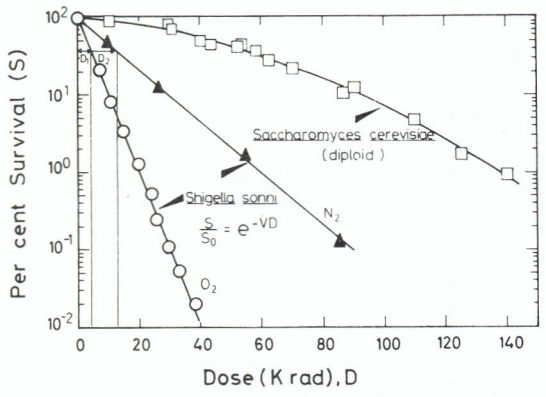


Fig. 2. Dose-effekt relasjoner:
- □ for diploide gjærsoppceller bestrålt i O_2-atmosfære.
- ○ for dysenteribakterien *Shigella* bestrålt i O_2-atmosfære.
- ▲ for dysenteribakterien *Shigella* bestrålt i N_2-atmosfære.

Figur 2 viser noen eksempler på såkalte dose-effekt kurver, som generelt sett angir relasjonen mellom prosent «normale» individer, overfor den test man anvender, og den dose av ioniserende stråling materialet har vært utsatt for. Den øvre kurven på denne figuren, for eksempel, gjelder diploide gjærsoppceller og viser den prosent av cellene som «overlever», dvs. er i stand til å dele seg og hermed danne synlige kolonier på et spesielt næringsmedium etter å ha vært utsatt for forskjellige doser av røntgenstråling. De to andre kurvene angir den samme relasjon for dysenteribakterien *Shigella sonni*, bestrålt under to forskjellige betingelser som vi skal komme tilbake til senere, nemlig i oxygen-atmosfære og i nitrogen-atmosfære. Slike dose-effekt kurver kan ha meget forskjellig form. Den enkleste er vel den eksponensielle som vi ser gjelder for *Shigella*. I det følgende skal vi konsentrere oss om slike systemer hvor en finner eksponensielle dose-effekt kurver.

Et materiales stråleføIsomhet avledes alltid av slike dose-effekt kurver. Særlig i eldre litteratur ble stråleføIsomheten angitt som den induserte skade for en gitt dose. I nyere arbeider defineres stråleføIsomheten som den inverse verdi av den dose (D) som tilveiebringer en gitt prosentvis skade, altså som 1/D. Svært ofte benyttes i dette uttrykk den dose som reduserer antall «overlevne» til 1/e eller tilnærmet 37 %. StråleføIsomheten av *Shigella*, under de to forskjellige betingelsene som er vist i figur 2, vil altså være henholdsvis $1/D_1$ og $1/D_2$.

En av de første undersøkelsene som virkelig ledet oppmerksomheten hen på muligheten av å forandre et materiales stråleføIsomhet, ble gjort av G. Schwartz, som viste at hud med dårlig blodtilførsel under ellers like vilkår var mindre strålesensitiv enn normal hud, noe som igjen viste seg å kunne føres tilbake til det faktum at dårlig blodtilførsel resulterer i redusert oxygenkonsentrasjon i cellene. Det har vist seg at oxygen, stort sett forøker stråleføIsomheten av biologisk materiale med en faktor opp til 3 sammenliknet med hva en finner for samme materiale under anoxia. Denne strålesensitiviserende effekt av oxygen, som for korthets skyld, gjerne refereres til som «oxygeneffekten», har man funnet å gjelde fra mikroorganismer til de mest kompliserte celleformer, for eksempel i kreftsvulster. De to dose-effekt kurvene som er gitt for *Shigella* i fig. 2 bare bekrefter denne vel etablerte regel.

Relativt lite har blitt gjort i retning av systematiske studier av andre strålesensitiviserende forbindelser. Derimot har et kolossalt arbeid blitt nedlagt når det gjelder strålebeskyttende stoffer. En hel rekke kjemiske forbindelser har vist seg å beskytte biologiske systemer mot stråleskade, forutsatt at de er til stede *under* bestrålingen. Spesiell interesse har knyttet seg til visse svovelholdige forbindelser med SH eller SS grupper, så som cysteamine og cystamine. Det er nylig kommet ut et tysk tabellarisk oppslagsverk (Huber & Spode) over effektiviteten av strålebeskyttende stoffer med referanse til over 3200 enkeltundersøkelser. Ifølge dette verk faller de svovelholdige forbindelser stort sett i området fra ingen virkning i det hele tatt til maksimalt en reduksjon av stråleføIsomheten til 1/3 av den verdi en finner ved normal oxygenkonsentrasjon og uten beskyttelsesmiddel. Når det gjelder *mekanismene* som ligger til grunn for virkningen av de strålebeskyttende stoffer derimot, er det stor uenighet. Det er fremsatt flere teorier hvor forsøk er gjort på å forklare strålebeskyttelser av den størrelse vi nettopp nevnte.

Noen av disse teoriene går ut på at de strålebeskyttende stoffene danner temporære kjemiske forbindelser med de strålesensitive strukturer i systemet som hermed blir gjort mer resistente. Andre teorier går ut på at de strålebeskyttende stoffene virker som scavangers av strålingsinduserte radikaler og hermed reduserer sjansen for at radikalene skal reagere med de sensitive strukturene i det

biologiske system. En tredje teori går ut på at de strålebeskyttende stoffene virker ved å redusere partialtrykket av oxygen, og således maksimalt skulle kunne beskytte mot den forøkede strålesensitivitet som tilstedeværelsen av oxygen kan forårsake.

Av en eller annen grunn, er arbeidet med den strålebeskyttende effekt av svovelholdige forbindelser gjennomført hovedsakelig med relativt store molekylforbindelser, slik som cysteamine, cystamine etc. med molekylvekt av størrelsesorden 150 og med derav følgende redusert diffusjonshastighet og vanskelighet for å trenge gjennom cellemembraner etc. En del undersøkelser er utført av Ehrenberg i Sverige og av Powers i U. S. A. vedrørende radiobiologiske effekter av H_2S på biologisk materiale i *tørr form*, som viste at H_2S har utpregede egenskaper som strålebeskytter under disse forhold.

Ved Norsk Hydros Institutt for Kreftforskning har jeg tatt opp til en nærmere undersøkelse de strålebeskyttende egenskaper av H_2S, men i motsetning til de nevnte undersøkelser særlig konsentrert meg om effekter på biologisk materiale bestrålt i løsning. Som testsystem har jeg delvis be-

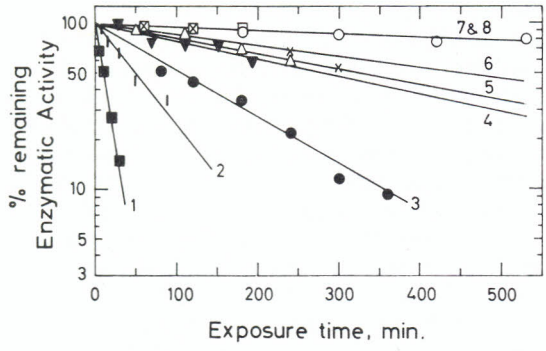


Fig. 3. Dose-effekt kurver av en vanndig løsning (0.1 mg/ml) av lysozym gjennomboblet med forskjellige konsentrasjoner av H_2S i N_2:
■ 100 % N_2
○ 100 % H_2S

nyttet enzymet lysozym, som kan fremstilles i krystallinsk form og holdes løst i trippeldestillert vann over lang tid uten å tape sin enzymatiske aktivitet. For å undersøke effekten på mer kompliserte biologiske systemer har jeg også benyttet fire forskjellige typer av bakterier.

Figur 3 viser noen dose-effekt kurver av lysozym bestrålt med 220 kV røntgenstråling i fortynnet, vanndig løsning. Figuren angir

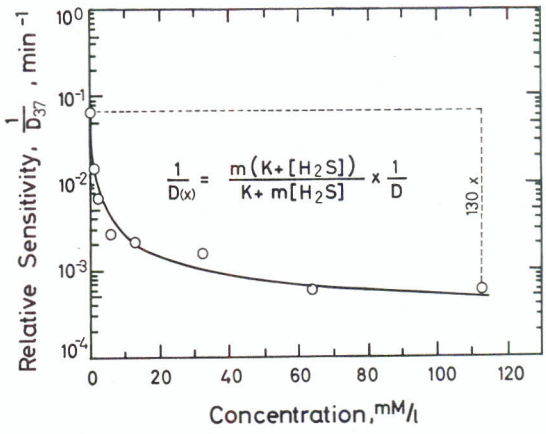


Fig. 4. Relasjonen mellom den relative stråleføIsomhet av lysozym og konsentrasjonen av løst H_2S i enzymløsningen.

prosent gjenværende enzymatisk aktivitet som funksjon av den relative dose enzymet har vært utsatt for. Kurven merket 0 % er den dose-effekt relasjon en får når enzymløsningen er bestrålt under kraftig gjennomstrømning av ren nitrogengass. De øvrige kurvene er dose-effekt relasjonene en får når det er benyttet stigende konsentrasjoner av H_2S blandet i N_2, fra 0.47 % via 2 %, 5 %, 11.4 %, 28.4 % til 100 % H_2S.

Figur 4 viser i detalj hvordan relasjonen er mellom observert stråleføIsomhet og konsentrasjonen av løst H_2S i den bestrålte enzym-

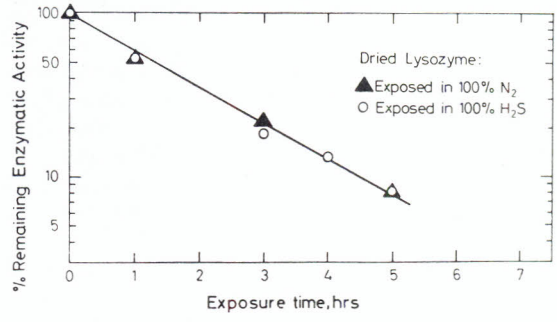


Fig. 5. Dose effekt kurve for lysozym bestrålt i tørr form:
▲ Bestrålt i 100 % N_2-atmosfære.
○ » » 100 % H_2S-atmosfære.

løsning. Som en vil se får man en markert beskyttelse av selv meget moderate konsentrasjoner av H_2S. Benyttes 100 % H_2S, er stråleføIsomheten redusert til 130. parten av hva men finner i N_2-atmosfære, og en ser videre at beskyttelsen etterhvert nærmer seg

Fra Fysikkens Verden

24. årgang
1962

NORSK FYSISK SELSKAP
TRONDHEIM 1962

Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. Haakon Olsen
N. T. H., Trondheim

Redaksjonskomite:
Rektor Finn Berntsen, Trondheim
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer, Blindern
Dr. philos. Tormod Riste, Kjeller
Professor Steingrim Skavlem, Bergen
Dr. techn. Helge Øverås, Genéve

Problemspalten:
Siv.ing. Richard R. Solem, Trondheim

Teknisk medarbeider:
Laboratorieing. Halvard Torgersen, Trondheim

Norsk Fysisk Selskap

Formann:
Professor dr. Sverre Westin

Styre:
Direktør O. Chr. Bøckman
Professor dr. Leiv Harang
Dr. philos. Anders Omholt
Professor Steingrim Skavlem

Sekretær:
frk. Ingerid Woldhaug, Fysisk Institutt,
N. T. H., Trondheim.

Vi er enerepresentant i Norge for disse verdenskjente firmaer:

HEWLETT - PACKARD

leverer måleutstyr fra DC til R-bånd.

RHODE & SCHWARZ

leverer HF-, VHF-kommunikasjonsutstyr samt måleinstrumenter.

TEKTRONIX INC.

leverer oscilloskop og kalibreringsutstyr.

Kontakt oss:

MORGENSTIERNE & CO

INGENIØRFIRMA

WESSELS GATE 6, OSLO — TELEFON 42 99 93

STEDET FOR ELEKTRONISKE KOMPONENTER OG INSTRUMENTER TIL INDUSTRI OG FORSKNING

MODELL 240 BELL GAUSSMETER

MODEL 240

YA-247 Probe

Område: 12 områder i Gauss, alle i full skala:

0,1	3	100	3000
0,3	10	300	10000
1	30	1000	30000

Bell Inc. leverer nu følgende modeller av Gaussmetre: Modell 100, Modell 110, Modell 120, Modell 240, Modell 300, Modell 350, med rikt utvalg av aksiale og transversale prober.

Magnetiske kretser –

Hall Paks med trykte kretser ferdig til bruk –

FORØVRIG RIKT UTVALG AV ELEKTRISKE OG ELEKTRONISKE KOMPONENTER, APPARATER OG INSTRUMENTER

NECO A/S

Tollbugt. 4 – Oslo
Telf. 42 27 42

en metningsverdi. Det er hermed demonstrert at H_2S har en enorm evne til å beskytte enzymer bestrålt vanndig løsning. Det er derfor naturlig å stille spørsmålet hvorvidt H_2S forårsaker noen strålebeskyttelse også når enzymet er bestrålt i tørr form.

Figur 5 viser dose-effekt relasjonene for lysozym bestrålt i tørr form, i atmosfærer av henholdsvis H_2S og N_2. Som en vil se forårsaker H_2S under disse forhold liten eller ingen strålebeskyttelse.

Med andre ord: Overfor enzymer bestrålt i vanndig løsning er H_2S en ytterst effektiv strålebeskytter. Overfor enzymer bestrålt i tørr tilstand har H_2S liten eller ingen strålebeskyttende effekt.

Før vi går videre, skal vi i sterk forenkling rekapitulere noen av hovedtrekkene i hvordan man tenker seg at stråling virker på biologisk materiale.

Det er generelt antatt at for at en viss bilogisk aktivitet eller funksjon skal foregå normalt, la oss for eksempel tenke på et enzyms evne som katalysator, en bakteries evne til å dele seg etc., er det noen spesielle strukturer eller molekyler som må være intakte, og som således er «ansvarlige» for denne funksjon. Disse essensielle strukturer, ofte ytterst spesielle for den effekt man studerer, blir i radiobiologiske arbeider oftest referert til som «target» for vedkommende effekt. Dersom bestrålingen resulterer i destruksjon av disse essensielle strukturer, vil den observerbare biologiske effekt utvikle seg. Et target kan inaktiveres ved at et visst antall ionisasjoner finner sted direkte innenfor dette. Denne effekt blir gjerne referert til som den «direkte» effekt. På den annen side kan ionisasjoner som forekommer utenfor target under egnede forhold, resultere i sekundærprosesser som via indirekte veier overfører nok energi til target til at dette blir inaktivert. Dette blir gjerne referert til som den «indirekte» effekt. Foretas bestrålingen av et biologisk materiale i vanndig løsning for eksempel som antydet i figur 6, kan energiabsorpsjon i vannet utenfor target resultere i dannelse av visse reaktive kjemiske forbindelser, som for eksempel frie radikaler. Disse kan så diffundere omkring i løsningen, og dersom deres diffusjonslengde er lang nok, nå fram til target, reagere med dette med den følge at inaktivering finner sted.

Ved bestråling av biologisk materiale i *tørr* form derimot er mulighetene for tilstrekkelig energioverføring via indirekte mekanismer så

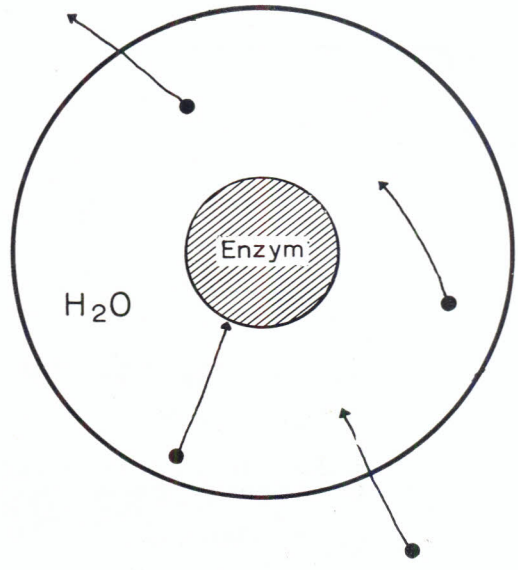


Fig. 6. Skjematisk fremstilling av diffuserende, strålingsinduserte radikaler i vannkappen omkring et enzym molekyl.

redusert at de fleste fullstedig ser bort fra det. Således har Pollard og hans skole ved Yale University hevdet at ved bestråling av krystallinske enzymer i tørr tilstand er inaktiveringen helt generelt et resultat utelukkende av den direkte effekt, forårsaket av forekomsten av én *primærionisasjon* hvorsomhelst innenfor enzymmolekylet, mens ionisasjoner utenfor så vel som eksistasjoner er uten betydning for inaktiveringsmekanismene. Med andre ord: Under disse forhold er hele enzymmolekylet å betrakte som target.

For induksjon av en rekke radiobiologiske effekter finner man, som tidligere nevnt, en eksponensiell relasjon mellom antall «overlevne» og den dose av ioniserende stråling de har vært utsatt for.

$$N = N_0 e^{-VD} \tag{1}$$

hvor N/N_0 er den brøkdel som overlever etter å ha vært utsatt for en dose D, mens V er stråleføIsomheten. I det tilfellet at dosen er valgt slik at $N/N_0 = 1/e$, en dose som gjerne betegnes som D_{37}, vil vi nemlig ha:

$$V = 1/D_{37} \tag{2}$$

Hvis D_{37} er uttrykt som antall primær ionisasjoner per cm^3 av det bestrålte materialet, vil V i de tilfelle hvor man utelukkende har direkte effekt, bli størrelsen av det volum i hvilket man i gjennomsnitt har fått en primær ionisasjon, og *følgelig representere et direkte mål for størrelsen av target.*

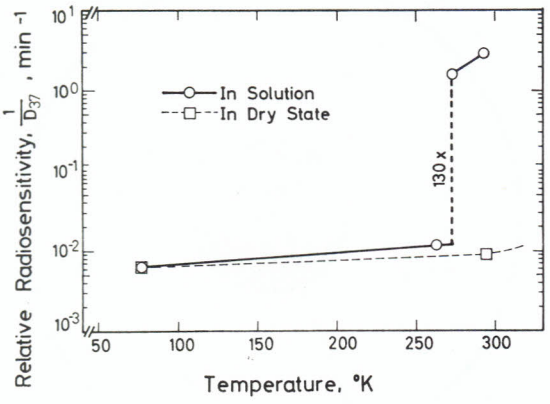


Fig. 7. Relativ stråleføIsomhet av lysozym som funksjon av temperaturen av preparatene under bestrålingen:
○ i 0.1 mg/ml vanndig løsning.
□ i tørr form.

I de tilfelle hvor man i tillegg til den direkte effekt også har en indirekte effekt, kan doseeffekt kurven beskrives som:

$$N = N_0 e^{-D\,(V + V')} \tag{3}$$

hvor V′ blir et mål for den forøkede strålefølsomhet på grunn av indirekte effekter.

I lys av det som sagt, la oss fortsette å se på noen resultater jeg har fra inaktiveringsstudier av lysozym:

Figur 7 viser den relative strålefølsomheten av lysozym som funksjon av temperaturen av preparatene under bestrålingen. Bestråles lysozym i tørr tilstand, vil strålefølsomheten ikke være så enormt forskjellig enten bestrålingen foretas ved flytende nitrogentemperatur eller ved værelsestemperatur. Vi skal ikke komentere den lille forandring med temperaturen, bare nøye oss med å minne om at i alle fall i første tilnærmelse er dette en direkte effekt. Fra de doser som er benyttet, kan man som vist ved likning 2, bestemme størrelsen av target. På denne måte kan en slutte seg til at lysozym molekylet har et volum av størrelse svarende til en kule med radius omkring 20 Å, et resultat som er i rimelig overensstemmelse med molekylvekten av lysozym bestemt ved andre fysikalsk-kjemiske metoder.

Hvis man på den annen side bestråler enzymet i vanndig løsning, og igjen bestemmer strålefølsomheten som funksjon av preparattemperaturen under bestrålingen, får man et ganske annet forløp, også vist i fig. 7. Så lenge preparatet befinner seg i frossen tilstand, altså som is, finner en stort sett samme strålefølsomhet som for tørr tilstand, men foretaes bestrålingen av et preparat i flytende tilstand, skyter strålefølsomheten opp med en faktor på ca. 130, for så å endre seg meget langsommere ved videre temperaturforøkelse. Dette viser at når en vanndig løsning av enzymet bestråles i frossen form, vil de radikaler eller toksiske produkter som gir anledning til den indirekte effekt enten ikke dannes i det hele tatt, eller også vil de på grunn av den sterkt nedsatte diffusjonshastighet i is delta i andre sekundærreaksjoner, uten hermed å influere på target.

I et flytende preparat derimot, diffunderer produktene omkring og kan utføre sin misjon, og som man ser er den indirekte effekt meget stor sammenliknet med den direkte, nemlig ca. 130 ganger større.

(Fortsettes i neste hefte)

Nye prinsipper for elektronmultiplikatorer

Del 2

Kaare J. Nygaard

3. *Trinnløs multiplikator med elektrisk og magnetisk felt.*

Hvis et elektron befinner seg i et rom hvor en elektrisk og magnetisk feltstyrke står loddrett på hverandre, vil det bevege seg i en trokoideformet bane.

Dette enkle prinsipp ble først anvendt i fotomultiplikatorrør av Zworykin, Morton og Malter [2], og oppbygningen av deres rør er skjematisk gjengitt i fig. 5.

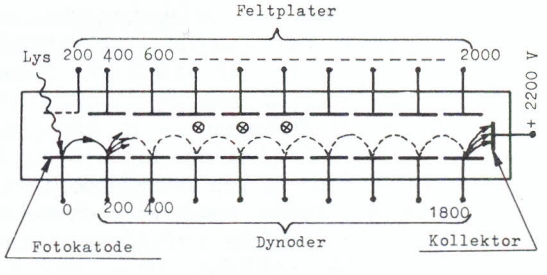


Fig. 5. Multiplikator med elektrisk og magnetisk felt. Det magnetiske felt med induksjon B = 120 Gauss står loddrett på papirets plan.

Fotokatoden og de 9 dynodene er plasert ved siden av hverandre i samme plan, og over dette plan er det plasert 10 feltplater. Ved å påtrykke elektriske potensialer som angitt

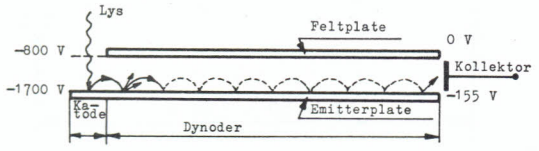


Fig. 6. «Resistance strip magnetic multiplier». Et magnetisk felt med B = 300 Gauss står loddrett på papirets plan.

i fig. 5, vil et fotoelektron som frigjøres fra katoden bevege seg i en tilnærmet sykloideformet bane i det kryssede elektriske og magnetiske felt. Sekundærmisjon fra 1. dynode vil kanskje gi 3 eller 4 nye elektroner, og etter hvert som elektronene driver mot høyre i røret, vil deres antall stadig forøkes.

Zworykin benyttet hele 21 elektroder for å frembringe de nødvendige elektriske potensialgradienter. Men ved å ta halvlederfysikken til hjelp har Heroux og Hinteregger [3] oppnådd samme forsterkervirkning med den meget enkle rørtype som er vist i fig. 6.

Dynodene ligger nå på nederste plate (emitterplaten) som er laget av glass og belagt med et meget tynt skikt av tinnoksyd-antimon. Den ohmske motstand langsetter denne platen er av størrelsesorden 10 MΩ. Den øverste elektroden har et gitter for at lys skal kunne slippe inn på katoden, og resten av platen er laget på samme måte som emitterplaten. Med de potensialer som er trykt i fig. 6, vil dette røret virke i prinsipp på samme måte som Zworykins type i fig. 5. Istedet for å ha 9 strengt adskilte dynoder ligger nå dynodene *kontinuerlig fordelt* på en og samme elektrode; man kan derfor være fristet til å si at røret er trinnløst. Størrelsen på platene kan være ca. 2 × 5 cm og avstanden mellom dem ca. 0,5 cm.

Multiplikatorrøret med krysset elektrisk og magnetisk felt og trinnløs emitterplate er karakterisert ved en forsterkningsfaktor på ca. 10^7 og en spredning i elektronenes transittid på ca. 5 ns.

Ved bruk av et gitter for å skjerme kollektoren fra forskyvningsstrømmen i røret antyder Goodrich og Willy [4] mulighetén av å få redusert spredningen i elektronenes transittid til 1 ns.

Den nødvendige potensialgradient langs elektrodene kan frembringes enten ved å dampe et tynt halvledermaterial på en isolator, som beskrevet i det foregående, eller ved å benytte overflaten på en tykk halvleder som har en passende volumledningsevne. White, Sheffield og Davis [5] har laget felt- og emitterplaten av en n-type halvleder bestående av

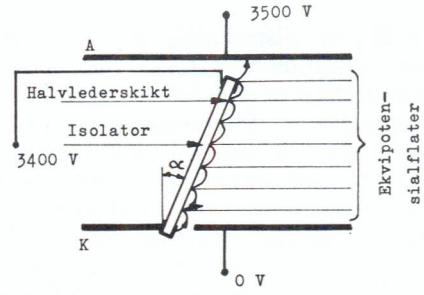


Fig. 7a. Prinsipp for trinnløs multiplikator med elektrisk felt.

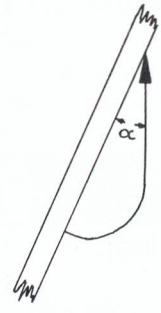


Fig. 7b. Skjematisk bane for et enkelt elektron i multiplikatoren ovenfor

silisium innsatt med små mengder av gull. Røret er bygget opp på samme måte som vist i fig. 5. Når silisiumelektrodene kjølnes ned til —50°C, blir deres spesifikke motstand 10^7 ohm. cm, og med passende elektriske og magnetiske feltstyrker oppnåes en forsterkningsfaktor på 10^6 x.

4. *Trinnløs multiplikator med bare elektrisk felt.*

Det karakteristiske ved den trinnløse multiplikator i foregående avsnitt var at elektronene ble tvunget til å gjøre små sykloideformede «hopp» bortover dynodeflaten, og hvert hopp representerte et forsterkningstrinn. — Med en meget enkel oppstilling som er vist i fig. 7a har Hamisch [7] ved å benytte *bare* elektriske felt fått elektroner til å hoppe (men ikke i sykloidebaner) bortover en halvlederflate.

Mellom de to planparalelle metallelektroder A og K er det plasert en isolator. Den ene siden av isolatoren er belagt med et tynt motstandsskikt av kopperoksyd, og skiktets ohmske motstand mellom de elektriske tilkoblingene beløper seg til ca. 140 MΩ. Elektroden K settes så på jordpotensial, og elektroden A (anoden) på f. eks. 3500 V, og den øvre kant på halvlederskiktet på 3400 V.

Hvis man nå betrakter et elektron som sendes loddrett ut fra halvlederskiktet med en energi W_1, vil elektronet bevege seg i en bane som antydet i fig. 7b. Ved å studere bevegelsesligningene for elektronet vil man finne at det i løpet av et hopp har vunnet en energi W_2 gitt ved

$$W_2 = 4 \cdot W_1 \cdot \operatorname{cotg}^2 \alpha \qquad (1$$

Når W_2 er tilstrekkelig stor, vil det produseres sekundærelektroner når det ene elektron treffer på halvlederskiktet. På denne måte oppnåes en forsterkning, og etter som prosessen gjentar seg, vil elektronskyen som som driver mot anoden bli større og større. Sekundærelektronene som produseres har forskjellige energier og retninger, og ved målinger vil man finne en midlere energigevinst W_2 som tar hensyn til de nevnte fordelinger.

Den totale forsterkningsfaktor er bestemt ved

$$F = \delta^n \qquad (2)$$

hvor, som før, δ er sekundæremisjonsfaktoren for dynodeplaten og n er antall trinn eller riktigere: n er antall midlere hopp. Dette midlere antall hopp bortover dynodeflaten er avhengig av det totale spenningsfall U_0 over denne flate, og av den midlere energi W_2 som et elektron vinner i et hopp, d. v. s.

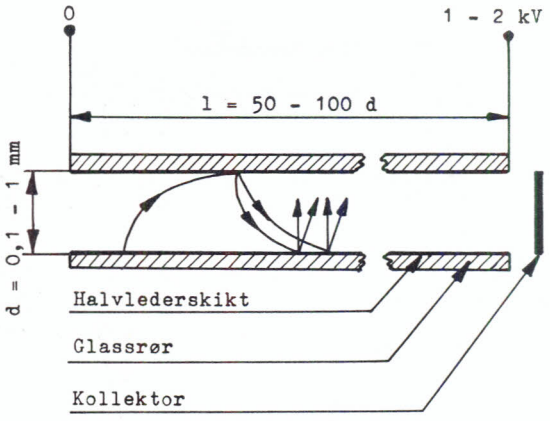
$$n = eU_0/W_2 \qquad (3)$$

Forsterkningsfaktoren F er tydeligvis avhengig av både den påtrykte spenning og av vinkelen α. I konvensjonelle multiplikatorer er antall forsterkende trinn konstant, og den totalte forsterkning er bestemt ved spenningen mellom hvert trinn. I det omtalte rør kan både sekundæremisjonsfaktoren og antall trinn (midlere antall hopp) instilles ved passende valg av høyspenning og helningsvinkel. Med $\alpha = 17^0$ i fig. 7 blir $\delta = 2{,}6$ og $n = 16$. Man kan altså lett realisere et stort antall hopp i et slikt rør, og det er derfor ofte ikke nødvendig med spesielle materialer med høy sekundæremisjonsfaktor. En total forsterkningsfaktor på 10^7 x kan lett oppnås.

Den midlere transittid for elektronene fra katode til anode er ca. 6 ns, men spredningen i denne tid er ikke oppgitt. (Med alle forbehold antas at spredningen i elektronenes transittid kanskje kan være størrelsesorden 0,5 ns).

«Nye prinsipper for elektronmultiplikatorer».

De multiplikatorer med kontinuerlige dynoder som hittil er omtalt har hatt dimensjoner av størrelsesorden 1 cm. En annen type som er utviklet av Goodrich og Wiley [7] slår alle rekorder med hensyn til miniatyrisering. De benytter seg av et meget tynt glassrør hvor innersiden er belagt med et helvledende metalloksyd, jfr. fig. 8. Over rørets lengde påtrykkes en spenning på 1–2 kV. Virkemåten for dette røret er følgende: Det har vist seg at den midlere transversale hastigheten til et sekundærelektron som frigjøres på rørveggen tilsvarer en energi på ca. 1 eV. Denne transversale bevegelse kombineres med



Fig, 8, Kontinuerlig kanal eiektronmultiplikator.

en akselerasjon mot høyre p. g. a. det påtrykte elektriske felt, og et enkelt sekundærelektron vil få en bane som antydet i fig. 8. Dersom dette elektronet vinner tilstrekkelig energi vil det kunne frigjøre nye sekundærelektroner. Når denne prosessen gjentas et tilstrekkelig antall ganger kan en total forsterkningsfaktor på 10^7 — 10^8 realiseres. — Ett enkelt rør med de nevnte dimensjoner vil ofte være til liten hjelp, men ved å sette flere rør i parallell kan f. eks. strømtetthetsfordelingen over en flate bestemmes. En samling av et stort antall parallellstilte kontinuerlig kanal elektronmultiplikatorer kan benyttes som detektor i massespektrometre og vakuum-ultrafiolett spektrometre, og som billedforsterker. I det siste tilfelle vil billedforsterkerens oppløsningsevne i det vesentlige være gitt ved de forsterkende elementers diameter og deres innbyrdes plasering.

Den meget enkle geometri i de trinnløse multiplikatorer er bemerkelsesverdig, og det skal bli spennende å se om disse rørtyper er så pålitelige at de vil bli produsert i store mengder.

[1] *Sternglass, E. J.:* Rev. Sci. Instr. *26*, 1202 (1955).
[2] *Zworykin, V. K., Morton, G. A., Malter, L.:* Proc. Inst. Radio Engrs. *24*, 351 (1936).
[3] *Heroux, L., Hinteregger, H. E.:* Rev. Sci. Instr. *31*, 280 (1960).
[4] *Goodrich, G. W., Wiley, W. C.:* Rev. Sci. Instr. *32*, 846 (1961).
[5] *White, F. A., Sheffield, J. S., Davis, W. D.:* Nu cleonics *19*, No. 8, 58 (1961).
[6] *Hamisch, Hj.:* Z. Angew. Phys. *14*, 322 (1962).
[7] *Goodrich, G. W., Wiley W. C.* Rev. Sci. Instr. *33*, 761 (1962).

Et symposium til ære for prof. E. Hylleraas har funnet sted 14. - 20. januar i år. Et utførlig referat vil bli bragt i neste nummer. — Med henblikk på innbinding av årgang 1962 av Fra Fysikkens Verden tar vi i dette nummer med en titelside som kan tas ut og plasseres foran hefte 1. I neste nummer følger innholdsfortegnelse og forfatterregister.

Mer enn et skrivebord —

en dobbelt så effektiv arbeidsplass

NOBØ

skrivebord med stålkabinetter

Bordene leveres i typer tilpasset den enkeltes behov, og med et utall av innredningsmuligheter.
Bordene har stillbar høyde — De sitter alltid korrekt.
Skuffene glir lett og kan beveges med én finger.
NOBØ SKRIVEBORD har myke, harmoniske linjer og leveres i delikat dyp rød, dyp grønn eller dyp blå farve.

NOBØ SKRIVEBORD
— det mest rasjonelle skrivebord som finnes!

NOBØ FABRIKKER A/S
TRONDHEIM

LABORATORIEUTSTYR

VI LEVERER BL. A.:

CF

Spektralfotometre — Høgtemperaturovner — Kvartsapparatur — En-krystaller — Forsøksutstyr for bl. a. optikk, mekanikk og kjernefysikk.

A.s CHRISTIAN FALCHENBERG

Oslo Trondheim

Tale og hørsel

Magne Kringlebotn

En smule ettertanke overbeviser oss raskt om hva lydens verden betyr for oss mennesker. Uten hørsel ingen tale, ingen musikk, ingen oppfattelse av de lyder som omgir oss daglig, vindens susen i trærne, fuglenes sang, bilenes tuten og brølet fra flyenes jetmotorer. I denne artikkelen skal vi beskjeftige oss med tale og hørsel, samt en del tiltak for å avhjelpe hørselsvekkelser og døvhet. Emnets omfang fraskriver naturligvis artikkelen ethvert krav på fullstendighet.

Høre- og taleområde.

Hørselsansen er begrenset i dynamikk og frekvens, men ytelsene innen dette område, som vi kan kalle høreområdet, er i sannhet imponerende. Ved 1000 Hz kan oppfattes lydtrykk helt ned til ca. 3.10^{-4} mikrobar, mens fornemmelse av smerte inntreffer først ved ca. 1000 mikrobar, d. v. s. øret behersker trykkforhold større enn 1 million. — Og ved tilstrekkelige lydtrykk kan øret oppfatte frekvenser i området mellom ca. 20 Hz og 16 kHz, d. v. s. nærmere 10 oktaver.

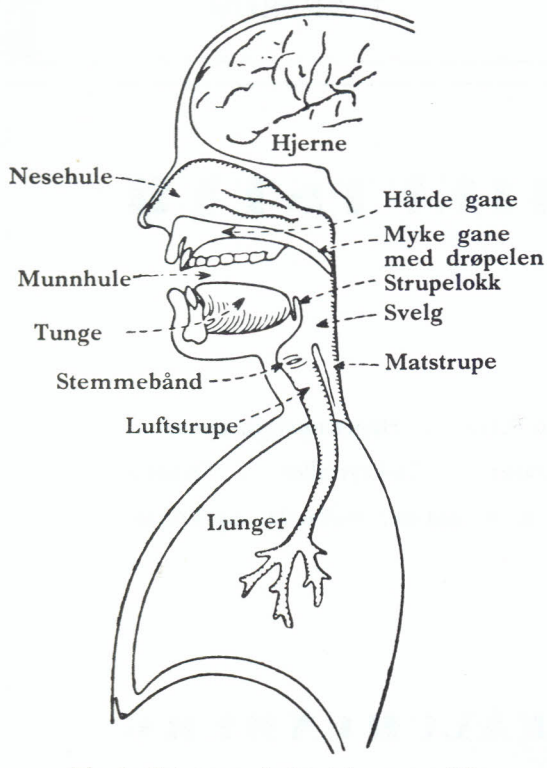


Fig. 1. Det menneskelige taleapparat. [1]

Siv.ing. M. Kringlebotn er vitenskapelig assistent ved Fysisk Institutt N. T. H.

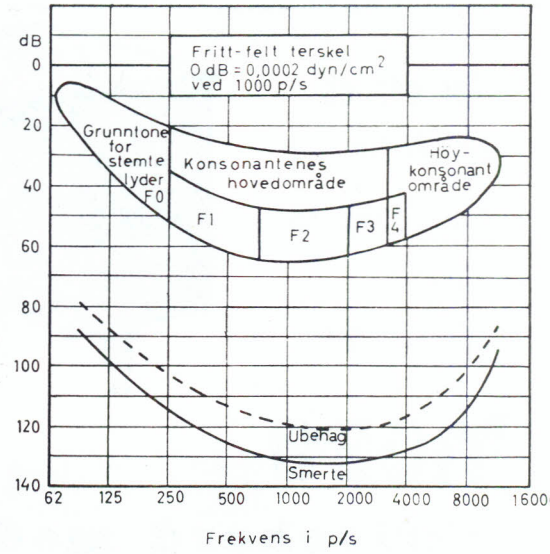


Fig. 2. Formantområder for vokaler (F_1, F_2, F_3, F_4) og konsonanter i mannsstemmer ved 1 m avstand fra leppene. Ordinaten svarer til hørseltap eller lydtrykk i dB rel. fritt-felt terskel (etter Fant). I figuren er også ubehags- og smertenivå antydet. [7].

Hørselsansens viktigste oppgave er å oppfatte tale. Det gjør den ved å analysere talens spektrale sammensetning og dennes variasjon med tiden. Tale frembringes av de artikulerende organer (fig. 1). Ved tonende lyd fås kvasi-periodiske pulser fra de svingende stemmebåndene, og som følge herav får tonende lyd tilnærmet linjespektra hvor de enkelte frekvenskomponenter er harmoniske av stemmebåndenes svingefrekvens. Det akustiske resonanssystem bestående av hulrom i munn, svelg og nese vil gi linjespekterets envelope flere maksima, de såkalte formanter, hvis beliggenhet i frekvens er karakteristisk for hver enkelt lyd. Vokalenes spektra har spesielt regelmessig formantstruktur. De tonløse konsonantene har støykarakter og derved et kontinuerlig spektrum, med den vesentlige del av sin spektrale energi over 1000 Hz. Men også konsonantspektra har karakteristiske spektrale maksima.

I et frekvens-intensitets-diagram faller talens spektrale komponenter innenfor et område som vi kan kalle taleområdet.

For å studere hørbarheten av talens spektrale komponenter ved forskjellige hørselnedsettelser er det hensiktsmessig å inntegne taleområdet i et audiogram (fig. 2). Et audiogram er et diagram som viser høreterskelens beliggenhet i forhold til en midlere verdi for normal-

hørende, 0 dB-linjen. Ordinaten angir altså hørseltap, uttrykt ved det lydtrykk, i dB rel. lydtrykket ved normal høreterskel, som en sinustone av en viss frekvens må ha for at den såvidt skal være hørbar. For taleområdet angir ordinaten lydtrykket for talens spektrale komponenter i forhold til lydtrykket ved normal høreterskel. I fig. 2 er også ubehagsnivå og smertegrense antydet.

Ørets funksjon.

Før vi går over til å omtale forskjellige hørselnedsettelser, skal ørets virkemåte kort skisseres. Dette vil hjelpe oss til å få en bedre forståelse av hørselskadenes karakter.

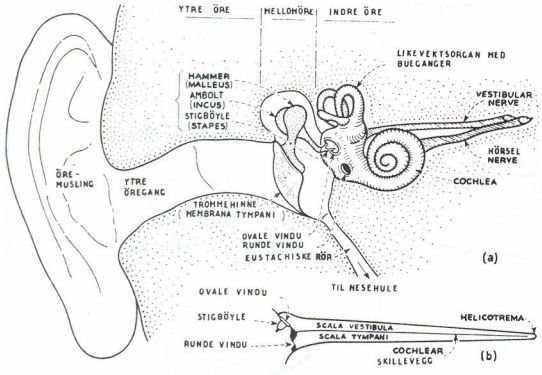


Fig. 3. (a) Øret vist skjematisk. (b) Snitt gjennom «utrullet» cochlea. (Etter Bogert). [3].

På grunn av refleksjoner av lyden ved hodet og resonanser i det ytre øret, fås i forhold til fritt felt en frekvensavhengig trykkforsterkning ved trommehinnen. Denne trykkforsterkning er vist i fig. 4.

Lydsvingningene ved trommehinnen setter denne og dermed hørselbenene hammer,

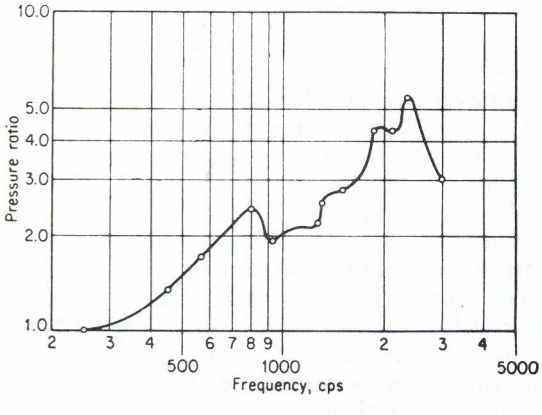


Fig. 4. Trykkforhold trommehinne/fritt felt for et normalt øre. (Etter Békésy). [4].

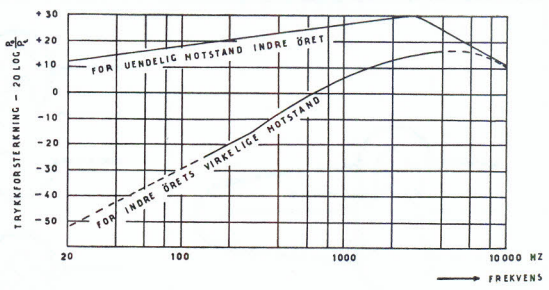


Fig. 5. Trykkforsterkning i mellomøret som funksjon av frekvensen. (Etter Fletcher). [5].

ambolt og stigbøyle i bevegelse. Stigbøylens fotplate er elastisk festet i det ovale vindu. På grunn av hevarmvirkning økes trykket noe av hørselbenene. Viktigere er det at det ovale vindu har vesentlig mindre areal enn trommehinnen. Dette forhold bidrar mest til trykkforsterkningen i mellomøret. Defineres mellomørets trykkforsterkning som forholdet mellom P_o og P_t, hvor P_t er trykket ved trommehinnen og P_o er trykkforskjellen i væsken like bak det ovale resp. runde vindu, viser det seg imidlertid at på grunn av den lave mekaniske impedansen over basilarmembranet ved lave frekvenser, fås ingen trykkforsterkning i mellomøret ved disse frekvensene, tvert imot:

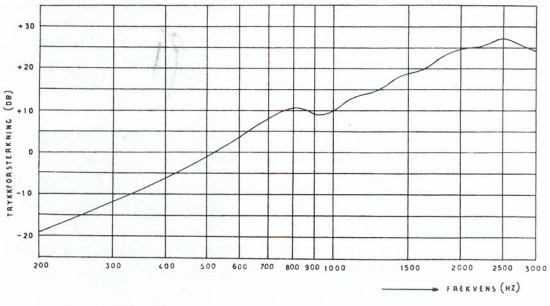


Fig. 6. Resulterende trykkforsterkning fritt felt/indre øre.

en attenuering. Undertrykkelse av lavfrekvent støy kan imidlertid være en fordel, og trykkforsterkningen i den viktigste del av talefrekvensområdet er bibeholt (fig. 5). Forholdet mellom P_o og trykket i fritt felt P_f kan nå finnes ved å kombinere fig. 4 og 5 (fig. 6).

I det indre øret, i cochleaen eller snilehuset, påvirkes væsken av trykkforskjellen ved de to vinduer, og veggen som deler cochleaen i to, settes i svingninger, og for sinustoner får den et maksimalt utsving hvis lokalisering er avhengig av frekvensen. Denne lokalisering er imidlertid uskarp og kan vanskelig alene

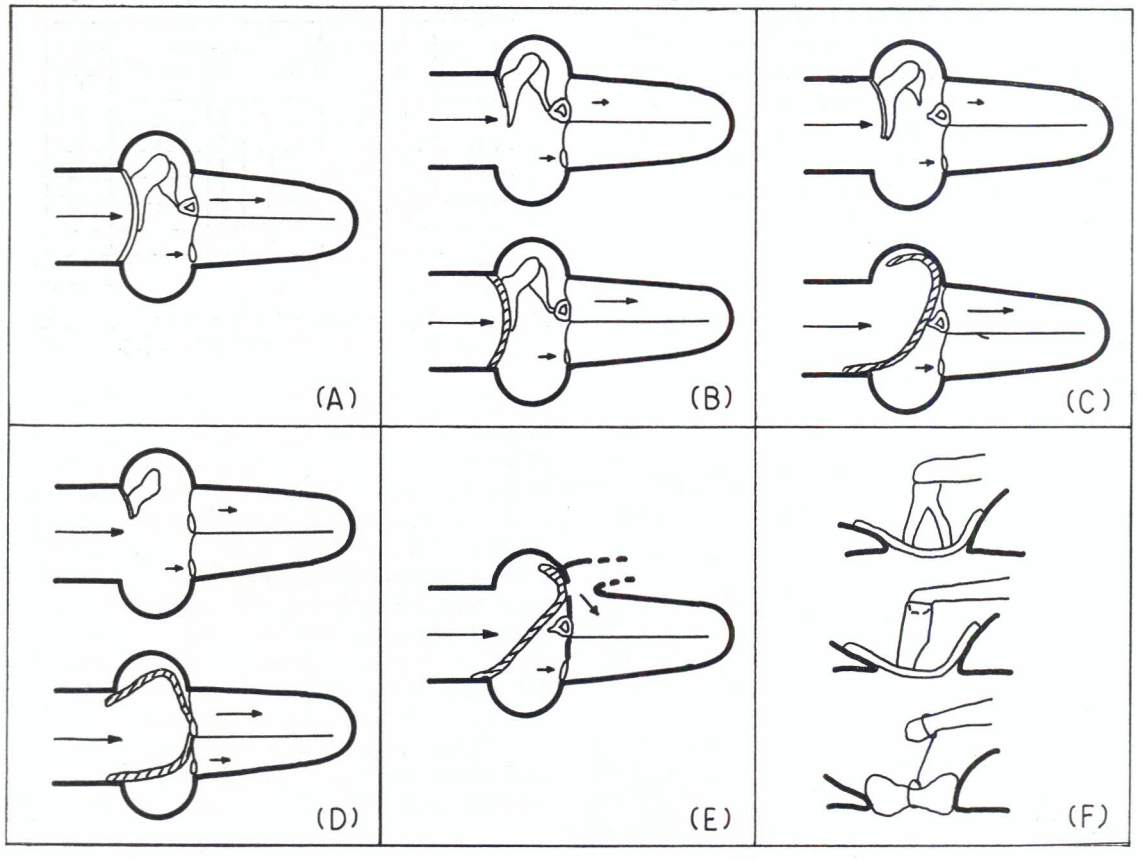


Fig. 8. Hørselbedrende operasjoner vist skjematisk. Pilenes størrelse antyder forskjell i lydtrykk. (Etter Fabritius). [6].

A. Normalt øre.

B. Perforering av trommehinnen. Rekonstruering av denne ved hudtransplantasjon.

C. Hørselbenkjeden delvis ødelagt. Ubrukbare hørselben fjernes, transplanat lagt over stigbøylen.

D. Ubrukbare rester av hørselbenkjeden fjernet. Transplanat avskjermer det runde vindu men ikke det ovale.

E. Sterkt nedsatt eller ingen bevegelighet for stigbøylens fotplate i det ovale vindu. Et nytt vindu er laget på den horisontale buegang og en liten hudlapp fra øregangen lagt over.

F. Stigbøyleplate med sterkt nedsatt eller ingen bevegelighet er fjernet og erstattet med en liten lapp av muskelhinne eller venevegg — eller en liten fettklump! Når stigbøylen ikke kan benyttes, erstattes denne med et polyethylenrør eller en metalltråd.

forklare ørets store evne til å skille frekvenser (fig. 7).

Basilarmembranen er besatt med hårseller som påvirkes ved deformasjonen, og nerve-

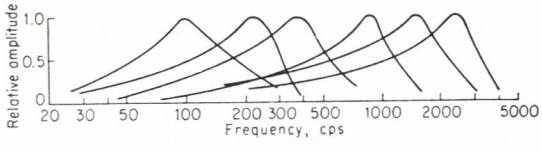


Fig. 7. Utsving som funksjon av frekvens på seks steder langs cochleaens skillevegg. Utsvingsmaksimum beveger seg fra helicotrema mot stigbøylen ved økende frekvens. (Etter Békésy). [4].

pulser avsendes til de høyere sentra i hjernen. Denne mekanismen for omforming av mekanisk til elektrokjemisk energi vet man lite om, men ihvertfall har nerveapparatet evne til å skjerpe lokaliseringen av amplitudemaksima, ved såkalt inhibisjon.

Likevel er sammenhengen mellom lokalisering av amplitudemaksima og frekvens neppe alene ansvarlig for ørets frekvensanalyse. Særlig for lave frekvenser, under ca. 1500 Hz, benytter hjernen seg trolig også av tidsmønsteret for nervepulsene. Disse ankommer i salver med tidsforskjeller svarende til den aktuelle frekvens («salveteorien»).

Hørselskader.

Vi skiller mellom hørselskader av ledningstype og neurogen type. Disse kan opptre sammen eller hver for seg. Neurogene skader er definitive og består i at hårsellene eller nervene i hørselnerven er helt eller delvis ute av funksjon. Ledningsfeil innebærer nedsatt akustisk transmisjonsevne for det ytre øret eller mellomøret, f. eks. gjenvoksing av ytre øregang, hull i trommehinnen, minsket mobilitet eller brudd i hørselbenkjeden, eller minsket mobilitet for stigbøylens fotplate i det ovale vindu. Kirurgiske inngrep kan da være aktuelle, og en rekke hørselbedrende operasjoner er illustrert i fig. 8.

Alle disse operasjonene kan i beste fall føre til en tilfredsstillende hørselforbedring.

Tekniske hjelpemidler ved hørselskader.

Ørets for informasjon anvendbare område, høreområdet, begrenses av de frekvensavhengige kurver for høreterskel og ubehagsnivå. Vi betrakter igjen fig. 2. For en 20 dB's hørselnedsettelse over hele frekvensområdet vil talens spektrale komponenter i alt vesentlig fremdeles være hørbare, og en slik hørselnedsettelse medfører derfor vanligvis ikke konversasjonsbesvær på 1 meters hold. Verre er det med en 40 dB's nedsettelse over hele frekvensområdet. De fleste konsonanter vil da bli meget svake eller ikke hørbare. Taleren må heve stemmen, eller lyden forsterkes. For 60 dB's nedsettelse vil nesten hele det inntegnede språkområdet ha gått tapt, og på 1 meters hold vil lite oppfattes ved vanlig samtalerøst.

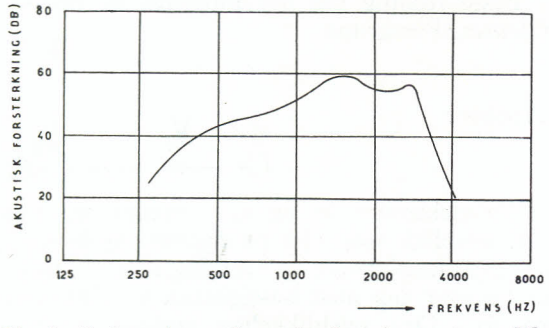


Fig. 9. Frekvenskurve for godtagbart høreapparat. [8].

Kommersielle høreapparater er resultat av masseproduksjon, og det er begrenset i hvilken grad de kan tilpasses den foreliggende hørselskade. På grun av relativt dårlig mikrofoner og høretelefoner blir lydgjengivelsen alt annet enn high-fidelity (fig. 9).

Etterstrebes en optimal utnyttelse av den resterende hørsel, må målsettingen være å bringe mest mulig av talens informasjonsinnhold innenfor høreområdet. Ved alvorlige hørselnedsettelser vil dette være sterkt innsnevret, ikke bare på grunn av den nedsatte hørsel, men også ofte som følge av det mot lavere intensiteter forskjøvne ubehagsnivå. Personer med neurogene hørselskader vil nemlig i mange tilfeller være overfølsomme overfor sterke lyder.

Med en lineær forsterker forstås en forsterker som multipliserer den momentane innspenning med en konstant forsterkningsfaktor. Det skulle da være klart at en lineær forsterker neppe representerer den optimale løsning for utnyttelse av små hørselrester. Midlere talenivå ved forsterkerens inngang vil avhenge både av hvor høyt taleren snakker og av avstanden mellom denne og mikrofonen. Resultatet blir derfor at lydnivået ved utgangen av forsterkeren i visse perioder lett vil falle under høreterskelen og i andre over ubehagsnivå og smertegrense. Begge deler er lite ønskelig. Men selv ved jevnt talenivå vil noen talelyder være svakere enn andre slik at om de sterkeste ved lineær forsterkning bringes like oppunder ubehagsnivå, vil ved sterkt nedsatt hørsel de svakeste talelydene kunne falle under høreterskelen. Det skulle da være aktuelt med en forsterker som forsterker de svake lydene mer enn de sterke, og som samtidig begrenser utnivået slik at dette ikke overskrider ubehagsnivået. Av forsterkere som fyller disse krav, finnes det to slag: klippeforsterkere og kompresjonsforsterkere.

En klippeforsterker kan kombinere stor forsterkning av svake signaler med begrensning av utnivået ved at amplitudetoppene over et visst nivå klippes bort. Dette innebærer stor forvrengning, men denne er imidlertid ikke av vesentlig betydning for oppfattbarheten.

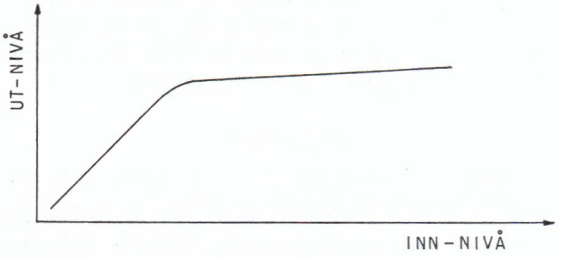


Fig. 10. Ut-nivå som funksjon av inn-nivå for klippe- og kompresjonsforsterker.

Kompresjonsforsterkeren har liten forvrengning, idet den kan sies å være en lineær forsterker med varierende forsterkningsfaktor. Ved lite inn-nivå har den stor forsterkning, og ved stort inn-nivå har den liten forsterkning. Mens klippingen virker momentant, krever endringer i forsterkningsfaktoren en viss tid. Ut-nivå som funksjon av inn-nivå for klippe- og kompresjonsforsterkere kan ha et forløp som antydet i fig. 10. Hvilke av de to typer nivåbegrensende forsterkere som gir beste oppfattbarhet, er ikke helt klarlagt.

Også i frekvensdimensjonen kan det være aktuelt med en «kompresjon». Er eksempelvis konsonantene s, sj og tj ikke hørbare på grunn av hørseltap ved høye frekvenser, kan disse transponeres ned i det lavfrekvente område hvor hørselrester finnes.

Teoretisk trengs det ikke store hørselrestene for at de skulle kunne befordre det reelle informasjonsinnholdet i talen. Sett fra oppfattbarhetssynspunkt er nemlig det meste av talens informasjonsinnhold overflødig. Men det er vanskelig å tenke seg at det skulle være praktisk mulig å lage et «høreapparat» som først analyserer talen og ekstraherer de informasjonsbærende elementer, og som så i kodet form presenterer disse for den i frekvens og dynamikk sterkt begrensede hørselrest.

Derimot finnes det andre mulige tekniske hjelpemidler ved de alvorligste hørselrester og døvhet, nemlig taktile og visuelle, som i form av vibrasjoner mot huden (fortrinsvis fingrene) eller visuelle intensistetsindikatorer gir et inntrykk av talens momentane frekvensspektrum. Den slags apparatur har gitt til dels gode resultater. Taktil apparatur viser seg å kunne utgjøre et utmerket supplement til leppeavlesning.

En avismelding nylig tyder på at man i Amerika har greid å påvirke hørselnerven direkte, altså elektronisk uten å gå veien om ørets sanseapparat. Foreløpig resultat skal være at døve kan oppfatte talerytme. Den slags meldinger, og utviklingen innen medisin og teknikk i det hele tatt tyder på at mulighetene ennå på langt nær er uttømt når det gjelder å hjelpe døve og tunghørte.

Referanser.

[1] *Bergeijk, Pierce og David:* «Ljudvågorna och vi». Biblioteksförlaget, Stockholm 1960.

[2] *G. Fant:* «Acoustic Analysis and Synthesis of Speech with Applications to Swedish». Ericsson Technics No. 1, 1959.

[3] *G. G. Harris:* «What is Psychoacoustics?». J. Aud. Eng. Soc., Vol. 9, No. 1, 1961.

[4] *Georg von Békésy:* «Experiments in Hearing». McGraw-Hill, 1960.

[5] *H. Fletcher:* «The Dynamics of the Middle Ear and Its Relation to the Acuity of Hearing». J. Acoust. Soc. of America, Vol. 24, No. 2, 1952.

[6] *H. Fr. Fabritius:* «Hörselbedrende operasjoner». Nordisk Tidskrift f. Dövundervisningen No. 4, 1962.

[7] *M. Kringlebotn:* «Nivåbegrensning og transponering». Nordisk Tidskrift f. Dövundervisningen, No. 4, 1962.

[8] *Lundborg Rösler, Johansson:* «Hörapparatfrågan i medisinsk och teknisk belysning». Förh. i Svensk Otolarygologisk Förening, Häfte 1.

AHA-spalten*

Løsning av Problem 2 i nr. 2, 1962:

Paradokset oppløses når «hvile-energien», $\Delta m \cdot c^2$, oppfattes som et annet uttrykk for den totale potensielle gravitasjonsenergi til masseelementet Δm. Vi setter altså:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \Delta m \cdot G \cdot \sum_i \frac{m_i}{r_i},$$

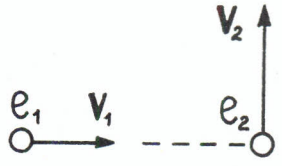
hvor G er gravitasjonskonstanten, m_i universets masseelementer og r_i avstandene fra Δm til disse.

Løsning av problemet i nr. 3, 1962:

Mange løsninger er selvsagt tenkbare, avhengig av de midler Per har til rådighet. Ved å gi romskipet en impuls rettet *mot* bevegelsesretningen, vil Per tape høyde, men vinne banehastighet samtidig som omløpstiden blir mindre. Senere kan han så gi romskipet en impuls i bevegelsens retning, og således vinne høyde på bekostning av banehastighet. Slike manøvrer kan han så kombinere inntil kontakten med SHUTKA V er opprettet.

Beste løsning ble her innsendt av *Harald Olausen*, Porsgrunn.

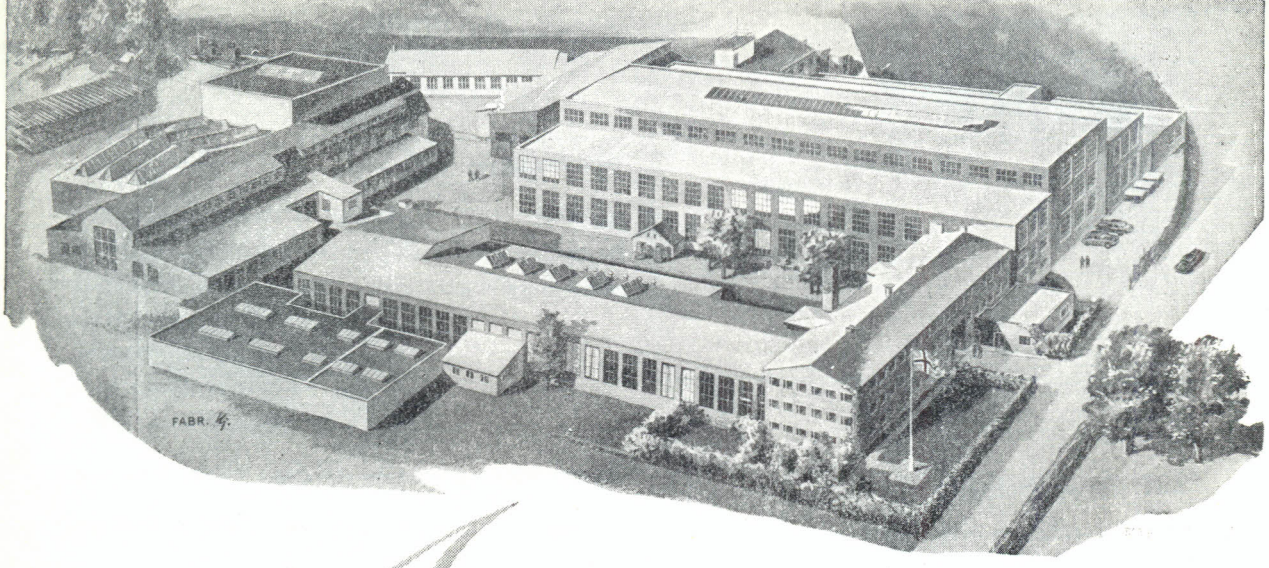
Problem:



To elektroner, e_1 og e_2, beveger seg i et gitt øyeblikk som vist på figuren. e_1 beveger seg med hastigheten $\mathbf{v}_1$ i retning mot e_2, mens e_2 beveger seg med hastigheten $\mathbf{v}_2$ vinkelrett på $\mathbf{v}_1$. Den øyeblikkelige avstand mellom elektronene settes lik r_{12}. — Hvor store er de krefter som i dette øyeblikk virker på e_1 og e_2? Hvordan lyder Newton's 3. lov?

Løsninger sendes Fra Fysikkens Verden's redaksjon, Fysisk Institutt, N. T. H., Trondheim. Konvolutten bes merket «Problem».

* Avføder Hissige Argumenter!



Fra vårt fabrikk-anlegg i Oslo...

leverer vi:

Transformatorer — fra de største — store som hus — for de store kraftanlegg, — til de minste fordelings-transformatorer av den typen som man kan se i ledningsstolpene landet over.

Elektra elektrovarmeapparater, — fra dampkjeler til komfyrer, vannvarmere, panelovner o.s.v.

Mottoet ved all vår produksjon er:

KUN DET BESTE ER GODT NOK

A/S Per Kure

OSLO - BERGEN - HAMAR - KRISTIANSAND S. - LARVIK
STAVANGER - TROMSØ - TRONDHEIM - ÅLESUND

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Professor dr. Sverre Westin

Styre: Professor dr. Njål Hole
Direktør O. Chr. Böckman
Dr. philos. Anders Omholt
Dosent dr. Harald Trefall

Selskapets sekretær: Ingerid Woldhaug,
Fysisk Institutt, N. T. H.
Trondheim

Postgirokonto: 88388 **Bankgirokonto:** 236880 – 285

Fra Fysikkens Verden

Redaktør: Professor dr. Haakon Olsen, N. T. H.

Problemspalten: Siv.ing. Richard R. Solem, N. T. H.

Redaksjonskomite: Rektor Finn Berntsen, Sverresborg skole, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer, Universitetet, Blindern.
Dr. philos. Tormod Riste, Institutt for Atomenergi. Kjeller.
Professor Steingrim Skavlem, Universitetet i Bergen.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN, Genéve.

Teknisk medarbeider: Laboratorieing. Halvard Torgersen, N. T. H.

Annonser: Laboratorieing. Halvard Torgersen, N. T. H.

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

Ekspedisjonens adresse: Fra Fysikkens Verden,
Fysisk Institutt, N. T. H. Trondheim.

Postgirokonto: 10472 **Bankgirokonto:** 236545–285