Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 1996
58. årgang

Utgiver:
Norske Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Henri Becquerel (1852–1908)
oppdaget radioaktiviteten i 1896
(Se artikkel)

Innhold

Trygve Holtebekk:
100 år med Becquerel 37

Lars Bugge:
Elektrosvak fysikk – Del I 43

Olav Steinsvoll:
Oliver Lodge oppfant radioen .. 52

Fra Redaktørene 34
In Memoriam: Kjell Henriksen 34
Antimaterie påvist 35
Bokomtaler 55
Nye Doktorer 58
Dr.philos. Mogens Dam
Dr.scient. Christina Karlsson
Dr.scient. Toril Myrtveit
Dr.ing. Jan Halvor Nordlien
Dr.scient. Gunnar Rustad
Dr.scient. Peter Wind
Trim i FFV 60
Hva skjer 61
Fysikkolympiaden 1996
Onsager-professor 1996
Nytt fra NFS 62
Fysikklærerforening
Nye medlemmer

Fra Redaktørene

De aller fleste fysikere er opptatt av fagets betydning i og for samfunnet. De aller fleste vil derved også være opptatt av fagets rekruttering. Og rekrutteringssituasjonen gir grunn til stor bekymring. Tendensen i den videregående skole er klar, stadig færre elever velger de "harde" realfagene. Fenomenet er ikke spesielt for Norge, våre internasjonale samarbeidspartnere nærer den samme bekymring. Advarslene er mange, og det forespeiles rekrutteringskriser innen viktige sektorer av arbeidslivet.

Samtidig "skjer" det mye i norsk skole. R(eform) 94 er over oss, nye planer og rammer for undervisning og pensa utarbeides. I disse dager er fristen ute for kommentarer til ny læreplan for studieretningsfaget fysikk. Blant høringsinstansene finner vi de videregående skoler, universitetene og faktisk denne gangen også Norsk Fysikkråd.

Vi forstår at en fysikk-fagplan i dagens videregående skole skal tilfredsstille behov i flere retninger. I hvilken grad de forskjellige behov nødvendigvis må føre til upresise målformuleringer kan diskuteres. Skjønt, de upresise og til dels merkelige målformuleringer i fagplanen må åpenbart komme fra andre hold enn fagmiljøene. Det kan nesten virke som om fagplanarbeidet er gjort innenfor en stramt opptrukket ideologisk ramme som nesten kan ha komiske trekk i denne sammenhengen. Når elevene skal "ha respekt for andres synspunkter uavhengig av bakgrunn, livsfase, kjønn og religion", er vi selvsagt generelt enige i det, men en slik formaning hører etter vår mening ikke hjemme i en fagplan i fysikk. Upresise formuleringer i fagplanen, til dels av typen "økseskaft", fører bare til at den faktiske fysikkundervisningen blir bestemt av helt andre, nemlig forfatterne av lærebøkene.

Norge skal i sommer arrangere Den 27. internasjonale fysikkolympiade. Det har alltid vært et viktig mål under "trimmekurset" for deltakerne å gi en innføring i de mange viktige deler av fysikken som ikke omfattes av norsk pensum. Vi har undret oss over at vi har en spesiell norsk fagplan som avviker såpass fra det som internasjonalt sees på som den ideelle. Høringer til tross, vi føler at fysikkfagmiljøene tas inn i fagplanarbeidet på et altfor sent stadium, uten reell innflytelse på sluttresultatet.

∞

In Memoriam

Kjell Henriksen (1938 – 1996)

Det kom som et sjokk på oss alle da vi fikk vite at vår venn og kollega, professor Kjell Henriksen plutselig døde den 3. april. Bare noen få dager før hadde han deltatt på et undervisningsseminar i Skibotn og vi tok farvel for å møtes igjen etter påskeferien.

Med Kjell er en fargerik og sterk personlighet borte. Han kom fra Sørkjosen i Nordreisa, utdannet seg til sivilingeniør på linjen for teknisk fysikk ved NTH i 1965, og kom til Nordlysobservatoriet som stipendiat i 1968. Hans doktorgradsprosjekt var et fotometrisk studium av den grønne linjen i nordlyset, som han fullførte i 1974. Han fikk fast stilling ved observatoriet året etter og opprykk til professor i 1991.

Kjell var den av forskerne ved observatoriet som sterkest knyttet forbindelsen tilbake til nordlyspionérene Vegard og Størmer. Han fikk modernisert gamle nordlysspektrografer, og fikk etablert et nytt nordlysobservatorium ved Longyearbyen på Svalbard i 1984. For dette ble han tildelt Framkommiteens Nansenbelønning.

Nordlysstasjonen på Svalbard har en unik plassering for nordlysforskning og mer enn 200 vitenskapelige artikler er publisert på gunnlag av observasjoner gjort der. Takket være stasjonens beliggenhet, og de oppsiktsvekkende resultater som etter hvert ble oppnådd der, strømmet forskere til fra mange land. Kjell tok imot med åpne armer og fikk utvidet stasjonen slik at den nå huser et par dusin eksperimenter av ulike slag.

Men Kjell Henriksen var ikke fornøyd med å arbeide bare med nordlyset. I 1970-årene fikk ozonforskningen større oppmerksomhet og ble mer krevende, slik at observatoriets instrumentpark for ozonmålinger måtte moderniseres. Da kom Kjell med som aktiv ozonforsker. Han fikk først etablert ozonmålinger i Longyearbyen, i 1984, og senere samme året ble ozonmålingene gjenopptatt i Tromsø med moderniserte og vel kalibrerte instrumenter. Kjells erfaring med instrumentering under vanskelige klimatiske forhold kom da til stor nytte.

Ozonmålingene fra 1980- og 1990-årene stemmer dårlig overens med resultater fra modellberegninger og satellittobservasjoner som viser stor nedgang i ozonmengden over de polare områdene. Men Kjell var aldri redd for å markere sin uenighet med teoretikerne og dem som sverget til satellittdata. Dette førte til kraftige debatter. Men hans budskap var enkelt: Atmosfæren er et komplisert system, og den beste måten å finne ut hvordan den fungerer er å bruke nøyaktig utførte og vel kalibrerte målinger som basis for modeller.

Kjells interesse for atmosfærisk ozon førte til at han også begynte å undersøke UV-strålingen fra sola som påvirker planter og dyr, men absorberes av ozon. Han deltok i samarbeidsprosjekt med biologer og hudleger for å undersøke UV-strålingens virkning på levende organismer i Arktiske strøk. Med så allsidige interesser og brede internasjonale kontaktflate, fikk Kjell mange studenter. Da han gikk bort var han den ved fysikkseksjonen i Tromsø som hadde flest hovedfags- og doktorgradstudenter, i alt 9 stykker.

Et spesielt trekk ved Kjell Henriksen var hans store vilje til å hjelpe andre, og hans engasjement i internasjonalt samarbeid. Han hjalp mange russiske forskere med vestlige kontakter og bidro med instrumenter og annet utstyr til deres forskning. Alltid stod hans hjem åpent for våre naboer i øst, og han hadde stadig russiske forskere og studenter på besøk både i Tromsø og ved Nordlysstasjonen på Svalbard.

Kjell Henriksen var en ærlig forsker som ikke var redd for å stå fast på det måleinstrumentene viste, selv om dette ikke alltid var "politisk korrekt". Han var arbeidsom og trofast mot sine mange studenter og kollegaer verden rundt. Vi savner ham stort.

Fred over Kjells minne!

Jan-Erik Solheim og Søren H. H. Larsen

∞

Antimaterie påvist

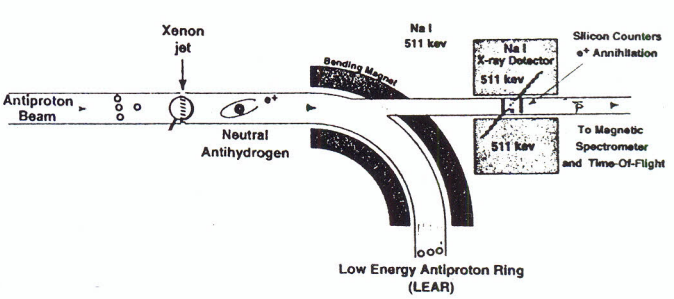
Det har lenge vært antatt at ikke bare elementærpartikler, men også bundne systemer av partikler, som atomene, må kunne ha sine ladningsomvendte partnere. Det enkleste antiatom vil selvsagt være antihydrogen, et to-partikkelsystem med et antiproton og et positron. Men også mer sammensatte antiatomer, populært forestilt som en antikjerne omgitt av en positronsky, er tenkelige. Fysikere med støtte i det grunnleggende CPT-teoremet[1] og science fiction-forfattere er samstemte: Antimaterie finnes!

Den definitive påvisning av atomær antimaterie har imidlertid latt vente på seg. Dette er forståelig, siden det er langt fra trivielt å produsere positroner og antinukleoner i tilstrekkelig mengde og med full kontroll, slik at de hindres i å annihilere for tidlig.

Nylig har imidlertid et internasjonalt team[1)] annonsert at de har påvist antihydrogen, $\overline{H}^0 \equiv \overline{p}e^+$. Eksperimentet er også tidligere omtalt i populære vendinger[2)]. Den interesserte leser henvises til alment tilgjengelig informasjon på Internet[3)].

Eksperimentatorene har benyttet seg av fasilitetene ved CERNs Low Energy Antiproton Ring, LEAR, og utrustningen til JETSET-eksperimentet, som også Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo har hatt sin andel i.

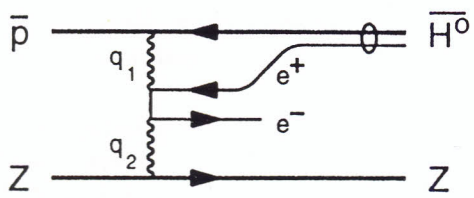
Figur 1 viser prinsippet, referert til en av de fire



Figur 1. Prinsippskisse for eksperimentet PS 210, 'Produksjon av antihydrogen', ved CERNs LEAR-akselerator.

[1] CPT-teoremet følger av meget generelle prinsipper i relativistisk kvantefeltteori, og impliserer at naturen har en eksakt symmetri, kalt CPT-invarians; bokstavene refererer til operasjoner for partikkel-antipartikkel-konjugering (C), romrefleksjon (P) og tidsreversjon (T). CP- og T-symmetri kan hver for seg være brutt. En konsekvens av CPT-teoremet er at partikler og antipartikler får samme masse og levetid, men motsatte verdier av elektrisk ladning og magnetisk moment. Vekselvirkningene, dvs. kreftene, er de samme for systemer av materie og antimaterie.

hjørneseksjonene i LEAR-ringen. En 'jet' av xenongass skytes inn i antiprotonstrålen. I en kollisjon mellom $\overline{p}$ og en Xe-kjerne vil det kunne dannes et e^+e^--par i det sterke elektriske feltet, jfr. figur 2. I gunstige tilfeller vil e^+ fra dette paret innfanges av $\overline{p}$, slik at de sammen danner et bundet $\overline{H}^0$-atom. Betingelsen for at dette skal kunne skje er at $\overline{p}$ og e^+ kommer tilstrekkelig 'nær' hverandre og har nesten samme hastighet, slik at den relative energien mellom dem er mindre enn eller lik 13,7 eV, ionisasjonsenergien for hydrogen.



$$\sigma_{cap}^{\gamma\gamma} = \frac{33}{20}\, Z^2\, \alpha^5\, r_e^2\, \ln\gamma$$

Figur 2. To-foton-mekanisme for e^+e^-- og $\overline{H}^0$-produksjon ved Coulomb-vekselvirkning mellom $\overline{p}$ og en tung kjerne (ladning Ze).

Det nøytrale $\overline{H}^0$-atomet kan etter ca. 10 meters flukt tangentielt til $\overline{p}$-stråLen, slippe ut gjennom et vindu i avbøyningsmagneten, forutseende nok laget da LEAR-ringen ble bygget. Ved første anledning som $\overline{H}^0$ treffer en hindring på sin vei blir det 'strippet' for e^+, og de to partiklene e^+ og $\overline{p}$ vil fortsette atskilt, men med samme fart, videre; de vil derfor nå det vel 6 meter lange detektorsystemet samtidig.

Beviset for at et $\overline{H}^0$-atom er dannet ligger i å fastslå at utvetydige e^+ og $\overline{p}$ opptrer nøyaktig samtidig, og med kinematiske parametre som er kompatible med $\overline{p}$'s stråleimpuls som her var 1,94 GeV/c.

Positronet bremses opp og stopper så snart det møter materie i en Si-teller, hvor det annihilerer med et elektron og detekteres ved at en NaI-detektor registrerer to rygg-mot-rygg fotoner, hvert med energi 511 keV, jfr. figur 1. Antiprotonet overlever lenger og forfølges i en sekvens av Si-tellere som bestemmer dets energiavsetning og bane. Avbøyningen gjennom et magnetfelt blir registrert, og flygetiden måles av et sett scintillatorer (ikke vist i figuren).

Fra flere hundre tusen triggere gjensto det, etter en omhyggelig analyse som eliminerte nøytrale bakgrunns-event, spesielt med antinøytroner, til slutt 9 tilfeller hvor $\overline{p}$ hadde parametre som ventet. Konklusjon: $\overline{H}^0 \equiv \overline{p}e^+$ er sant!

Med påvisningen av antihydrogen reises umiddelbart spørsmålet om man kan teste gyldigheten av CPT-teoremet og CPT-invarians ved å se om antihydrogen under ellers analoge forhold oppfører seg som hydrogen. Mest spennende vil det være om symmetrien viser seg å være brutt. Da må 'ny fysikk' finnes! – Siden CERN har besluttet å terminere $\overline{p}$-fasilitetene ved LEAR, må man avvente et kommende $\overline{H}^0$-eksperiment ved Fermilab for å få vite mer om dette.

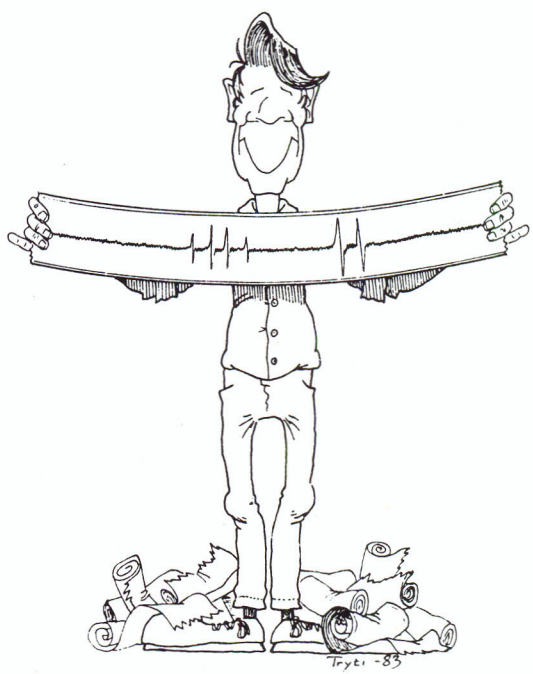
Hva så med antiatomer som $\overline{He}$, $\overline{Li}$, ... ? I betraktning av de eksperimentelle utfordringene vil det sikkert gå en del år innen disse dukker opp. 'Antikjemien' vil det uansett bli opp til våre etterkommere å ta seg av.

Referanser

1. Jülich, Genova, Erlangen-Nürnberg, Darmstadt, Münster-kollaborasjonen, G. Baur et al., Physics Letters B368, 251–258 (1996)
2. Se f.eks. CERN Courier **36**, No. 2, 1–3 (1996)
3. Se f.eks. http://www.cern.ch/Press/Releases96/PR01.96EAntiHydrogen.html, eller http://ikpe1101.ikp.kfa-juelich.de/ps210

Anne Grete Frodesen

∞



100 år med Becquerel

Trygve Holtebekk *

Henri Becquerel blir ofte bare husket som en ubetydelig fysiker som ved en lykkelig tilfeldighet gjorde en uventet oppdagelse og fikk en Nobelpris. At han tilfeldigvis hadde lagt noen fotografiske plater ved siden av noe gammelt uran i skrivebordsskuffen sin, og til sin ergrelse trodde at platene var blitt ødelagt, men for sikkerhets skyld sjekket om årsaken kunne være noe annet, er kanskje en morsom anekdote. Men som anekdoter flest inneholder den bare et snev av sannhet.

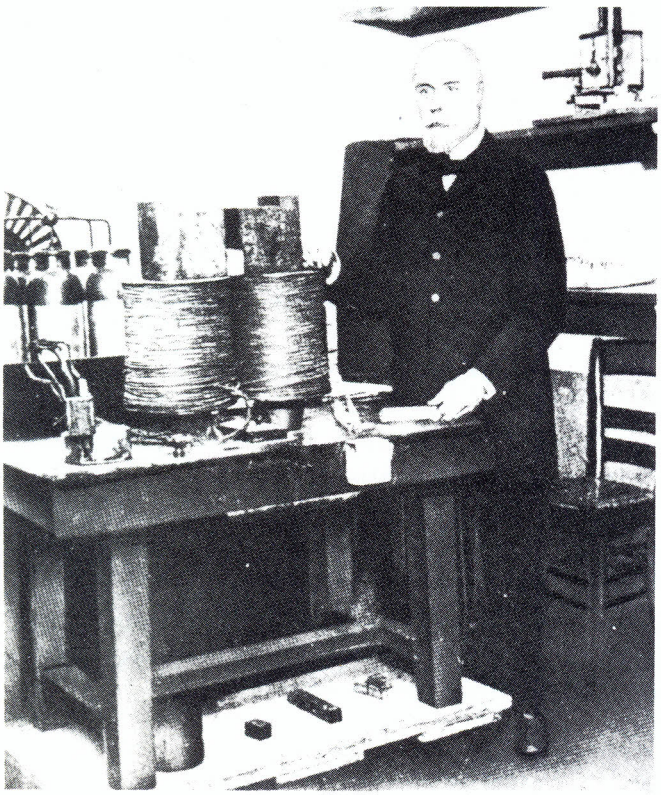
En kombinasjon av erfaring, intuisjon, spontanitet og hell gav et uventet resultat. Oppdagelsen av den gjennomtrengende, spontane strålingen fra uran i begynnelsen av 1896 er enestående, både når en ser på tiden fra han startet sine undersøkelser til resultatene ble publisert, og når det gjelder konsekvensene av oppdagelsen. Etter fem ukers leting gjorde han kjent at han hadde funnet en helt ny form for stråling. Oppdagelsen førte til at den i løpet av det 19. hundreåret stadfestede teori om atomet som materiens fundamentale og uforanderlige byggestein måtte forkastes og erstattes med en ny teori for atomet og en ny beskrivelse av hele fysikken. Det praktiske resultatet var en ny energikilde med anvendelse først i medisin og biologi, og siden i teknikk og industri. Selv ble Becquerel neppe klar over det fundamentalt nye ved oppdagelsen og over betydningen den skulle få.

*Professor emeritus, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Oppdagelsen

Historien om oppdagelsen er kort. På et møte i Det franske vitenskapsakademiet 20. januar 1896, ble det vist et av Røntgens bilder av en hånd, og det ble gitt en orientering om den vel en måned gamle oppdagelsen av en ny form for stråling. Det ble nevnt at strålingen kom fra de stedene i Crookes' rør som luminescerte når de ble truffet av katodestråler. I en påfølgende samtale mellom Becquerel og hans venn, matematikeren H. Poincaré, som også var en anerkjent fysiker, spurte denne om røntgenstrålingen kunne være noe som vanligvis fulgte luminescens. Becquerel, som var ekspert på området, ble fanget av ideen. Så fort han kunne, satte han i gang undersøkelser.

Fra sin rikholdige samling av luminescerende stoffer valgte han noen som han la opp på godt innpakkede fotografiske plater med 2 mm aluminium mellom. Han belyste stoffene noen timer og framkalte platene, men ingen viste tegn på sverting før han valgte dobbeltsulfat av uran og natrium. Han visste at dette stoffet hadde et svært karakteristisk luminescensspektrum når det ble utsatt for ultrafiolett stråling, f.eks. for direkte sollys, og at luminescensen opphørte en brøkdel av et sekund etter den ultrafiolette bestrålingen. Da en plate med uransaltet på ble framkalt etter å ha ligget i solen noen timer, viste den tydelig tegn på sverting. Han gjentok eksperimentet med bare å legge saltet på en del av platen, og ved å skjerme den med mynter og metallbiter. Resultatet lot seg ikke betvile.



Henri Bequerel i sitt laboratorium.

Platene ble svertet av stråling fra uransaltet; og på samme måte som røntgenstråling ble strålingen delvis absorbert i metall slik at det kom fram skyggebilder som gjenspeilte tykkelsen av metallet. Noen få dager etter at han første gang hadde observert fenomenet, på møtet i Vitenskapsakademiet mandag 24. februar, presenterte han resultatet: *Fra et fosforescerende uransalt kom det stråling som var like gjennomtrengende som røntgenstråling.*

I den følgende uken gjentok han eksperimentet og fikk resultatet bekreftet. Men torsdagen var han, trodde han, uheldig. Da han hadde gjort alt klart, forsvant sola. Siden fosforescensen i uransaltet skyldtes den ultrafiolette strålingen i sollyset, la han platen med uransaltet på ned i skrivebordsskuffen sin for å fortsette en annen dag i bedre vær. Søndag fikk han den innskytelsen at han skulle framkalle platen. Til sin store overraskelse så han at platen som var tatt rett fra skuffen, var mer svertet enn de som hadde vært utsatt for uran som ble belyst. Strålingen kom fra uransaltet uten noen påviselig årsak. Han gjentok eksperimentet med å benytte uransalt som ikke hadde vært utsatt for lys på lang tid, og fikk resultatet bekreftet. Raskt skrev han en ny rapport til Vitenskapsakademiet og presenterte den der dagen etter, 2. mars. Strålingen han hadde omtalt en uke tidligere, hadde ikke noe med luminescens å gjøre. Ingen av rapportene vakte særlig oppsikt. Arbeidene bar tydelig preg av Becquerels utålmodighet. Men han fortsatte ufortrødent sine eksperimenter. Han fant at strålingen var karakteristisk for uran uansett kjemisk forbindelse. Sterkest stråling fikk han fra ren, metallisk, ikke-luminescerende uran. Og den kom spontant med konstant intensitet. På møtet i Vitenskapsakademiet 18. mai, la han fram sin sjette og foreløpig avsluttende rapport om funnene.

Becquerel-dynastiet

Becquerel var da han gjorde sin oppdagelse, 44 år gammel. Han var kjent som en litt hissig og meget utålmodig mann. Han var skallet med et fippskjegg som vippet hurtig opp og ned når han ble ivrig i samtaler. Både han og Becquerel-navnet hadde høy anseelse blant franske fysikere. Han var den tredje i rekken av fire som far på sønn innehadde samme professorat i fysikk ved Musée d'Histoire Naturelle i Paris i tidsrommet 1838–1948. Alle var eksperimentalfysikere, og alle arbeidet med luminescens og optiske fenomener: elektrooptikk, magnetooptikk og spektroskopi, men også innen andre felt av fysikken. Alle hadde studert ved Ecole Polytechnique i Paris og det bemerkes i enkelte biografier at ingen av dem var "skikkelige" akademikere. De publiserte ikke arbeider innen teoretisk fysikk, men de var anerkjente forelesere og berømte for sine eksperimenter.

Den første i rekken, *Antoine César Becquerel*, (1788–1878) var utdannet som mineralog. Han hadde fulgt forelesningene til Ampère ved Ecole Polytechnique. Han hadde også god kjennskap til og beundret Faradays arbeider. Hans første vitenskapelige arbeider var innen elektrolyse og magnetisme. Han oppdaget piezoelektrisitet, men interessen skiftet etterhvert til optiske fenomener, spesielt luminescens i krystaller. I 1838 ble han utnevnt som den første professor i fysikk ved Musée d'Histoire Naturelle.

Hans sønn *(Alexandre) Edmond* (1820–91) arbeidet fra studietiden som assistent for sin far. I 1850 ble han dessuten professor ved Conservatoire Naturelle des Arts et Métiers, en stilling han beholdt da han etter farens død etterfulgte ham i professoratet ved museet og ble dets direktør. Hans forskning var innen elektrooptikk, diamagnetisme, fotokonduktivitet og luminescens. Han oppdaget flere nye luminescerende stoffer og påviste at fosforescens og fluorescens egentlig er ett og samme

fenomen, bare med forskjellige tidskonstanter. Han var også den første til å framstille et fargefotografi, men uten å klare å fiksere det.

(Antoine) Henri (1852–1908) ble etter to års studier ved Ecole Polytechnique, videreutdannet som bro- og veiingeniør ved Ecole des Ponts et Chausées. Etter endt utdannelse ble han tilknyttet Administrasjonen for broer og veier, og fikk i 1894 graden sjefsingeniør ved Ecole de Ponts et Chausées. Samtidig var han fra 1876 lærer ved Ecole Polytechnique. I 1878, da faren ble professor, overtok han som assistent ved museet. Året etter farens død ble han utnevnt som hans etterfølger både ved museet og ved Conservatoire Naturelle. I 1895 ble han også professor ved Ecole Polytechnique i et professorat han hadde vikariert i siden 1891.

Laboratoriene som Antoine i sin tid hadde fått innredet i museet, ble tilholdssted også for de følgende generasjonene. Her startet Henri sin vitenskapelige karriere. I 1888 ble han Docteur és sciences på et arbeid om absorpsjon av lys i krystaller. Tidligere hadde han påvist magnetisk dreining av planpolarisert lys i gasser. Han hadde konstruert et fosforoskop der han kunne måle varigheten av fosforescens etter at lyspåvirkningen opphørte. Han arbeidet også med spektroskopi og hadde studert Faraday-effekten og Zeeman-effekten. Han var altså en høyt ansett, velrenommert fysiker da han i 1896 gjorde sin store oppdagelse.

For å gjøre listen fullstendig, nevnes at Henris sønn, *Jean (Antoine Edmond Marie) Becquerel* (1878–1953), innehadde professoratet ved museet 1909–48. Også han arbeidet med luminescens, spesielt ved lave temperaturer. Han fortsatte også sin fars undersøkelser av magnetisk rotasjon av polarisert lys. Hans arbeider med radioaktivitet innskrenket seg til noen få undersøkelser av luminescensfenomener.

Etter oppdagelsen

Tilbake til vår hovedperson og foranledningen til denne artikkelen: Naturvitenskap hadde ingen høy status i Frankrike i det 19. århundret. Riktignok kjenner vi navn som Ampère, Gay-Lussac, Carnot, Fizeau og Foucalt. Men de tre siste hadde det til felles at de levde av sine egne penger og hadde fysikk som hobby. I slutten av århundret var det i Paris bare én professor i eksperimentalfysikk ved Sorbonne, G. Lippmann. Han fikk Nobelprisen i 1908 for utvikling av metoder for fargefotografi, en videreføring av Edmond Becquerels oppdagelse. Men flere av dem som arbeidet i tilgrensende fagområder, var sterkt interessert i utviklingen innen fysikk.

I andre land, og spesielt i England, bar forskningen alt den gang preg av teamarbeid med den stimulans som det gir. På den andre siden hadde de franske fysikerne som var medlemmer av Vitenskapsakademiet, den store fordelen at de hver eneste mandag hadde anledning til å presentere sine nye rapporter der og straks få dem trykket i Akademiets tidsskrift, Comptes Rendus.

Becquerels oppdagelse ble derfor snart kjent i vitenskapelige kretser i inn- og utland. Men merkbar interesse vakte den ikke. I en oversikt for The British Association for Advancement of Science høsten 1896 over utenlandske aktiviteter i fysikk, brukte J. J. Thomson fem sider til å omtale Röntgens oppdagelse, mens Becquerels fikk like mange linjer. På det møtet kom det for øvrig fram at Becquerel ikke hadde vært førstemann til å registrere strålingen. *Sylvanus Thompson*, rektor ved Finsbury Technical College, hadde midt i februar oppdaget samme fenomen, men hadde ikke rukket å publisere noe om det før Becquerels rapporter ble kjent. Da han så forsøkte å få trykket en rapport, ble den refusert. Han fikk likevel lov til å legge den fram på møtet, men mer kom det ikke ut av det.

Selv fortsatte Becquerel en tid å undersøke strålingen nærmere. Han oppdaget strålingens evne til å ionisere luft og gjorde kvantitative målinger ved å se på utladningen av et gullbladelektroskop. Dette var før oppdagelsen av elektronet, og den vanlige oppfatningen var at stråling var det samme som "eterbølger", altså elektromagnetisk stråling. Denne tanken ledet Becquerel til å tolke noen av sine fotografiske bilder som resultat av refleksjon og brytning avstrålene. Han mente også å ha påvist polarisasjon. Oppdagelsene publiserte han som vanlig raskt. Men hverken han selv eller andre klarte å bekrefte resultatene. Etter at det var påvist at strålingen bestod av partikler, omtalte han tolkningen som optiske fenomener som villspor i sin forskning. Forøvrig var han på jakt etter en forklaring på hvordan den meget energirike strålingen oppstod. Sammenliknet med røntgenstrålingen var den likevel svak og så ikke ut til å ha noen praktisk betydning. Det kom bare enkelte rapporter som bekreftet oppdagelsen, og Becquerels egen interesse for videre studier på området avtok sterkt de to neste årene.

Radioaktiviteten blir kjent: Rutherford og Curie

I 1898 oppstod en ny situasjon. Ved Cavendish-laboratoriet i Cambridge hadde den unge *E. Rutherford* (1871–1937), som da arbeidet for J. J. Thomson og hadde vært med på hans eksperimenter ved oppdagelsen av elektronet i 1897, begynt å interessere seg for Becquerel-strålingen – for å få et felt for seg selv. Han konstruerte et ionisasjonskammer forbundet med et elektroskop og fikk et meget følsomt instrument som han brukte for å studere uranstrålingen. Høsten 1898 oppdaget han at den inneholdt to komponenter, en sterkt ioniserende, men lett absorberbar, som han kalte α-stråler, og en mer gjennomtrengende, men mindre ioniserende, som han kalte β-stråler. Samme sommeren hadde han fått et professorat ved McGill University i Montreal og flyttet dit om høsten, før han hadde kommet så langt at oppdagelsen kunne publiseres. Det ble først gjort våren 1899, og før det hadde Becquerel igjen kommet på banen etter at Marie Curie hadde oppdaget polonium og radium.

Pierre Curie (1859-1906) hadde tidlig gjort seg bemerket som en dyktig eksperimentalfysiker. Han hadde arbeidet med magnetisme, og han hadde konstruert et meget følsomt piezoelektrisk elektrometer. Han kjente Becquerel, og viste stor interesse for hans oppdagelse. Han var i 1985 blitt gift med *Marie Sklodowska* (1867–1934). Hun hadde studert fysikk og kjemi ved Sorbonne og hadde i 1897 fått et stipend for å undersøke magnetiske egenskaper i stål. Etterpå ønsket hun å komme i gang med et doktorgradsarbeide. Hun var av sin mann orientert om Becquerels oppdagelse og besluttet seg til å undersøke Becquerel-stråling, som strålingen da ble kalt. P. Curie underviste på den tiden ved Ecole de Physique et Chemie Industrielle, en nyopprettet teknisk skole. Han fikk stilt et kjellerrom ved skolen til hennes disposisjon. Der innredet de i slutten av 1897 et nokså kummerlig laboratorium. Etter å ha påvist strålingen fra uran, satte hun seg som mål å undersøke alle stoffer hun hadde tilgjengelig, for om mulig å finne noen som strålte på samme måte. I løpet av tre måneder hadde hun oppdaget at også thorium sendte ut stråling. Oppdagelsen ble publisert i Comtes Rendus 12. april. Tre dager senere kunne det leses i Annalen der Physik at tyskeren G. C. Schmidt hadde gjort samme oppdagelse. I løpet av året oppdaget hun også to nye grunnstoff som sendte ut stråling, polonium og radium. Hun kalte alle stoffene som sendte ut stråling for radioaktive, den betegnelsen som senere er blitt vanlig både for stoffene og for strålingen. Oppdagelsen av de nye stoffene, som hadde en aktivitet mange størrelsesordener høyere enn uran og thorium, ble avgjørende for studiet av radioaktivitet.

Becquerel var godt orientert om M. Curies arbeid, og bad om å få låne preparater av henne. Han oppdaget snart at strålingen fra polonium var mye mindre gjennomtrengende enn uranstrålingen, mens radiumstrålingen inneholdt både en gjennomtrengende og en lett absorberbar komponent. Før Rutherfords oppdagelse av α- og β-strålingen var kommet på trykk, var Becquerels oppdagelse av de to typene stråling rapportert til Vitenskapsakademiet og trykket i Comptes Rendus, men det var Rutherford som gav strålingstypene navn. Høsten 1899 påviste den tyske kjemiker F. Giesel at strålingen fra radium som han selv hadde framstilt, lot seg avbøye av et magnetfelt. Etter å ha blitt oppmerksom på Giesels oppdagelse fant Becquerel meget snart at β-strålingen fra radium ble avbøyd på samme måte som katodestråler, mens α-strålingen ikke så ut til å bli påvirket av magnetfelt. Året etter bestemte han ved å måle avbøyningen både i elektrisk og magnetisk felt, masse–ladningsforholdet m/e for β-strålingen til å være omtrent lik det J. J. Thomson hadde funnet for elektroner, mens hastigheten måtte være nær lyshastigheten.

P. Curie viste i 1901 at α-strålingen bestod av tyngre, positivt ladde partikler. Fremdeles lå Curie et hestehode foran Rutherford, som publiserte sine meget presise undersøkelser av masse og ladning til α- og β-strålingen i 1903.

Enda en oppdagelse skal Becquerel ha æren for. Han var den første til å beskrive indusert aktivitet. I 1900 klarte han å skille datterstoffene ^{234}Th og ^{234}Pa fra uran og registrerte at β-aktiviteten fulgte det utfelte stoffet. Atten måneder senere kontrollerte han resultatet og fant at uranen hadde gjenvunnet en del av sin β-aktivitet, mens datterstoffene hadde mistet sin. En publikasjon om dette i slutten av 1901, ledet Rutherford og Soddy til å foreta nærmere undersøkelser. Våren 1902 hadde de formulert loven for radioaktiv desintegrasjon.

Det er lite som tyder på at Becquerel så på andre som arbeidet med radioaktivitet, som konkurrenter. Han publiserte raskt det han fant, og noterte seg hva andre oppdaget, uten å blande seg inn i det. Den yngre Rutherford følte det derimot forsmedelig at fysikere fra de dårlig utstyrte franske laboratoriene stadig kom han i forkjøpet. Han visste at hans egne

resultater var oppnådd med bedre utstyr og blitt bedre matematisk behandlet enn Becquerels. Han trodde også at Becquerel var sjalu på ham av den grunn. "Det skal ikke vare lenge før jeg i full fart seiler inn i min gode venn Becquerel og reduserer ham til atomfragmenter om ikke til elektronikk," skal han en gang på den tiden ha sagt. Selv om han ikke oppnådde å "knuse" Becquerel, tok han meget snart ledelsen innen atomfysikk, og det er ikke uten grunn at det er Rutherford som kalles kjernefysikkens far. Becquerel hadde neppe noen forestilling om atomkjerner eller om hva som hender ved en transmutasjon. Hans håp var å finne en "naturlig" forklaring, en årsak til strålingen. M. Curies forskning som mer og mer ble preget av kjemi, interesserte ham lite. Kvinnelige forskere stod neppe høyere i kurs hos ham enn de gjorde hos de fleste vitenskapsmenn på den tiden.

Strålingens biologiske effekter

Bare én gang publiserte Becquerel og P. Curie et arbeid sammen. Ekteparet Curie oppdaget raskt at radium irriterte huden på fingertuppene, uten at det bekymret dem. Også andre kjemikalier gjorde det. Den første rapporten om fysiologiske virkninger av strålingen kom fra tyskerne Giesel og Walkholf i 1900. Da P. Curie fikk kjennskap til dette, la han et radiumpreparat under en bandasje på den ene armen. Etter et par timer var huden blitt rød, og noen dager senere hadde det utviklet seg et åpent sår som Curie nøt å vise fram til sine venner. Omtrent samtidig hadde Becquerel lånt en radiumkilde av M. Curie og puttet den i vestlommen sin. Til sin forferdelse oppdaget han noen dager senere at huden på brystet under vestlommen var tydelig irritert. Opphisset dro han til M. Curies laboratorium for å fortelle hva som hadde hendt. Samtidig gav han henne en skarp advarsel om å holde sin da fire år gamle datter Irene godt unna strålingen. Resultatet ble at de to herrene sammen skrev en rapport om stråleskadene. M. Curie, som var den som var mest plaget av utslett på fingrene, var ikke med på rapporten.

Etter dette innledet P. Curie et samarbeid med to leger, Bonchard og Balthazard, for å studere de biologiske virkningene på kaniner og andre dyr, og deretter på mennesker. I 1902 kom deres første rapport om strålenes evne til å ødelegge syke celler på dyr. Så fulgte både fra dem og andre en rekke rapporter om fjerning av utvekster og helbredelse av utslett og visse former for kreft. Selv om det langt fra var klart hvor store skadevirkninger man utsatte seg for ved behandlingen, skapte rapportene forventninger og ledet til utbredt anvendelse av "Curieterapi", dvs. bestråling med radium ved behandling av kreft, og til tro på radium som en vidundermedisin mot nesten alle slags sykdommer og som et forebyggende helsemiddel. Becquerel selv var skeptisk og engstelig for virkningen av den sterke, gjennomtrengende og energirike strålingen. "Jeg elsker radium, men stoffet knurrer mot meg," forteller Curies datter Eve at han engang sa.

En ny energikilde

Becquerel ble raskt klar over at det ble frigjort store energimengder ved den nye strålingen; og energien måtte et sted komme fra. All annen stråling: lys, katodestråler, røntgenstråler og radiobølger, krevde energi. Her oppstod energi tilsynelatende av seg selv. Problemet motiverte mye av hans forskning i tiden etter oppdagelsen. Han antok lenge at strålingen var en ny form for fluorescens hvor energi i en ukjent form strømmet inn fra verdensrommet. Etter oppdagelsen av radium, som avga mye mer energi, ble den forklaringen tvilsom. I 1899 skrev P. og M. Curie en artikkel hvor de foreslo som forklaring at energien kom fra atomenes indre, enten ved en transmutasjon indusert av ukjent ytre stråling, eller som ledd i en naturlig evolusjonsprosess med spontan transmutasjon av grunnstoffer. Forklaringene var i strid med teorien om atomenes uforanderlighet som var et resultatet av 100 års forskning. Men oppdagelsen av at den radioaktive strålingen bestod av ladde partikler, tydet på at den teorien ikke var absolutt holdbar.

I 1901 foretok Rutherford og McClung de første forsøkene på å bestemme energien eksperimentelt ved å anslå energien som trengtes for å danne et ionepar og måle ionestrømmen i et ionisasjonskammer som inneholdt et tynt belegg av uran. De bestemte energien til 0,13 J/g i året. Strålingen fra radium skulle da gi 23 J/g·h. To år senere bestemte P. Curie ved kaloriske målinger energien fra radium til ca. 400 J/g·h, omtrent halvparten av den verdien vi nå kjenner, men flere tusen ganger så mye pr. gram som det som blir frigjort ved kjemiske prosesser. Mengden av tilgjengelig radium var likevel altfor liten til at noen kunne tenke seg at man stod overfor en ny energikilde av betydning.

Nobelpris

Nobelprisen for 1903 ble delt i to. Den ene halvdelen gikk til Becquerel for hans oppdagelse av spontan radioaktivitet. Den andre halvdelen gikk til ekteparet Curie for deres felles forskning på de strålingsfenomenene som Becquerel hadde oppdaget. Delingen var naturlig. Røntgen hadde to år tidligere fått sin pris for en ny type stråling som med en gang hadde fått stor praktisk anvendelse. Becquerels oppdagelse fikk først anvendelse etter M. Curies oppdagelse av radium. At hun og hennes mann fikk sin halvdel sammen, hadde uten tvil å gjøre med en usikker vurdering fra komiteens side om hvor selvstendig hun hadde vært i sitt arbeid. På den andre siden hadde Pierre bidratt betydelig både som inspirasjonskilde og ved å utvikle måleutstyr som hun kunne bruke.

Bare Becquerel hadde anledning til å være til stede ved utdelingen. I sin Nobelpris-tale gjør han detaljert rede for sitt og andres arbeid med den nye strålingen. Her framhever han både Rutherfords og ekteparet Curies arbeider. Han nevner også at han da han gjorde sine første forsøk med avbøyning av β-stråler i magnetfelt, hadde lagt merke til at strålingen ble konsentrert ved polene i et ikke-homogent magnetfelt på samme måte som Kr. Birkeland hadde observert for katodestråler. Antagelig var dette samtidig ment som en honnør til Nobelkomiteen for deres berømte "landsmanns" dyktighet. Ved avslutningen av talen berører han også problemet med hvor den store energien kommer fra, men utdypet ikke sine tanker om det videre.

P. og M. Curie kom til Stockholm to år senere for at P. Curie, på ekteparets vegne, skulle holde den obligatoriske Nobelpris-talen. Da hadde M. Curie gjennom sine kjemiske studier kommet til at grunnstoffene ble transformert. De radioaktive seriene var stort sett kjente, og en visste at det for kortlivede datterprodukter var en sammenheng mellom dannelse og desintegrasjon. P. Curie slutter av dette at energien må være lagret i atomene. Han nevner også at Rutherford gjennom sine studier av α-prosesser var kommet til samme resultat. Og han skisserer interessante perspektiver for hvorledes den nye oppdagelsen kan komme til anvendelse i geologi, meteorologi, biologi og medisin. Han peker også på farene det innebærer om radioaktive stoffer skulle komme i hendene på kriminelle, og sammenlikner oppdagelsen i så måte med Nobels oppfinnelse av dynamitt. Antagelig var dette første gang Becquerels oppdagelse ble gitt slike perspektiver at en kunne få en anelse om den betydningen den skulle få.

Etter nobelprisen

Becquerel selv var for mye av en nøktern, forsiktig vitenskapsmann til å gi uttrykk for slike tanker som Curie presenterte i sin Nobelpris-tale. Han tenkte i den klassiske fysikks baner. Derfor kom hans forskning etter tildelingen av Nobelprisen til å ha liten betydning for utviklingen av kjernefysikk og radioaktivitet. Han fortsatte med luminescensstudier, særlig i forbindelse med radioaktive stoffer, og var opptatt av å finne måter å stimulere eller redusere strålingen på ved fysiske midler. I den forbindelse hadde han et samarbeid med H. Kammerlingh Onnes om stråling fra radioaktive stoffer ved lav temperatur, et arbeid som ble publisert etter hans død, og som også Jean Becquerel var med på.

Forøvrig bærer hans publikasjonsliste preg av at han var ensom i sin forskning. Utenom de to arbeidene som er nevnt, med P. Curie og Kammerlingh Onnes, hadde han noen få publikasjoner sammen med sin far og noen med sin sønn. Dessuten står undertiden en assistent som medforfatter. Men som regel opptrådte han som eneforfatter. Etter at han hadde fått Nobelprisen, kom hans forskning til dels i skyggen av annen aktivitet. Han hadde sine tre professorater med forelesningsplikter og administrative plikter. Han var også aktiv friluftsmann, bl.a. ivrig fjellklatrer. Han hadde fra 1906 det ærefulle verv å være en av Det franske vitenskapsakademiets to faste sekretærer. I 1908 ble han valgt til dets president, men døde kort etter uventet av hjerteinfarkt.

Becquerel kom i skyggen av dem som utforsket hans oppfinnelse. Da det i 1911 ble nødvendig å fastsette en enhet for radioaktivitet, ble det naturlig nok M. Curie som fikk i oppdrag av Meterbyrået å lage en standard radiumkilde, og enheten for aktivitet ble gitt navn etter henne. En curie, Ci, ble definert som aktiviteten av radon i likevekt med ett gram radium. Senere ble, bl.a. på grunn av målinger foretatt av Ellen Gleditsch, én curie funnet å tilsvare omtrent $3{,}7 \cdot 10^{10}$ desintegrasjoner per sekund, og i 1930 ble enheten definert slik. Enheten var altfor stor. Vanlige kilder var av størrelsen μCi. I 1950-årene ble enheten foreslått endret til 10^6 desintegrasjoner/s, som skulle kalles *rutherford*. Men så kom innføringen av SI. I 1975 ble den koherente SI-enheten, én desintegrasjon/s, gitt navnet *becquerel*, med symbol Bq. Da måtte en operere med megabec-

querel istedenfor mikrocurie. Den nye enheten var like mye for liten som den første hadde vært for stor. Da becquerel etter Tsjernobyl-ulykken i 1986, for første gang kom vanlige folk for øre, ble noen kilobecquerel presentert som en skremmende stor mengde stråling. Kanskje ville uroen omkring nedfallet blitt mindre om aktivitetene hadde vært angitt i nano- og pikocurie slik tilfellet var i 1960-årene.

Om noen vil kalle den berømmelsen Henri Becquerel på denne måten har oppnådd herostratisk, er det bare å beklage. Når hans navn igjen er blitt kjent, bør han bli respektert som den store eksperimentalfysikeren han var. Selv om resultatene av hans oppdagelse ennå på noen områder virker truende, må vi slutte oss til P. Curies håp om og tro på at den i det lange løp vil komme menneskeheten mer til gode enn til skade.

Litteratur

1. *Nobel Lectures in Physics 1901–1921.* Elsevier (1967)
2. J. Baarli: *Fra strålebiologiens historie.* Fra Fysikkens Verden **57**, nr 4, 104 (1995)
3. G. E. M. Jauncey: *Early Years of Radioactivity.* Am. Journ. Phys. **14** (1946)
4. A. Keller: *The infancy of modern physics: Hercules in his cradle.* Claredon (1983)
5. A. C. Pappas: *Energi via kjernekraft.* Fra Fysikkens Verden **55**, nr 2, 35 og nr 3, 69 (1993)
6. Diverse bøker om M. Curie.

Det foreligger så vidt vites ikke noen biografi i bokform av H. Becquerel eller Becquerel-familien.

∞

Elektrosvak fysikk ved LEP – Del I

Lars Bugge *

Denne artikkelen gir en beskrivelse av en del av de viktigste resultater som er oppnådd innen elektrosvak fysikk ved LEP (Large Electron Positron collider) ved CERN. Artikkelen er delt i to deler. Del I gir en innføring i Standardmodellens elektrosvake sektor. Dette er nødvendig bakgrunnsstoff for Del II, hvor de eksperimentelle resultater diskuteres. Del II vil bli trykket i neste nummer av FFV. Lesere som ønsker fullstendige referanser til originalarbeider henvises til ref. 1.

Innledning

I elementærpartikkelfysikken studeres teoretisk og eksperimentelt naturens minste byggestener og de kreftene som virker mellom dem. Den enkleste modellen som så langt er forenlig med alle eksperimentelle observasjoner kalles Standardmodellen (SM), eller Den Minimale Standardmodellen (MSM). Det ligger i det siste navnet at det også finnes utvidelser av SM. Grunnen til dette er at SM har svakheter som gjør at de fleste som arbeider innen elementærpartikkelfysikk ikke har tro på at den er den endelige teori. (Disse meget interessante forhold skal vi imidlertid bare i liten grad berøre i denne artikkelen.) Andre norske populære fremstillinger av partikkelfysikk kan finnes i ref. 2–8. Populære fremstillinger av forhold og fenomener i grenseland mellom partikkelfysikk og astrofysikk kan finnes i ref. 9–14. For en populær fremstilling av elementærpartikkelfysikken og dens historie, se ref. 15.

Standardmodellens byggestener er *kvarker* og *leptoner*. For oppbygging av verden omkring oss trenger vi to typer kvarker og leptoner. Dette viser seg også å være de letteste kvarkene og leptonene. De to kvarkene benevnes u og d, mens de to leptonene er elektronet, e, og elektron-nøytrinoet, ν_e. Det finnes flere kvarker og leptoner, det kommer vi tilbake til.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Med u- og d-kvarkene kan vi bygge de lette *baryoner* (partikler med halvtallig spinn bestående av tre kvarker) og *mesoner* (partikler med heltallig spinn bestående av en kvark og en antikvark). Kvarkene er selv fermioner (spinn 1/2). I enheter av protonladningen har u elektrisk ladning $+2/3$, mens d har ladning $-1/3$. Kvarkstrukturen til velkjente partikler som nukleonene er: protonet, $p = |uud>$ og nøytronet, $n = |udd>$. Med u- og d-kvarkene og elektronet kan det bygges opp atomer, og derved hele det periodiske system, det vil si alt som omgir oss. Introduksjoner til kvarkmodellen der disse forhold er beskrevet i stor detalj, kan finnes i f.eks. ref. 16–20. I denne artikkelen fokuseres det på kvarkenes og leptonenes elektrosvake vekselvirkning. (Kvarkenes sterke vekselvirkning skal vi bare i liten grad komme inn på.)

Svake krefter: β-prosesser

Hva så med elektron-nøytrinoet, hvilken rolle spiller det i verden omkring oss? Man kan si at forståelsen av nøytrinoet, og de reaksjoner der nøytrinoer deltar, har vært avgjørende for vår forståelse av de *svake vekselvirkninger*. Dette er krefter som er ansvarlige for den delmengden av radioaktive prosesser i atomkjernene som går under navnet β-henfall. Således kan man med en viss rett hevde at historien til de svake vekselvirkninger startet i mars 1896 da Henri Becquerel oppdaget radioaktiviteten. I motsetning til α-stråling, der atomkjernene sender ut heliumkjerner, resulterer β-prosessen i utsendte elektroner. Denne distinksjonen ble først gjort av Rutherford i 1899. De radioaktive prosessene forble i flere år et mysterium. Dette er ikke så merkelig når vi husker på at det ikke var før i 1911 at Rutherford lanserte sin atommodell. Niels Bohr var den første som, i 1913, foreslo at opprinnelsen til β-strålingen var inne i atomkjernen. Ved β-henfall går en atomkjerne med protontall Z og nøytrontall N over til en kjerne med protontall $Z+1$ og nøytrontall $N-1$ ved utsendelse av et elektron. Dersom reaksjonen ikke involverer flere partikler, skulle elektronets energi være monokromatisk med verdi gitt ved masseforskjellen mellom moder- og datterkjernen. Imidlertid viste det seg at elektronet *ikke* har dette monokromatiske energispektret, men tvert imot en kontinuerlig energifordeling fra null og opp til det maksimalt tillatte.

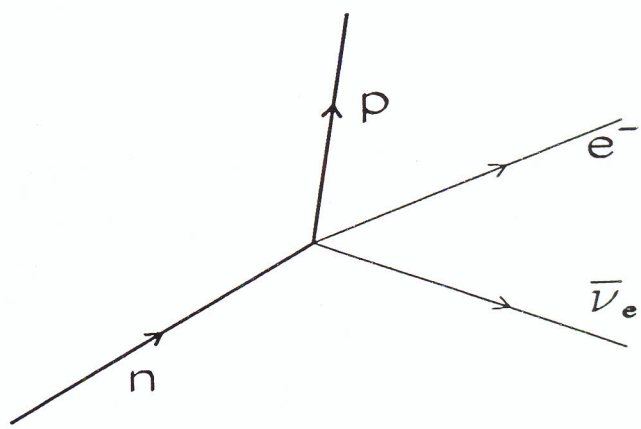
Dette kunne ha to forklaringer: Enten var ikke energien bevart i slike prosesser, eller det deltok en eller flere partikler i tillegg til elektronet, partikler som ikke ble observert i detektorene. Det virker kanskje overraskende på mange i dag at Niels Bohr var tilhenger av den første teorien. Det var imidlertid Wolfgang Pauli som først kom med den korrekte forklaringen. I et brev til en gruppe fysikere som var samlet til konferanse i Tübingen i 1930; postulerte han at energiregnskapet ble reddet av en lett, elektrisk nøytral partikkel som ble sendt ut sammen med elektronet. (I det samme brevet unnskyldte han seg forøvrig for ikke å være til stede på konferansen, men skyldte på et ball han heller ville delta på i Zürich!) Denne lette nøytrale partikkelen til Pauli er nettopp antipartikkelen til det som i dag går under navnet elektron-nøytrinoet. Vi kan nå formulere β-henfall av kjerne ${}^{Z}_{N}A$ på følgende måte:

$$ {}^{Z}_{N}A \rightarrow {}^{Z+1}_{N-1}A + e^{-} + \bar{\nu}_e \qquad (1) $$

Ett av kjernens nøytroner, n, er forvandlet til et proton p:

$$ n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e \qquad (2) $$

Denne prosessen er skjematisk skissert i figur 1.



Figur 1. β-prosessen i en approksimasjon der vekselvirkningen mellom de fire partiklene skjer i et punkt.

Punktvekselvirkningen som er fremstilt i figur 1, var nettopp utgangspunktet for Fermis teori for β-henfall. (Han tok utgangspunkt i kvante-elektrodynamikk (QED) der vekselvirkningen mellom et proton og det elektromagnetiske felt ble beskrevet som en vekselvirkning mellom en protonstrøm og det elekromagnetiske vektorpotensialet.) Fermi erstattet nå protonstrømmen med en nukleonstrøm, vektorpotensialet med en leptonstrøm og ladningen e med en ny fundamental koplingskonstant G. Nukleon- og leptonstrømmen er hva vi vil kalle *ladde strømmer*, fordi de beskriver overganger mellom to nukleoner (**p** og **n**) eller to leptoner (**e** og ν)

med forskjellig elektrisk ladning. (Konstanten G er bestemt til $G \approx 1,1 \times 10^{-5}\ GeV^{-2}$.)

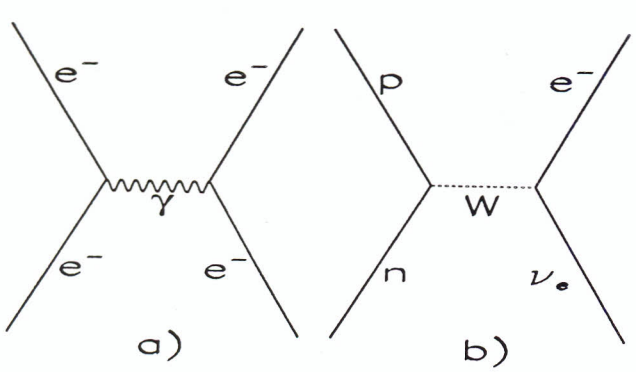
Det neste viktige skritt i utviklingen av teorien for de svake vekselvirkninger kom da Yukawa prøvde kvanteelektrodynamikkens meget vellykkete beskrivelse av elektrisk ladde partiklers elektromagnetiske vekselvirkning som en reaksjon der de utvekslet et feltkvant, fotonet, på andre vekselvirkninger. Først og fremst er vel hans arbeid kjent for forsøket på å beskrive nukleonenes sterke vekselvirkning ved hjelp av utveksling av en feltpartikkel, pimesonet. At feltpartikkelen i dette tilfellet, i motsetning til fotonet i QED, måtte ha masse, var nødvendig på grunn av kjernekreftenes korte rekkevidde. Også de svake krefter har kort rekkevidde. Fermi fikk til en god beskrivelse ved å anta at vekselvirkningen skjedde i ett punkt. Det er kanskje mindre kjent at Yukawa også foreslår at β-henfall formidles av et utvekslet feltkvant. Analogien mellom elektromagnetisk vekselvirkning og Yukawas foreslåtte mekanisme for β-henfall fremgår av figur 2. Der har vi foregrepet begivenhetenes gang og kaller det utvekslete feltkvant for W. Yukawas innføring av et massivt boson som feltkvant modifiserer Coulombpotensialet $V_{Coul.}(r) = \frac{e^2}{4\pi r}$ til Yukawapotensialet

$$V_{Yuk.}(r) = \frac{g^2}{4\pi r} e^{-M_W r}, \tag{3}$$

der g er en koplingskonstant som erstatter e i Coulombpotensialet. Dersom massen til W, M_W, settes meget stor, kan Yukawas potensial tilnærmes med en deltafunksjon:

$$V_{Yuk.}(r) \to \frac{g^2}{M_W^2} \delta^3(\mathbf{x}) \tag{4}$$

Diagrammet i figur 2b reduseres da til en punktkopling, som i Fermis opprinnelige teori (figur 1).



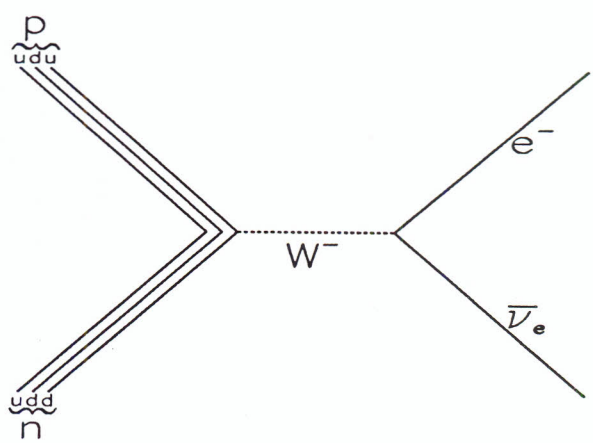
Figur 2. a): Elektromagnetisk vekselvirkning formidlet ved foton-utveksling. b): β-henfall formidlet ved W-feltpartikkelen.

Fermis konstant for β-henfall er nå gitt ved $G \sim \frac{g^2}{M_W^2}$. Dersom Yukawa hadde gjettet at koplingskonstanten g var av samme størrelsesorden som den elektromagnetiske koplingskonstanten e, $g \approx e$, kunne han ha anslått W-massen: $M_W \approx \sqrt{4\pi\alpha/G} \simeq 90 GeV$. ($\alpha = \frac{e^2}{4\pi} \approx 1/137$ kalles finstrukturkonstanten.) I dag vet vi at W-massen er ca 80 GeV. Det faktum at W-partikkelen først ble oppdaget i 1983 (ved CERN), viser hvilken dyp innsikt Yukawa hadde 50 år tidligere.

Beskrivelsen av β-henfall på elementærpartikkelnivå er følgende: Når en kjerne øker protontallet med én (likning (1)), er dette, som beskrevet i likning (2), fordi et nøytron går over til et proton, og dette skjer ved at en d-kvark under utsendelse av en W-partikkel går over til en u-kvark. W-partikkelen henfaller i sin tur til et elektron og et antinøytrino:

$$d \to uW \to ue\bar{\nu}_e \tag{5}$$

Dette er fremstilt i figur 3.



Figur 3. β-henfall på elementærpartikkelnivå i Standardmodellen.

Naturen er venstrevridd!

For bare noen tiår tilbake var fysikere flest overbevist om at naturen ikke gjorde forskjell på høyre og venstre. Med dette noe upresise utsagn menes at det var en vanlig oppfatning at dersom man betraktet en gitt prosess, skulle speilbildet av prosessen også kunne opptre, og det med samme sannsynlighet.

Imidlertid har det vist seg at dette ikke er tilfelle: De svake vekselvirkninger bryter denne speilbildesymmetrien som går under navnet *paritet*. Det var Lee og Yang som først foreslo at paritet ikke var bevart. Dette gjorde de for å kunne forklare at

Feynmandiagrammer

I denne artikkelen er figurene 2, 3 og 6 *Feynmandiagrammer*. Her bruker vi Feynmandiagrammene som en illustrasjon av hvordan prosessene foregår. I figur 2 tenker vi oss at tiden løper oppover, dvs. to elektroner kommer inn. De utveksler et foton, og fortsetter som to elektroner. I 2b kommer et nøytron og et nøytrino inn, en W utveksles, og et proton og et elektron fortsetter. For at dette skal beskrive β-henfall, må vi tolke det innkommende nøytrinoet som et utgående anti-nøytrino. Dette er en av *Feynmanreglene*: antipartikler beskrives som partikler som beveger seg bakover i tid.
Feynmandiagrammer er imidlertid mer enn en illustrasjon, sammen med et sett presist definerte Feynmanregler forteller de oss hvordan reaksjonssannsynligheten (amplituden) for prosessen kan beregnes. Amplituden beregnes som en sum over alle Feynmandiagrammer som en kan, eller ønsker, å ta hensyn til.
I Del II av artikkelen vil det bli vist eksempler på *høyere ordens diagrammer*, der det opptrer *løkker* av partikkellinjer inne i diagrammet.

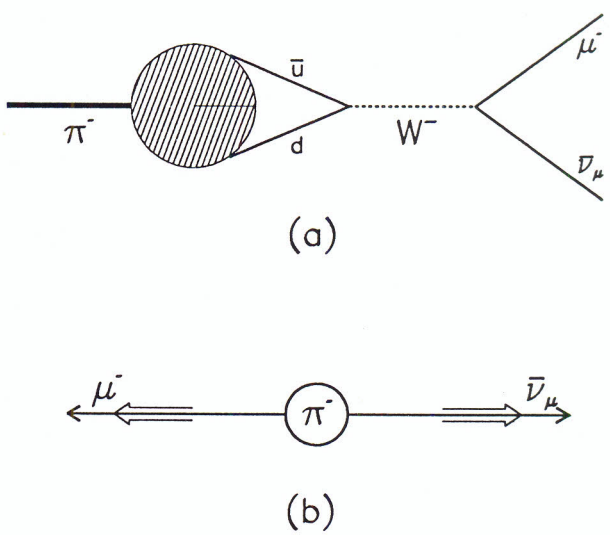
tilsynelatende samme partikkel kunne henfalle til to slutt-tilstander av motsatt paritet ($K^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-$ eller $\to \pi^+\pi^\circ$). Allerede året etter ble det vist eksperimentelt at speilbildesymmetrien ikke var respektert av de svake vekselvirkninger. Dette ble etablert ved det berømte kobolt-60 eksperimentet av Wu. Ved paritets-transformasjonen vil vektorer (polarvektorer) som posisjon $\bar{\mathbf{r}}$ og impuls $\bar{\mathbf{p}}$, skifte fortegn. Imidlertid vil komponentene til en spinnvektor $\bar{\mathbf{L}} = \bar{\mathbf{r}} \times \bar{\mathbf{p}}$ bestå av produkter av posisjons- og impulskomponenter som begge skifter fortegn, og derfor selv *ikke* skifte fortegn. (Slike kalles aksialvektorer.)

Skalarproduktet av en aksialvektor og en vektor, for eksempel $\bar{\mathbf{p}} \cdot \bar{\mathbf{L}}$, vil skifte fortegn under paritetsoperasjonen og kalles en pseudoskalar. En forutsetning for at pariteten er bevart i en gitt prosess, det vil si at prosessen og dens speilbilde er like sannsynlige, er derfor at alle observerbare pseudoskalarer har forventningsverdi null. Det Wu og samarbeidspartnere gjorde, var nettopp å vise at forventningsverdien til en pseudoskalar ikke var null, nemlig $< \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{I}} >$ der $\bar{\mathbf{v}}$ er hastighetsvektoren til elektroner fra ^{60}Co β-henfall, og $\bar{\mathbf{I}}$ er ^{60}Co-kjernenes spinnvektor. Elektronene viste altså en asymmetrisk intensitetsfordeling i forhold til kjernenes polarisasjonsakse. Det bør imidlertid nevnes at nesten 30 år tidligere, i 1928, rapporterte R. T. Cox og medarbeidere at de under studier av β-henfall hadde observert en annen pseudoskalar som ikke var null, nemlig $< \bar{\mathbf{p}} \cdot \bar{\sigma} >$, der $\bar{\sigma}$ er elektronets spinnvektor, det vil si at elektroner i β-henfall var polariserte. Imidlertid ble ikke dette resultatet tatt alvorlig av samtidens fysikere[21].

Vi skal kort nevne en annen type β-prosess der paritetsbrudd avsløres ved eksistensen av en pseudoskalar som ikke er null. Figur 4 viser hvordan SM beskriver pion-henfall til myon pluss anti-nøytrino:

$$\pi^- \to \mu^- + \bar{\nu_\mu} \qquad (6)$$

Vi kaller her nøytrinoet ν_μ. At dette faktisk er forskjellig fra elektron-nøytrinoet ν_e, ble eksperimentelt påvist i 1962, Det ble vist at nøytrinoer fra π-meson henfall (som er helt dominert av henfall til myon pluss (anti-)nøytrino) kun produserte myoner når de vekselvirket med materie. I motsetning til dette var det kjent at nøytrinoer fra β-henfall bare produserer elektroner, noe man kunne studere ved kjernereaktorer der det er en stor fluks av elektronnøytrinoer. I figur 4b er prosessen 6 skissert slik



Figur 4. a): Pimeson-henfall til myon og anti-myonnøytrino. **b):** Henfallet i pimesonets hvilesystem. Åpne piler viser partiklenes spinnkomponent langs impulsaksen.

den tar seg ut i pimesonets hvilesystem. Pimesonet har spinn null. Derfor må myonets og nøytrinoets spinnkomponenter langs bevegelsesretningen være motsatt rettet. Målinger viser at spinnenes retninger alltid er som på figuren, det vil si at de peker i bevegelsesretningen. Vi sier at det negative myonet og antinøytrinoet har *positiv helisitet*. I MSM har nøytrinoet masse null. Da er det umulig å tenke seg et koordinatsystem med en Lorentz-boost langs antinøytrinoets retning som 'tar igjen' antinøytrinoet og derfor gir et antinøytrino med negativ helisitet. Men dette må da bety at antinøytrinoet *alltid* har positiv helisitet. Dette ville også kunne forklare utfallet av kobolt-60 eksperimentet.

Justérteori: $SU(2) \times U(1)$

Fermis teori for β-henfall var på mange måter starten på utviklingen av det vi nå kaller den elektrosvake sektor av Standardmodellen. Blant hovedbidragsytere til denne utviklingen, kan nevnes Glashow, Weinberg, Salam, Iliopoulus og Maiani.

Fermi beskrev overgangen fra et nøytron til et proton ved en punktvekselvirkning mellom en nukleonstrøm og en leptonstrøm, se figur 1. Styrken på denne koplingen er gitt ved Fermis β-henfallskonstant G. Yukawa foreslo at β-henfalls-kraften (den svake kraften) ble formidlet av et feltkvant, på samme måte som den elektromagnetiske kraft i kvante-elektrodynamikk (QED) blir formidlet av fotonet, se figur 2. Imidlertid var det kjent at den svake kraften har meget kort rekkevidde, noe som svarer til at feltkvantet, som vi vil kalle W, har stor masse. Litt løselig kan vi forstå dette ut fra Heisenbergs uskarphetsrelasjon i energi og tid: En tung partikkel kan dannes uten ekstra energitilførsel dersom den eksisterer i et så kort tidsrom at den tilsvarende minste energi-uskarphet er større enn energien tilsvarende partikkelens hvilemasse. Når partikkelen må "låne energi" til sin eksistens på denne måten, kaller vi den en *virtuell partikkel.* Når feltkvantet er tungt, modifiseres Coulomb-potensialet, likning 3, og for meget stor masse på feltkvantet (i forhold til størrelsen på impulser på partikler som inngår i prosessen) kollapser potensialet til en deltafunksjon proporsjonal med den inverse kvadrerte feltkvantmassen (likning 4), og vi har effektivt en kopling mellom de fire partiklene i ett punkt. Fermis teori kan altså sees på som grensen av Yukawas teori når W-massen går mot uendelig.

Vi har også sett at nøytrinoer i β-prosesser alltid er venstredreiende, og at antinøytrinoer alltid er høyredreiende. Dette forhold ønsket man å benytte da en teori skulle konstrueres for de svake vekselvirkninger i analogi med QED. I QED er det et viktig prinsipp at siden fasen til partiklenes bølgefunksjoner ikke er fysisk observerbar, skal teoriens grunnleggende likninger være uavhengige av fasen. Nærmere presisert forlanges det at likningene ikke skal forandres om fasen til bølgefunksjonene endres. En konsekvens av dette kravet blir at det må eksistere et vektorboson (partikkel med spinn 1), som må gi opphav til bestemte ledd i de fundamentale likninger, og som selv må endre seg på en bestemt måte når bølgefunksjonenes fase endres. Dette vektorfeltet er nettopp fotonfeltet. I en viss forstand kan vi si at kravet om invarians overfor fase-endringer leder til eksistensen av fotonet.

Ser vi bort fra elektronmassen, og "skrur av" de elektromagnetiske kreftene, er det ingen forskjell på elektronet og nøytrinoet. Dette kan vi matematisk uttrykke ved å la elektronet og nøytrinoet spenne ut et plan, og kreve at fysikken skal være den samme uansett hvilke to innbyrdes ortogonale vektorer i dette planet vi kaller elektron og nøytrino. Vi innfører derfor i vår teori en dublett bestående av elektronet og elektron-nøytrinoet, e og ν_e, og krever at likningene skal være uendret om vi foretar en rotasjon i planet og således redefinerer e og ν_e. Nå viser det seg at for å bevare likningene uendret,

Grupper

For de svake vekselvirkninger i en masseløs approksimasjon er det ingen forskjell på elektronet og nøytrinoet dersom den elektromagnetiske kraft tenkes "avskrudd". Teoriens grunnleggende likninger kreves derfor å være invariante overfor rotasjoner av tilstander i det abstrakte todimensjonale rommet vi kan tenke oss utspent av vektorene $\begin{pmatrix} \nu_e \\ 0 \end{pmatrix}$ og $\begin{pmatrix} 0 \\ e \end{pmatrix}$. Dette rommet kalles det svake isospinnrommet. Ved rotasjon transformeres tilstandene ved todimensjonale, *unitære matriser* U. Det betyr at $U^\dagger U = \mathbf{1}$ der $U^\dagger$ er den komplekskonjugerte og transponerte matrisen til U og $\mathbf{1}$ er enhetsmatrisen. Videre har U determinant lik 1. U kalles da *spesiell.* Gruppen av slike matriser kalles $SU(2)$.

Imidlertid kan vi ikke ha en situasjon der fysikken er avhengig av at man alle steder foretar den samme rotasjonen. Man tillater derfor at rotasjonen som foretas i det abstrakte isospinnrommet kan være forskjellig fra punkt til punkt i det ordinære tidrom. En slik koordinatavhengig rotasjon kalles *lokal rotasjon.* Invarians av de fundamentale likninger overfor lokale rotasjoner i det svake isospinnrommet krever eksistensen av tre *vektorbosoner* (partikler med spinn 1), og gir koplinger mellom disse og fermionene (elektron og nøytrino).

I QCD studeres rotasjoner i det tredimensjonale rommet spent ut av de tre fargefrihetsgradene. Rotasjonsgruppen er i dette tilfellet gruppen av tredimensjonale unitære, spesielle matriser, $SU(3)$. Kravet om de fundamentale likningers invarians overfor lokale rotasjoner i fargerommet, leder til eksistensen av 8 vektorbosoner, *gluoner*, og gir koplinger mellom disse og kvarkene. Invarianskravet følger av at man ikke ønsker at fysikken skal være avhengig av det ikke-observerbare valg av koordinatsystem i det abstrakte fargerommet.

Som i QED kreves at den elektrosvake fysikken skal være uavhengig av feltenes uobserverbare fase. De fundamentale likninger er derfor invariante overfor faseendringer. Fasetransformasjonen tillates å være lokal i tidrommet. Gruppen som genererer slike faseendringer heter $U(1)$. Den består av komplekse tall med absoluttverdi 1.

må eksistensen av tre vektorbosoner, vi kaller dem W^+, W^- og W^3, legges inn i teorien, sammen med nye ledd i de fundamentale likninger, og en regel for hvordan disse nye feltene skal endre seg når e og ν_e roteres over i hverandre. Gruppen som matematisk beskriver slike todimensjonale rotasjoner er SU(2). Vi sier derfor at vi nå har oppnådd en teori som er invariant overfor SU(2)-rotasjoner. Kvantetallet som er assosiert med disse rotasjonene kaller vi *svakt isospinn*. Dette er et kvantetall som er analogt til kvantemekanisk spinn. Siden vi har to isotopiske spinn-tilstander, har e-ν_e-systemet isotopisk spinn 1/2, og vi definerer tredjekomponenten av det svake isospinn til å være $+1/2$ for ν_e og $-1/2$ for e. Innføringen av svakt isospinn er analogt til Heisenbergs innføring av (sterkt) isospinn for å beskrive de nær degenererte massetilstandene (protonet og nøytronet) av nukleonet. Imidlertid har elektronet en masse $m_e \neq 0$. Dette betyr at elektronet nødvendigvis må kunne observeres både som venstre- og høyre-dreiende. Dette kan forstås ut fra at det alltid vil være mulig å tenke seg et referansesystem som beveger seg fortere enn, og tar igjen, elektronet. Spinnet vil fortsatt ha samme omdreiningsretning, mens impulsen vil skifte retning, med andre ord vil elektronet skifte fra å være venstredreiende i laboratoriesystemet til å være høyredreiende i det nye referansesystemet, eller omvendt. Det innføres derfor også et høyredreiende elektron i teorien, men ikke noe høyredreiende nøytrino så lenge det antas at nøytrinoet er masseløst. Akkurat som i QED kreves det at likningene må være invariante overfor en endring i bølgefunksjonenes (både de venstre- og den høyredreiende) fase. Igjen leder dette til eksistensen av et vektorfelt, vi kaller det B, nye ledd i de fundamentale likningene og en bestemt regel for hvordan B endres når fasene endres. Gruppen som genererer fasetransformasjoner er U(1), og det tilsvarende kvantetallet kalles *svak hyperladning*. Teorien vår er nå invariant både overfor SU(2)-rotasjoner i det svake isospinnplanet og U(1) fasetransformasjoner. Denne totale invariansen beskrives ofte som invarians under SU(2)×U(1).

Inspiseres nå de fundamentale likningene for teorien, observeres koplingsledd som beskriver koplinger mellom elektroner og nøytrinoer ved hjelp av W^+ og W^-, og koplinger mellom elektroner ved hjelp av W^3 og B, samt koplinger mellom nøytrinoer, også ved hjelp av W^3 og B. Styrken av koplingene som involverer W-feltene er gitt ved en koplingskonstant g, mens styrken av koplingene som involverer B-feltet er gitt ved en koplingskonstant g'. Den spesielle kombinasjonen av W^3 og B som kopler til nøytrinoer, identifiserer vi med det svake vektorfeltkvantet Z^0. At en slik partikkel må finnes, ble klart da reaksjoner av typen

$$\begin{aligned} \bar{\nu_\mu} + e^- &\rightarrow \bar{\nu_\mu} + e^- \\ \nu_\mu + q &\rightarrow \nu_\mu + q \ , \end{aligned} \tag{7}$$

der q betegner en u- eller d-kvark, ble observert ved CERN i 1973. Ti år senere ble Z^0-partikkelen direkte eksperimentelt observert ved CERNs *SPS* $p\bar{p}$ kollisjonsmaskin.

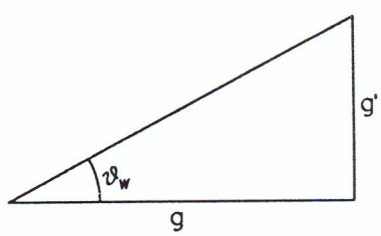
Vi definerer

$$\begin{aligned} \cos\theta_W &= \frac{g}{\sqrt{g^2 + g'^2}} \\ \sin\theta_W &= \frac{g'}{\sqrt{g^2 + g'^2}} \ , \end{aligned} \tag{8}$$

og kan da uttrykke Z^0 og det ortogonale feltet, A, som følger:

$$\begin{aligned} Z^0_\mu &= \cos\theta_W W^3_\mu - \sin\theta_W B_\mu \\ A_\mu &= \sin\theta_W W^3_\mu + \cos\theta_W B_\mu \ . \end{aligned} \tag{9}$$

Fra likning 8 ser vi altså at koplingskonstantene g for SU(2) isospinngruppen, og g' for U(1) hyperladningsgruppen, er relatert via den *svake miksevinkelen* θ_W som i figur 5. Feltet A_μ vil vi assosiere med



Figur 5. Sammenhengen mellom SU(2) og U(1), koplingskonstantene g og g', og den svake miksevinkelen θ_W.

det elektromagnetiske felt. Vi ser med dette at vi har fått etablert en teori som gir en felles beskrivelse av svake og elektromagnetiske krefter, en *elektrosvak* teori. Størrelsen av θ_W gis ikke av teorien, så den må bestemmes eksperimentelt (se Del II av artikkelen).

Teorien har så langt imidlertid en avgjørende svakhet: Den omhandler bare masseløse partikler. Dette er i åpenbar kontrast til eksperimentelle kjensgjerninger. Det viser seg at dersom eksplisitte masseledd av den typen man kjenner fra Klein–Gordon teori (for vektorbosonene)

og fra Diracteori (for elektronene), inkluderes direkte i teoriens fundamentale likninger, mistes SU(2)×U(1)-invariansen som er hele teoriens grunnlag. Derfor må en annen mekanisme for introduksjon av masse finnes. Løsningen var å innføre en ny dublett av komplekse felt, kalt *Higgsfeltet*, i alt fire reelle felter. Det er da enkelt å konstruere en kopling mellom denne dubletten, e–ν_e-dubletten og elektronsingletten som er invariant under de aktuelle transformasjoner. Ved å kreve at energien til feltet i grunntilstanden har en verdi som er forskjellig fra null, og ved å velge en helt bestemt retning på feltet i isospinnplanet, oppstår det boson- og fermion-masseledd i de fundamentale likningene for teorien. Fotonfeltet, derimot, forblir masseløst. Dette er en konsekvens av den helt bestemte retningen som ble valgt for Higgsfeltets grunntilstand i det svake isospinnplanet. Det at Higgsfeltets grunntilstand *ikke* er invariant overfor SU(2)-rotasjoner, kalles et *spontant symmetribrudd*. De masseløse vektorpartiklene kan bare være transverst polarisert (som fotonet). Når de nå får masse, får hver av dem en ny frihetsgrad, nemlig longitudinell polarisasjon. Man kan litt løselig si at av de fire reelle feltene som Higgs-dubletten består av, går tre med til de tre nye frihetsgradene (longitudinell polarisasjon for W^+, W^- og Z^0), mens den fjerde opptrer i teorien som en ny partikkel, *Higgs-bosonet*. Man har ingen garanti for at denne såkalte *Higgs-mekanismen* er den riktige måte å generere masse på. Det er derfor intens aktivitet i gang, blant annet ved LEP, for å lete etter et slikt boson. Denne letingen er vanskelig fordi Standardmodellen ikke sier hvilken masse Higgs-bosonet får. Dette blir igjen opp til eksperimenter å bestemme. Men først må altså eksistensen av Higgs-bosonet påvises!

Hvis vi ser bort fra massene av teoriens fermioner, inngår følgende parametre i den elektrosvake teorien: De tre koplingskonstanter, e, g og g', to vektorbosonmasser M_W og M_Z, den svake miksevinkelen θ_W og Higgsfeltets vakuum-forventningsverdi v. Imidlertid er ikke disse parametrene uavhengige. Det eksisterer relasjoner som binder dem sammen. En av disse relasjonene forbinder de to vektorbosonmassene via den svake miksevinkelen:

$$M_Z^2 = \frac{M_W^2}{cos^2\theta_W} \qquad (10)$$

mens en annen relasjon forbinder vakuum-forventningsverdien v med W-massen, miksevinkelen og den elektromagnetiske koplingskonstanten:

$$v = 2M_W\sqrt{\frac{\sin^2\theta_W}{e^2}} \qquad (11)$$

Når den elektromagnetiske vekselvirkning identifiseres i de fundamentale likningene, kan dessuten følgende viktige sammenheng mellom koplingskonstantene leses ut:

$$e = g\sin\theta_W = g'\cos\theta_W \qquad (12)$$

En ytterligere sammenheng fremkommer når myonhenfall til elektron og nøytrinoer (se figur 6) beskrives i en tilnærmelse der det utnyttes at W-massen er meget stor sammenliknet med myonets masse, og det sammenliknes med Fermis teori som uttrykker henfallsraten ved en presist bestemt konstant G_F og likning 15):

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{e^2}{8M_W^2\sin^2\theta_W} \qquad (13)$$

(Faktoren $\frac{1}{\sqrt{2}}$ inngår i definisjonen av G_F av historiske grunner.)

Løpende koplingskonstanter

Populært (og upresist) kan man si at det forhold at koplingskonstanter endrer verdi avhengig av energien de måles ved, har sammenheng med skjermingseffekter som igjen skyldes vakuumfluktuasjoner. Et elektron vil stadig sende ut og absorbere fotoner. Fotonene kan danne meget kortlivede (virtuelle) e^+e^--par. Disse vil polariseres i feltet fra moderelektronet. En ladd partikkel som passerer, vil ha et mindre antall slike virtuelle par mellom seg og elektronet jo nærmere det passerer. Nærmere passasje svarer til høyere impulsoverføring, og dette svarer altså igjen til mindre skjerming fra de virtuelle parene og derved høyere effektiv elektronladning. Det er denne effekten som er ansvarlig for at finstrukturkonstanten α øker fra ca 1/137 ved lave energier til omtrent 1/128 ved LEP-energier. Da er det også tatt hensyn til effekter fra svak vekselvirkning, som for eksempel at fotonet i tillegg til elektronpar kan produsere (virtuelle) W^+W^--par.
Den sterke koplingskonstanten α_S, som gir styrken på kvark-vekselvirkninger, er også avhengig av størrelsen på de involverte impulsoverføringer. Men her emitterer og absorberer moderkvarken gluoner og ikke fotoner. Gluonene bærer selv fargeladning. Svært forenklet kan vi si at de emitterte gluoner bidrar til å fordele moderkvarkens fargeladning ut i rommet, og at et prosjektil vil se *mindre* effektiv fargeladning jo nærmere det kommer. Derfor får skjermingseffekten i kvarktilfellet motsatt fortegn i forhold til QED-tilfellet: Den sterke koplingen blir *svakere* ved høyere impulsoverføringer. For eksempel avtar α_S fra omkring 0,36 ved energier tilsvarende τ-massen (1,8 GeV), til omtrent 0,12 ved LEP-energier (ca 90 GeV).

Tar vi hensyn til relasjonene 10–13, er det bare tre av parametrene som er uavhengige. Siden mange av de størrelsene vi kan måle ved LEP avhenger av en eller flere av parametrene, skjønner man at eksperimenter ved LEP sammen med de gitte relasjonene gir enestående muligheter for tester av Standardmodellen. Dette er emnet for Del II av denne artikkelen.

Generalisering til tre generasjoner kvarker og leptoner

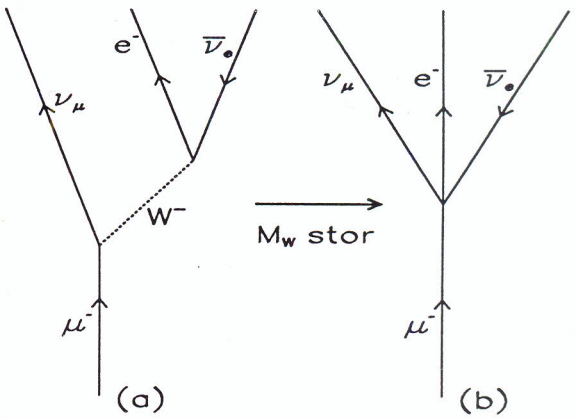
Vi har i det ovenstående sett på en teori for elektronet og elektron-nøytrinoet. Uten å gå i detalj slår vi fast at en tilsvarende beskrivelse kan gis av den svake isospinn-dubletten bestående av u- og d-kvarkene. (Ingen av dem er masseløse, så de vil begge ha en høyrehendt singlett i tillegg til dubletten.) Vi vet at i tillegg finnes i naturen ytterligere to ladde leptoner (μ og τ) med hvert sitt nøytrino (ν_μ og ν_τ) og to kvarker med ladning +2/3 (c og t) og to med ladning -1/3 (s og b). Av disse ble den tyngste, t-kvarken, påvist i 1995, med en masse på omkring 190 protonmasser! Disse nye leptonene og kvarkene inkluderes som dubletter og singletter i teorien helt analogt til måten det gjøres på for e, ν_e, u og d. Det totale fermionspektret blir da som følger, når generasjonene telles fra de letteste og oppover, og vi ikke skriver opp de høyredreiende singlettene:

Leptoner :	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$
Kvarker :	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L$
Generasjon :	1	2	3

(14)

Myonhenfall

De fundamentale likninger vil nå inneholde ledd som involverer alle fermionene. For prosesser der de involverte impulser er mye mindre enn W-massen, kan fysikken uttrykkes i en effektiv teori analog til Fermis teori for β-henfall der leptonstrømmene vekselvirker i et punkt. Antakelsen om små impulser sammenliknet med W-massen er gyldig for myonhenfall, der et myon henfaller til et elektron pluss to nøytrinoer, og fører oss fra en beskrivelse som i figur 6a til 6b. Styrken av denne prosesen er gitt



Figur 6. Myonhenfall. **a):** Feynmandiagram for prosessen i SM, der myon- og elektron-strømmene vekselvirker ved W-utveksling. **b):** Den effektive fire-fermion punktkoplingen som er en god effektiv beskrivelse siden W-massen er stor sammenliknet med de involverte impulser.

ved Fermis koplingskonstant for myonhenfall, se likning 13, som knytter standardmodellens parametre M_W og $\sin^2\theta_W$ sammen via den eksperimentelt meget presist bestemte konstanten G_F,

$$G_F = 1,16639 \times 10^{-5}\ GeV^{-2}\ . \qquad (15)$$

La oss i tillegg til denne verdien benytte W-massen,

$$M_W = (80,41 \pm 0,18)\ GeV/c^2 \qquad (16)$$

til å få et overslag over størrelsen av den svake miksevinkelen. Vi finner $\sin^2\theta_W = \frac{\sqrt{2}4\pi\alpha}{8G_F M_W^2} = 0{,}215$ når vi for finstrukturkonstanten α bruker verdien 1/137. Imidlertid vil vi i LEP-sammenheng være interessert i verdien av $\sin^2\theta_W$ ved energier tilsvarende Z^0-massen. Da viser det seg at finstrukturkonstanten har en annen verdi, $\alpha(M_{Z^0}) \approx 1/128$ (se boks om løpende koplingskonstanter). Bruker vi denne verdien, finner vi $\sin^2\theta_W = 0{,}230$.

Før vi forlater myonhenfall, skal vi legge merke til strukturen av SM-beskrivelsen av denne prosessen. Vi ser av figur 6a at beskrivelsen ved hjelp av ladde svake strømmer som kopler via W-feltet, leder til bevaring av hva vi kan kalle *lepton-tallet*. Vi definerer leptontallet som $L = 1$ for leptoner (e^-, ν_e, μ^-, ν_μ, τ^-, ν_τ) og $L = -1$ for antileptoner (e^+, $\bar{\nu}_e$, μ^+, $\bar{\nu}_\mu$, τ^+, $\bar{\nu}_\tau$). Prosessen $\mu^- \to e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu$ vil da ha $L = 1$ både i initial- og slutt-tilstanden. Vi kan gå videre og definere et leptontall separat for hver generasjon, L_e, L_μ, og L_τ, og ser at de ladde svake vekselvirkingene bevarer også disse. (I

eksemplet ovenfor er både $L_\mu = 1$ og $L_e = 0$ bevart i prosessen.) Bevaring av leptongenerasjonstallene er typisk for MSM med masseløse nøytrinoer, men det er lett å konstruere utvidelser av MSM som ikke respekterer disse. Derfor er det interessant å søke etter reaksjoner der leptontall ikke er konservert. En eventuell observasjon vil vise at det er ny fysikk utover den minimale Standardmodellen.

Litteratur

1. L. Bugge: *Hva lærer vi om elektrosvak fysikk ved LEP?* Rapport, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, UIO/PHYS/95-11 (1995)
2. A. Salam: *Naturens krefter – Kan de forenes?* FFV **54,** nr. 2, 36 (1992)
3. P. Osland *Partikkelfysikk – Teorier og modeller.* FFV **50,** nr. 1, 6 (1988)
4. J. O. Eeg: *Standardmodellen – Det endelige svar?* FFV **50,** nr. 1, 11 (1988)
5. C. A. Lütken Jr.: *Strengteori – Teorien for alt?* FFV **50,** nr. 1, 19 (1988)
6. G. Løvhøiden og T. F. Torsteinsen: *Kvark-Gluonplasma – Jakten på urstoffet.* FFV **50,** nr. 2, 43 (1988)
7. E. Lillestøl: *CERN forener krefter.* Forskningsnytt **29,** 5 (1984)
8. J. M. Leinaas: *Det aktive vakuum.* Forskningsnytt **29,** 10 (1984)
9. C. Jarlskog: *Universet – en boble i et hav av bobler?* Forskningsnytt **29,** 16 (1984)
10. R. Stabell: *Det tidlige univers – Der partikkelfysikk, kjernefysikk og astrofysikk møtes.* FFV **50,** nr. 1, 3 (1988)
11. S. O. Sørensen: *Himmelske partikkelakseleratorer – Cygnus X-3 og Herkules X-1* FFV **51,** nr.3, 62 (1989)
12. S. O. Sørensen: *Mørk materie.* FFV **52,** nr. 3, 57 (1990)
13. S. O. Sørensen: *Opprinnelsen til kosmisk stråling - Del I.* FFV **57,** nr.2, 37 (1995)
14. S. O. Sørensen: *Opprinnelsen til kosmisk stråling - Del II.* FFV **57,** nr. 3, 69 (1995)
15. G. Fraser, E. Lillestøl og I. Sellevåg: *The Search for Infinity; solving the mysteries of the Universe.* Reed International Books Ltd. (1994)
16. F. E. Close: *An introduction to quarks and partons.* London: Academic Press (1979)
17. I. S. Hughes: *Elementary particles.* Cambridge University Press (1985)
18. D. H. Perkins: *Introduction to high energy physics.* Reading, Mass., Addison-Wesley (1987)
19. O. Nachtmann: *Elementary Particle Physics. Concepts and Phenomena.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1990)
20. B. R. Martin and G. Shaw: *Particle physics.* London, Wiley (1992)
21. E. Segrè: *Nuclei and Particles.* W. A. Benjamin, Inc., 346 (1965)

∞

Oliver Lodge oppfant radioen i 1894

Olav Steinsvoll *

Innledning

UNESCO har valgt året 1995 som 100-årsjubileum for radioen, men i lys av de historiske fakta burde dette jubileet ha funnet sted i 1994! Den 1.01.1894 døde professor Heinrich R. Hertz (født 1857) som følge av en tragisk blodforgiftning fra en tannbyll. Professor i fysikk ved Universitetet i Liverpool, Oliver Lodge (1851–1940), ville våren 1894 holde en minneforelesning om Hertz som var den første som hadde produsert og studert egenskapene til elektromagnetiske svingninger. Dette skjedde ved Universitetet i Karlsruhe i 1887/88. Hertz fant fullt samsvar med de Maxwellske likningene både når det gjaldt bølgenes transmisjon, refleksjon, refraksjon og diffraksjon fra legemer, og han målte også bølgelengdene. Lodge hadde faktisk sjøl begynt å lage eksperimentelt utstyr for å etterprøve Maxwells teori i begynnelsen av 1888, men måtte innfinne seg med at Hertz kom ham i forkjøpet.

Under minneforelesningen ville Lodge også demonstrere Hertz' eksperimenter, og i den anledning så han seg om etter en forbedring av Hertz' mottakerutstyr. En viss professor Eduard Branly (1844–1940) i Paris, hadde i 1890 funnet opp noe han kalte en "radio conductor", en innretning som ble ledende under innvirkning av elektriske utladninger (elektromagnetiske svingninger) i nærheten. Lodge forbedret Branlys "conductor" idet han innesluttet jernspon (pulver) i et glassrør med en ledende forbindelse i begge ender, og han kalte denne konstruksjonen en "coherer". Denne enheten gikk inn i Lodges mottaker sammen med en resonanskrets som hadde kuler i begge ender. Han hadde også satt inn en krets over kohereren drevet av et ekstra batteri som inneholdt en såkalt "Wagners hammer" (= vårt enkle ringeapparat for likestrøm) slik at kohereren ble ristet og dermed nullstilt mellom hvert signal fra senderen.

Figur 1. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894)

Minneforlesningen ble en suksess

Minneforelesningen fant sted 17. april 1894, og Lodge brukte Hertz' radiosender (= Rumkorffs induksjonsapparat over et gnistgap knyttet til en enkel resonanskrets) og sendte signaler tvers over salen, ca 40 meter. Forelesningen og demonstrasjonen ble en stor suksess og vakte stor oppsikt. Den ble derfor gjentatt 25. mai. Lodge hadde da forbedret utstyret litt og sendte signaler gjennom tykke murer i huset. På en konferanse som fant sted den 1. juni samme året, understreket Lodge viktigheten av resonans mellom sender og mottaker (som han kalte "syntonie"). Han understreket da muligheten av å omgjøre de svake elektromagnetiske signalene til en stabil og kraftigere elektrisk strøm som kunne aktivere en morseskriver. I stedet for morseapparat, brukte han på dette tidspunkt et galvanometer som slo ut i takt med signalene.

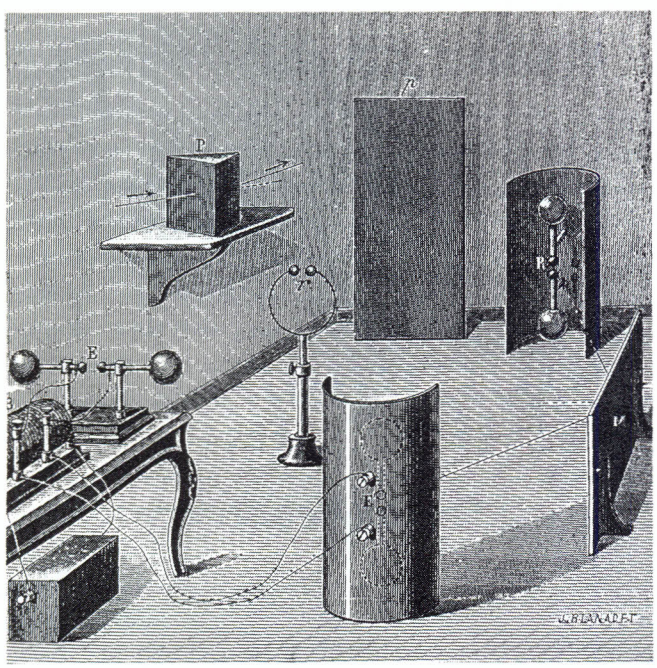
*Institutt for energiteknikk, Kjeller.

Invitasjon til nye forelesninger

På et fysikermøte i Oxford, 14. august 1894, viste Lodge at signalene fra en sender med morsenøkkel plassert i Clarendon Laboratory kunne mottas av en mottaker med en morse strimmelskriver i Oxford Museum, der han holdt sin forelesning. Trådløse meldinger hadde da gått 50 m og passert flere tykke steinmurer. Alle i salen var klar over at de hadde sett en oppfinnelse med store industrielle og samfunnsmessige muligheter. Radioen var oppfunnet! Lord Raleigh oppfordret Lodge til å utvikle sin oppfinnelse videre med tanke på praktiske anvendelser, men Lodge mente tydeligvis at hans oppgave bare var å påvise de vitenskapelige sammenhenger og betingelser. Kommersiell utnytting var ikke hans bord. Han skrev også en bok om sine eksperimenter med radioen, som fikk stor utbredelse.

Popov, Righi og Marconi

Ryktene om Lodges eksperimenter og bok spredde seg raskt over Europa. Professor i fysikk ved Universitetet i St. Peterburg, A.S. Popov (1859–1906),



Figur 2. Hertz' eksperimenter populært framstilt i et ukeblad i 1891. Vi ser induksjonsapparatet med et gnistgap til venstre. Senderresonanskretsen består av de to metallkulene og forbindelsesrørene mot gnistgapet. En annen senderkrets står inne i en sylindrisk metallreflektor midt på bildet. En identisk mottakerkrets står inne i en annen sylindrisk metallreflektor i en viss avstand. Det er antydet at bølgene kan reflekteres fra en metallskjerm til høyre. I et prisme av bek, på ei hylle, kan en få refraksjon av bølgene.

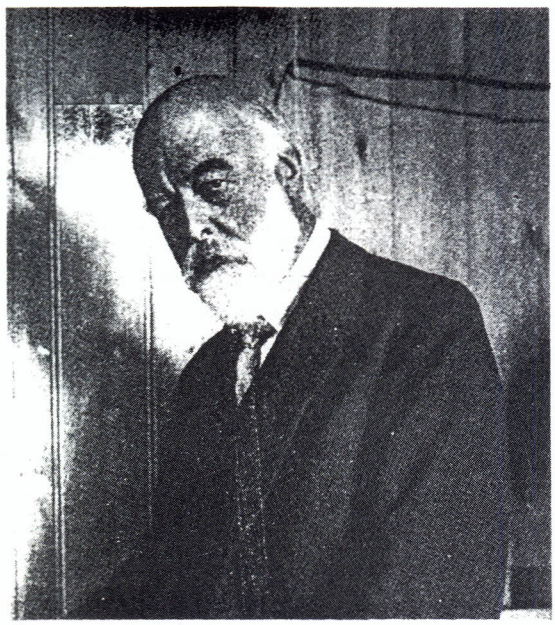
startet i 1895 sine egne eksperimenter. Han fant at rekkevidden av signalene økte betraktelig ved at han koplet apparatene til en lang ledning som ble holdt oppe av en luftballong. Ved dette eksperimentet sendte han navnet "Heinrich Hertz" i morse over en avstand på 250 meter.

Ryktene om Lodges eksperimenter fikk også fysikkprofessoren A. Righi i Bologna, til å eksperimentere og holde forelesninger om Hertz og Lodge i 1894/95. Den unge Guglielmo Marconi (1874–1937) gikk på Righis forelesninger, og han begynte å eksperimentere på farens gods i Pontecchio, der han brukte Lodges mottaker med koherer og en radiosender-versjon utviklet av Righi. Da han også fikk høre om Popovs resultater, koplet han utstyret til "antenner" (italiensk). Noe seinere prøvde han med en jordledning i tillegg, og fikk dermed en stor dipol mellom antenne og jord. På denne måten økte også bølgelengden, og hindringer som trær, hus og åser kunne passeres uten vansker.

Etter å ha blitt avvist av den italienske marinen, reiste Marconi til London med sine apparater i februar 1896, og ble mottatt med åpne armer av sjefsingeniøren i det britiske postvesen, William Preece. Marconi sendte i all hemmelighet en patentansøkning på "sitt" apparat den 2. juni 1896. Preece ordnet med en demonstrasjon for det britiske admiralitetet ved Salisbury Plain, i september samme året. Etter denne kunngjør Preece på et fysikermøte i Liverpool, at "en helt ukjent italiener" hadde konstruert et nytt utstyr for sending og mottaking av radiobølger. Denne meldingen kom noen timer etter at Lodge på det samme fysikermøtet hadde demonstrert sin siste utgave av et perfekt fungerende sender/mottaker opplegg for morse sammen med den unge Ernest Rutherford og Satyendra Nath Bose. Det er klart at Oliver Lodge og hans venner ble bestyrtet over innstillingen til Preece overfor "den italienske eventyreren" Marconi. Apparatene til Marconi var satt sammen av komponenter tatt fra Lodge, Popov og andre.

Preece lurer Lodge

I tiden som fulgte fortsatte Preece å anbefale Marconis utstyr overfor britiske myndigheter. Toppen av denne striden kom på et møte i Royal Institution, 3. juni 1896, der Preece frakjenner Lodge enhver prioritet angående oppfinnelsen av radioen. Vi ser her en typisk konflikt mellom den naive vitenskapsmannen Oliver Lodge, som nærmest hadde stilt sin oppfinnelse til menneskehetens disposisjon, og kom-

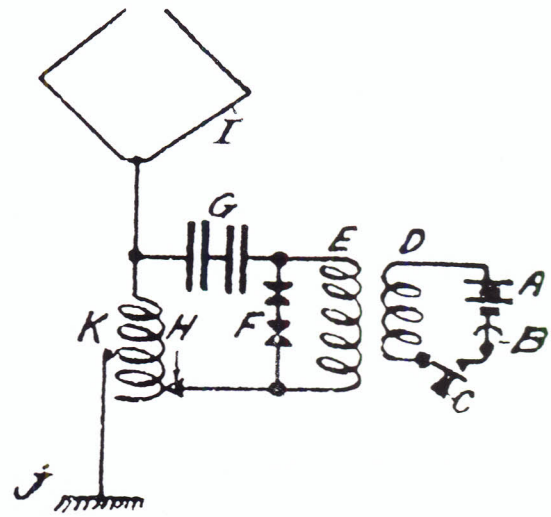


Figur 3. Oliver Lodge (1851–1940)

mersielle interesser som på underfundig måte ønsket å tilrive seg æren og monopolisere utviklingen for å oppnå mest mulig profitt. Lodge forble passiv til utpå våren 1897 da han den 10. mai søkte om patent på radioprinsippet med spesiell omtale av "syntonie" mellom radiosender og mottaker. Patentet ble godtatt av de britiske myndigheter. I mellomtiden hadde Marconis kompani begynt å vokse og leverte radioutstyr til marinen i diverse land.

Marconi Co får vansker

Det skulle vise seg å bli vanskelig å anvende de uavstemte apparatene til Marconi. Marinen i USA oppdaget at senderne på forskjellige båter forstyrret hverandre under sambandsøvelser i 1899. Marconi Co var klar over at Lodge hadde patentert løsningen på dette problemet tidligere, men søkte likevel om patent på det samme prinsippet i mars 1900, og bygde uten videre denne delen inn i sine nye apparater. Lodge ventet til 1911 før han tok rettslig aksjon mot Marconi og søkte samtidig om forlengelse av sitt godkjente patent fra 1897 for enda 7 år framover. Dette ble igjen godtatt av patentmyndighetene, og det kom til forhandlinger mellom partene ettersom patentet nå blokkerte Marconi. Resultatet ble at Marconi Co kjøpte Lodges patent og ansatte Lodge som konsulent, uten at han noen gang ble konsultert! Av frykt for å måtte betale noe til Lodge og hans venner, hadde Marconi Co hatt som prinsipp å ikke anerkjenne at de sto i noen som helst takknemlighetsgjeld til Oliver Lodge. Men i 1943 avgjorde USAs høyesterett at Marconi Co bare hadde ett eneste gyldig patent, nemlig det som de hadde kjøpt av Lodge i 1911! Propagandaen har i alle år gått på at det var Guglielmo Marconi som "oppfant den trådløse", men alle de hemmelig innsendte patentsøknadene gjennom åra var altså ikke blitt godkjent fordi konstruksjonene var beskrevet og vist offentlig av andre før søknadene kom. Et vesentlig bidrag til Marconis suksess var bruken av antenne, jordledning og lange bølgelengder.



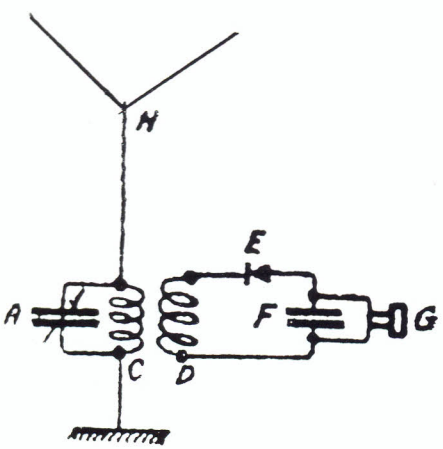
Figur 4. En enkel gnistsender fra 1903 som var brukt i sambandet Sørvågen–Røst, åpnet 1906. Dette var det første radiosambandet i Norge. Ved hjelp av et induksjonsapparat, $ABCD$, blir det bygd opp en høy spenning over gnistgapet ved F. Dette er en del av en svingekrets med en spole, K, og en kondensator, G. Svingekretsen er koplet til antenne/jord, I og J. En gnist fører til at svingekretsen blir lukket og en får et tog av dempete svingninger av høy frekvens som gjentas for hver gnist med en lavfrekvent takt. Vi finner igjen Hertz' og Lodges grunnskjema.

Marconi fikk Nobelprisen i 1909

Vi må med rette gi Guglielmo Marconi og hans firma æren for så raskt å ha utviklet radioen kommersielt til det hjelpemiddel den skulle bli, f.eks. ved kommunikasjon og redningsoperasjoner til sjøs. Han tok radioen ut av fysikklaboratoriet og satte den inn i det praktiske liv, og han ble berømt for sine lange, høye antenner, som gjerne var en metalltråd festet til en drake! Marconi var en ung, pågående og entusiastisk industrialist med de rette forbindelsene og penger i ryggen, men det var smålig å ikke erkjenne at han bygde på den fysiske innsikten som Lodge, Righi og Popov hadde brukt for å løse pro-

blemene året før han kom på banen. Lodge hadde fiender i det britiske "establishment" som førte til at han ikke ble "profet i sitt eget land".

Den tyske fysikeren Ferdinand Braun (1850–1918) så snart svakhetene ved Marconis opprinnelige sender og forbedret utstyret ved å sette inn en ekstra svingekrets i antennedelen. Med dette utstyret kunne Marconi nå sende radiosignaler over avstander på flere titalls kilometer. I 1901 lyktes hans eksperiment med å sende signaler tvers over Atlanterhavet. Dette ble visstnok på forhånd latterliggjort av kompetente fysikere som mente at jordkrumningen ville umuliggjøre dette, men de visste jo ikke at det fantes et ionisert luftlag som reflekterte radiobølgene. Marconi var faktisk ganske heldig fordi det i 1901 var solflekk-minimum. I 1909 fikk Guglielmo Marconi Nobelprisen i fysikk for sine kommunikasjonseksperimenter sammen med F. Braun. Oliver Lodge ble bare "Sir".



Figur 5. En enkel mottaker med koherer, her framstilt som en diode, ved E. Når kohereren ledet, ble en morse strimmelskriver aktivert. Seinere, da slukkegnistbaner ble innført, kunne en ta signalene inn som toner på høretelefoner.

Inntil 1908 var mottakingen av morsesignalene vanskelig fordi de lød som en slags kvesing eller spraking i høretelefoner og kunne lett forsvinne i atmosfærisk støy. En brukte derfor morse strimmelskrivere som ble aktivert av koherere. M. Wien (1888–1938) innførte en ny gnistbane slik at de utsendte svingningene ble amplitudemodulert ("Löschfunksender", slukkegnistbane) og kunne høres som en tydelig tone i telefonen på mottakersida etter at de var blitt likerettet i en krystalldetektor (blyglans eller pyritt), også en oppfinnelse av F. Braun. Sendereffekten kunne da reduseres. Både kohereren og krystalldetektoren virker som følge av halvledereffekter, så transistoren har sine tidlige forløpere innen elektronikken!

Noen sier at en ikke kan tillegge noen spesiell æren for å ha oppfunnet radioen; i Russland tillegges f.eks. oppfinnelsen professor A.S. Popov, og i Italia A. Righi og G. Marconi, men de bygger alle på de første praktiske trådløse morseeksperimentene til Lodge i Liverpool, i 1894! La oss derfor innrømme Oliver Lodge æren for å ha oppfunnet den trådløse telegrafien.

Litteratur

1. *Heinrich Hertz, comment il a rélévé l'existence des ondes radio.* Les Cahiers de Science et Vie, No 30, Excelsior Publications S.A., Paris, Dec. (1995)
2. Oliver Lodge: *The work of H. Hertz and some of his successors.* Bok utgitt i Liverpool (1894)
3. Peter Rowlands: *Oliver Lodge and the Invention of Radio.* PD publications, Liverpool (1994)
4. Peter Rowlands: *Oliver Lodge, a inventé la radio.* Pour la Science, No 216, s 14, Oct. (1995)
5. Ole Kallelid og Leif K. Skjæveland: *Faget som varte i 100 år. Historien til den trådløse telegrafien.* Norsk Telemuseum (1995)

∞

Bokomtaler

Ti år etter Tsjernobyl: Følger for matproduksjon og helse. Landbruksforlaget 1996 (127 sider).

Det er ikke alle jubileer som markeres med glede, blant disse finner vi det nylig passerte 10-årsjubileet for reaktorulykken i Tsjernobyl. I de siste ukene har media fokusert sterkt på begivenheten. Nå foreligger det en bok om ulykkens følger for matproduksjon og helse i Norge. Boka har bidrag fra 14 forfattere, og det fremgår ikke hvem som har redaktøransvaret. Bidragsyterne kommer fra institusjoner som har vært sentrale i etterarbeidet etter ulykken: Statens næringsmiddeltilsyn, Statens Strålevern og Landbruksdepartementet er hovedbidragsytere, med bidrag fra Norske Meierier, Reindriftsforvaltningen, Direktoratet for naturforvaltning og Norsk institutt for luftforskning. I tillegg er det mindre innlegg med personlige situasjonsbeskrivelser fra to sauebønder, en melkeprodusent,

fra Vågå tamreinlag, og fra næringsmiddeltilsynet i Valdres.

Boka har en enkel og lettlest form som tar sikte på et bredt publikum. Som en oppsummering av det arbeidet som er gjort, og de konsekvenser ulykken har hatt for landets "atomberedskap", er boka oversiktlig og grei, krydret med gode, illustrerende tegninger. Siden det er de sentrale aktører som skriver den, kan en neppe vente noen grundig evaluering av de beslutninger som etter hvert er tatt, og det arbeidet som er gjort. Boka er med andre ord fri for "sjølkritikk".

Det er korrekt som boka sier i innledningen: "Da ulykken skjedde hadde nordmenn flest svært lite kjennskap om radioaktivt nedfall." Det som der etter følger kan imidlertid diskuteres: "I løpet av noen hektiske måneder ble Ola og Kari eksperter på blant annet radioaktivitet, halveringstid og becquerel." Denne ekspertisen er nok høyst diskutabel, slik at det generelle kapitlet om stråledoser og mulige konsekvenser for helse og miljø først på side 77, burde ha kommet aller først. Ola og Kari anbefales å starte med dette kapitlet.

Informasjon var et nøkkelord i de hektiske ukene etter selve ulykken. Mange vil nok hevde at informasjon fremdeles er et nøkkelord, selv etter at denne boka foreligger. På flere punkter vil en oppmerksom leser finne uheldige inkonsistenser. Disse inkonsistensene burde vært problematisert i boka. Når myndighetene setter grenser for radioaktivitet i matvarer uten å begrunne grensene, oppfattes dette som "faregrenser", altså grenser for "enten eller". Når så grensene flyttes opp og/eller ned, må en nødvendigvis sitte igjen med et spørsmål om hvorfor. Det skal sies til forfatternes forsvar at begrunnelsene vel neppe alltid var like rasjonelle, og derved ikke så lette å omtale i ei bok som denne. Det sies også at "matvarene i våre butikker var ufarlige ved de grensene som var satt", og en rekke illustrerende figurer og tall viser inneholdet av radioaktive stoffer. Imidlertid, på side 83 vises én av flere mulige dose–respons kurver, og det sies i teksten, at det "ikke vil eksistere noen nedre grense hvor skadene oppstår". Forfatternes tillit til befolkningsdosebegrepet (eller den lineære ekstrapolasjon mot null dose) er faktisk så stor at de regner ut antall forventede døde og antall alvorlige genetiske skader med imponerende nøyaktighet. Attpå til er den viste responskurven kvadratisk. Konsekvensen av disse påstandene må bli at det er de fastsatte dosegrensene som er årsaken til dødsfallene og de genetiske skader. Hva i all verden skal vi tro om våre myndigheter!

Når vi allikevel kan ha tillit til myndighetene, skyldes det at genetiske skader på mennesker ved små doser (under 200 mSv) aldri har vært påvist, selv ikke blant bombeofrene i Hiroshima og Nagasaki. Ei heller er det mulig fra epidemiologiske undersøkelser å si noe om andre stokastiske skader for så ørsmå doser det er snakk om etter nedfallet i Norge. Dosegrense-diskusjonen etter 1986 i Norge har vært en politisk og økonomisk drakamp, ikke en faglig. Det er riktig at matvarene var ufarlige – selv uten grensene. Boka går langt utenom en slik diskusjon, og resultatet blir, dessverre – inkonsistens.

Det kan også diskuteres i hvilken grad "ressursbruken for å redusere stråledosene ser ut til å ha vært riktig, og på lang sikt ... antakelig medført bedret fysisk, psykisk og sosial helse for hele befolkningen". Det vi kollektivt til en hver tid anser som farlig er det media som forteller oss. Og når vi bruker 500–600 millioner kroner for å redusere stråledosene, er det rimelig at ikke-fagfolk, journalister inkludert, også tror at disse stråledosene var og er farlige.

Beskrivelsen i siste kapittel om Norsk Atomulykkeberedskap viser at en imponerende organisasjon nå er bygget opp. I dag har vi 59 LORAKON (LOkal RAdioaktivitetsKONtroll)-stasjoner og 29 stasjoner for måling av luft, spredt over hele landet. Luftstasjonene måler kontinuerlig, og har direkte varslingskontakt med nøkkelpersoner utsyrt med personsøkere. Dette er beskrevet oversiktlig og greitt. Men igjen melder det seg spørsmål hos leseren: Er trusselen om atomulykker så stor at vi trenger denne store beredskapen? Og hva skjer dersom alarmen faktisk går? Bortsett fra aktivisering av informasjonsflyten, er det (s. 113) nevnt "iverksetting av visse tiltak som innendørsopphold, opphold i tilfluktsrom, bruk av jodtabletter, adgangsbegrensning og trafikkrestriksjoner, næringsmiddeltiltak og kostholdsråd". Alle disse forberedelsene forteller oss at et så alvorlig nedfallscenario må være rimelig sannsynlig. Hvor sannsynlig, får vi ikke vite. Det påfølgende siste avsnittet om *Trusselbildet ti år etter Tsjernobyl*, må imidlertid oppfattes som en antydning om at dette er reelt og rettferdiggjør den høye beredskapen. Er dette sant? Boka forteller det ikke – direkte.

Finn Ingebretsen

∞

W.R. Hendee and F.M. Edwards (Eds): Health effects of exposure to low-level ionizing radiation. Institute of Physics Publishing Ltd. 1996 (560 sider) 1230 kr.

Dette er en bok i grenselandet mellom fysikk og biologi, men som er mer rettet mot fysikere enn biologer; og det kan vel også være årsaken til at den er utgitt på et forlag som tradisjonelt gir ut bøker i fysikk.

Boka er inndelt i 17 kapitler og spenner over emner fra strålingsbiologi og strålingsrisiko til kjernekraft og behandling av radioaktivt avfall.

Kapittel 1 gir en generell historisk gjennomgang av strålingseffekter ved ioniserende stråling, både genetiske effekter, kreft og fosterskader. Det understrekes at genetiske effekter ikke frem til nå er observert i epidemiologiske studier blant mennesker – selv ikke i den gruppen som man har fulgt opp etter atombombene over Hiroshima og Nagasaki. Når det gjelder kreft, er det klare sammenhenger, men bare for akutte doser som ligger over 200 mGy. For vurdering av fosterskader er det vitenskapelige materialet enda tynnere, men kunnskapen så langt tyder på at det kan være en terskel for helseskade.

Kapittel 2 gir en innføring i fysiske og kjemiske effekter av stråling, mens kapittel 3 omhandler fundamentale interaksjonsprosesser på cellulært nivå – spesielt DNA skader – og hvordan disse påvirkes av fysiske og biologiske faktorer. Dessverre gir kapittel 4 en altfor summarisk og ufullstendig beskrivelse av de fundamentale prosessene i karsinogenesen.

Kapittel 7 gir en innføring i de forskjellige riskmodeller, og kapittel 8 gir en relativ oppdatert fremstilling av datagrunnlaget for vurdering av risiko ved eksponering av ioniserende stråling. Den naturlige livstidsrisiko for kreft er mellom 200 og 300 av 1000. Hvis en skal legge ICRPs risikovurdering til grunn, vil en forvente en risiko på 5 av 1000 av en dose på 0,1 Gy. Det er identifisert en rekke mulige årsaker til kreft, og det er store variasjoner i kreftinsidens mellom befolkningsgrupper. Dette gjør det vanskelig å kunne påvise signifikante sammenhenger mellom stråling og kreft i epidemiologiske studier. Forfatteren understreker derfor at man mest sannsynlig også i fremtiden vil måtte basere risikoanslag på bakgrunn av eksponeringer ved relativt høye doser, over 0,2 Gy.

Kapittel 9 omhandler doser fra naturlig stråling. Det er jo naturlig stråling – og da spesielt radon i inneluft – som gir de største dosene til befolkningen. Dessverre er fremstillingen svært knyttet til USA. I USA gir naturlig stråling 82 % av gjennomsnittsdosen (hvorav radon står for 55 %) sammenliknet med alle andre kilder for ioniserende stråling. Av de resterende 18 % er det medisinsk bruk av stråling som står for ca. 15 %. Radonkonsentrasjonene i de nordiske land er i gjennomsnitt 30–40 % høyere enn i USA. Kapittel 10 omhandler doser fra forbrukerartikler, og dette er en av de beste og mest komplette fremstillinger som jeg har sett.

Kapittel 11 omhandler stråleeksponering i forbindelse med kjernekraft, både ved utvinning og prosessering av uran, rutinemessig drift av kjernekraftverk, reprosessering av brensel, avfallshåndtering og de ulykker som har vært frem til nå.

Kapittel 12 tar for seg doser ved forskjellige anlegg som ligger under Det amerikanske energidepartement bl.a. forskningsreaktorer og akseleratorer. Denne oversikten viser at i 1990 var det ingen av de ca. 100 000 som rutinemessig bærer persondosimeter ved de forskjellige anlegg i USA, som fikk doser over 30 mSv, og at bare ca. 200 personer fikk doser over 10 mSv.

Bruk av strålekilder i medisinsk diagnostikk og terapi er summarisk behandlet i kapittel 13, behandling og sluttdeponering av radioaktivt avfall i kapittel 14, og generelle prinsipper i strålevern i kapittel 15. Problemer i forbindelse med å gi informasjon om stråling til befolkningen, og til arbeidstakere som utsettes for stråling i sitt yrke, diskuteres i kapittel 16. I kapittel 17 spekuleres det litt om fremtiden når det gjelder bruk av stråling og strålevern.

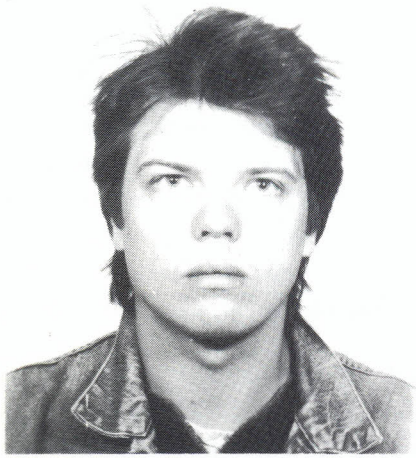
Boka egner seg utmerket som en lærebok i strålingsbiofysikk og strålevern, og anbefales herved på det varmeste for alle som ønsker en generell oppdatering innenfor dette området. Tittelen på boka er dessverre noe misvisende, og det kan gjøre at boka får et helt annet publikum enn den fortjener.

Terje Strand

∞

Nye Doktorer

Mogens Dam



Cand.scient. Mogens Dam har tatt graden dr.philos. ved Universitetet i Oslo, med avhandlingen *Tests of the Electroweak Theory with the DELPHI detector at LEP.*

De elektromagnetiske og de svake vekselvirkninger mellom elementærpartikler beskrives i den elektrosvake teorien, der de tre tunge vektorpartiklene $W^{\pm}$ og Z, sammen med det masseløse fotonet, er ansvarlige for de elektrosvake kreftene. Gruppen for eksperimentell partikkelfysikk i Oslo er engasjert i et detaljert studium av disse vekselvirkningene. Eksperimentene gjøres ved CERN med DELPHI-detektoren.

I avhandlingen er to hovedområder innenfor dette studiet behandlet. Det første er en bestemmelse av Z-partikkelens resonanskurve. Z-partikkelen har en hvilemasse på 91 GeV og en vidde på 2,5 GeV. Ved en nøye måling av produksjonstverrsnittet i et energi-intervall på ± 3 GeV omkring hvilemassen, er resonansparametrene bestemt. Disse spiller en sentral rolle i teorien. Et viktig resultat er at det finnes tre typer nøytrino, noe som harmonerer med de tre kjente "familier" av kvarker og leptoner. Sansynligvis forteller dette at det ikke finnes flere fermionfamilier.

I det andre området er et studium av τ-leptonet, det tyngste av de tre ladde leptoner, beskrevet. Et viktig resultat er målingen av τ-leptonets polariseringsgrad som gir ytterligere informasjon om de elektrosvake kreftene. Ved å sammenholde dette med resonansparametrene innenfor den elektrosvake teorien, oppnås en indirekte bestemmelse av toppkvarkens masse. Toppkvarken ble første gang observert etter denne indirekte massebestemmelsen. At massen fra den direkte observasjonen var i overensstemmelse med forutsigelsene, var en triumf for den elektrosvake teorien. Samtidig setter dette meget alvorlige begrensninger for nye teoretiske modeller som lages for å gi en mer grunnleggende beskrivelse av fysikken.

Et annet resultat av studiet er at de svake koblingene i desintegrasjonen av τ-leptonet og μ-leptonet er identiske til 1 %. Dette er en viktig forutsigelse. Brudd på dette prinsippet ville peke på nye og hittil ukjente fysiske mekanismer. Skulle dette skje, kan vi håpe at disse vil forklare hvorfor kvarkene og leptonene finnes i tre kopier der bare massene er forskjellige.

∞

Christina Karlsson

Sivilingeniør Christina Karlsson, fra Sverige, forsvarte den 11. desember 1995 sin avhandling *Plants in Microgravity. Experimental Investigations of the Gravitropic Systems of Avena Coleoptiles and Lepidium Roots* for dr.scient.-graden ved AVH, Universitetet i Trondheim. Oppgaven er utført ved Fysisk institutt med professor Anders Johnsson som veileder.

Doktorgradsarbeidet tar for seg planters balansesystem, eller det gravitropiske system, som hjelper plantene å bestemme hva som er opp og ned. Her fungerer tyngdekraften som referanseretning. I spesielle celler sedimenterer tunge partikler mot nedre delen og gir dermed planten informasjon om retning. Et avvik fra loddlinjen forandrer posisjonen til de tunge partiklene, og dette gir opphav til vekstresponser. Karlsson har hovedsakelig stu-

dert planters balansesystem i vektløshet i to større romeksperimenter. Disse ble utført i Spacelab, i den amerikanske romfergen, i 1992 og 1994.

I det første eksperimentet ble balansesystemets respons på små sentrifugalkrefter (0–1 g) studert. Dette ga nye muligheter til å studere følsomhet og reaksjoner i balansesystemet. For første gang fant man at autotropisme, dvs. at skuddet rettet seg ut etter en gravitropisk respons, forekommer hos planter uten påvirkning av gravitasjonskraften.

I det andre eksperimentet ble røtters tilvekst i vektløshet undersøkt. Det ble påvist at røttene vokste i tilfeldige retninger de ti første timene når de savnet gravitasjonen som referanse. Eksperimentene er beskrevet i avhandlingen, sammen med evaluering og modellering av resultatene.

Christina Karlsson ble utdannet ved Avdeling for fysikk og matematikk, NTH, i 1991.

∞

Toril Myrtveit

Sivilingeniør Toril Myrtveit forsvarte den 25. januar 1996, sin avhandling *A Study of PtSi-Si Schottky Barrier Diodes: Photodetector Applications and Barrier Height Characterization* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

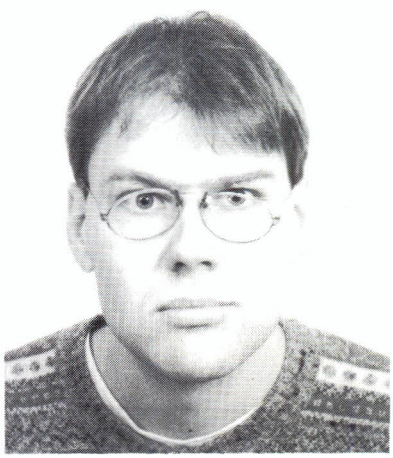
Doktorgradsarbeidet tar utgangspunkt i en Schottky barrière platinasilicid–silisium-overgang. Denne type fotodioder er vanlig brukt i infrarøde (varmefølsomme) 2-dimensjonale avbildningssystemer. Det er utviklet en matematisk modell som beskriver fotoresponsen til PtSi-Si sensorer. Tidligere modeller av Schottky-dioder har tatt utgangspunkt i n-type høybarrière-kontakter, og er derfor ikke velegnet for å beskrive infrarøde sensorer der man benytter dioder med lave barrierer. Ved hjelp av modellen er strukturen for sensoren optimalisert for å gi høyest mulig kvanteeffektivitet.

Det er gjort eksperimenter for å studere de elektriske egenskapene til PtSi-Si overganger. Tynne metallfilmer kan få en høy resistivitet dersom tykkelsen på filmen er ujevn eller dersom ureinheter, slik som oksygen, er blitt inkorporert i metalllaget. Virkningen av høyresistive metallfilmer er modellert matematisk og studert eksperimentelt. Høyresistive metallfilmer kan føre til at kapasitans-spenning-målinger blir modifisert, og at systemparametre som bestemmes ut fra eksperimentelle målinger blir unøyaktige.

Toril Myrtveit er utdannet sivilingeniør ved NTH. Doktorgradsarbeidet er utført ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, med professor Terje Finstad som veileder.

∞

Jan Halvor Nordlien



Sivilingeniør Jan Halvor Nordlien har tatt graden doktor ingeniør ved Noregs tekniske høgskole med avhandlinga *Naturleg danna oksidfilm på magnesium og magnesiumlegeringar.*

Bakgrunnen for arbeidet har vore eit behov for å forstå dei faktorane som er med på å avgjera korrosjonseigenskapane til magnesiumlegeringar for å kunne utvikla meir korrosjonsbestandige legeringar.

For fagmiljøet ved NTH/SINTEF har dette arbeidet betydd at ein har etablert nye teknikkar for studier av oksidfilmar og korrosjonsprodukt. Dette er viktig for framtidige forskingsprosjekt på overflatekvalitet, og industrien kan gjere seg nytte av dette arbeidet direkte ved legeringsdesign.

Nordlien har studert oksidfilm på magnesium–aluminiumslegeringar som er danna i luft og vatn

for å karakterisera oksidfilmane, og kanskje kunne påvisa samanhengen mellom eigenskapane til oksidfilmane og korrosjonseigenskapane. Ein har funne at oksidfilmen vert meir stabil ved aukande aluminiumsinnhald opp til omlag 4 vektprosent. Endringane i oksidfilmen svarer direkte til endringar i korrosjonseigenskapane slik at auka stabilitet fører til betra korrosjonseigenskapar. Ein vidare auke i aluminiumsinnhaldet fører ikkje til avgjerande endringar i oksidfilmen eller i korrosjonseigenskapane.

Jan Halvor Nordlien vart utdanna ved Fakultet for fysikk og matematikk i 1992. Dr.ing.-arbeidet er utført ved Institutt for teknisk elektrokjemi med professor Kemal Nisancioglu som hovudfaglærar.

∞

Gunnar Rustad

Sivilingeniør Gunnar Rustad disputerte 28. mars 1995 for dr.scient-graden ved Universitetet i Oslo, med avhandlingen *Modelling and experimental investigation of laserdiodes, end-pumped and sidepumped Thulium- and Holmium-doped lasers.*

Arbeidet har omhandlet lasere basert på krystaller dopet med små mengder thulium og holmium. Slike lasere emitterer lys ved 2μm, som er en såkalt øyesikker bølgelengde, og har mange viktige anvendelser i fjernmåling og i medisinsk og militær teknologi.

Oppgaven har vært fokusert på lasere eksitert med lys fra laserdioder. Slike systemer har potensial for langt mer effektiv operasjon enn tradisjonelle systemer som eksiteres med lamper, men en omfattende optimalisering av systemet er nødvendig. I arbeidet er forbedrede matematiske modeller av lasermaterialet blitt utviklet. Eksperimentell realisering av laserne ga høy virkningsgrad, og resultatene var i god overensstemmelse med numeriske simuleringer.

Spesiell vekt ble lagt på utvikling av en såkalt "sidepumpet" lasergeometri hvor eksitasjonslyset fra laserdiodene kobles inn gjennom siden av lasermaterialet. En av de største utfordringene med en slik geometri er å oppnå effektiv absorpsjon av eksitasjonslyset. I arbeidet ble effektiviteten til laseren vesentlig forbedret med en ny teknikk hvor sylinderflaten til den runde laserstaven ble belagt med en reflekterende dielektrisk film slik at eksitasjonslyset ble mer effektivt absorbert. De lovende resultater som ble oppnådd med denne lasergeometrien er under oppfølging i videre forskningsprosjekter.

Arbeidet er utført ved Forsvarets forskningsinstitutt under veiledning av Knut Stenersen. Gunnar Rustad ble utdannet ved NTHs Fakultet for fysikk og matematikk i 1990, og var norsk deltager i fysikkolympiaden i Jugoslavia i 1985. Han er nå ansatt som forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt.

∞

Trim i FFV

FFVT 2/96

På tavlen til vår japanske gjesteforsker sto

$$\text{KYOTO} + \text{KYOTO} + \text{KYOTO} = \text{TOKYO},$$

og han sa at ulike bokstaver representerte ulike siffer, og omvendt. "Dette ser nesten umulig ut," bemerket jeg. "Det er fordi du med vanlig vestlig utålmodighet ikke har ventet på selve spørsmålet," sa han. "Oppgaven er i n-tall-systemet, og spørsmålet er hva n er." Kan leseren bestemme n?

Løsning FFVT 1/96

Oppgaven var å forklare hvor det ble av energien når en kondensator med ladning $\pm Q$ ble parallellkoplet med en identisk kondensator uten ladning, idet energien tilsynelatende går ned fra $Q^2/2C$ til $Q^2/4C$.

Dersom det er den minste ohmske motstand R til stede vil strømmen som ladningsutjevningen medfører gi en varmeutvikling som tilsvarer energidifferansen.

Dersom det overhode ikke er motstand til stede, som forutsatt i oppgaven, så kan ikke ohmsk

varmetap være forklaringen. I dette tilfellet vil ladningen oscillere fram og tilbake som i en LC svingekrets, fordi systemet alltid har en viss selvinduksjon. Endel av energien vil ligge som energi i magnetfeltet (gitt som $\frac{1}{2}Li^2$).

Men akselererte ladninger stråler. Derfor vil ikke denne oscillasjonen fortsette til evig tid, men dempes på grunn av utstrålingen. Så det beste svaret på spørsmålet i oppgaven er vel at energiforskjellen $Q^2/4C$ til syvende og sist ender som utstråling fra systemet.

∞

Hva skjer

Fysikk-OL 1996 nærmer seg

Nær 300 fysikkinteresserte ungdommer forbereder seg i disse dager til sommerens dyst under Den 27. internasjonale fysikkolympiaden, som arrangeres ved Universitetet i Oslo fra 30. juni til 7. juli. Det har meldt seg deltakere fra 56 land i fem verdensdeler, og hver nasjon sender et lag på fem deltakere og to ledere.

I Norge ble det i år tatt ut 10 kandidater i nest siste uttakingsrunde: Håvard Alnes fra Ålesund, Morten Omholt Alver fra Stjørdal, Dag Hovland fra Eidanger, Sigbjørn Koksæter fra Rindal, Anders S. Løvlie fra Volda, Dagfinn Mørkrid fra Oppegård, Christian Nakling fra Nedstrand ved Haugesund, Magnar Nedland fra Sandefjord, Knut Aksel Røysland fra Atrå ved Rjukan og Andreas Westermoen fra Mandal. Dag Hovland og Magnar Nedland har trukket seg fordi de skal være med i Kjemi-OL. De øvrige åtte vil i tiden framover motta spesialtrening ved Fysisk institutt, Universitetet i Bergen; og ikke før i slutten av juni vil det bli avgjort hvilke fem som skal representere Norge i konkurransen. De øvrige vil bli tildelt oppgaver som guider for de utenlandske deltakerne under arrangementet.

Ja, for Fysikk-OL er ikke *bare* innfløkte ligninger og kobling av kretser. Det er også satt av tid til sosialt samvær og til å få med seg en del av det Oslo har å by på. Bygdøy med vikingskipene og Fram er en selvfølgelig post på programmet; likeså Vigelandsparken, Holmenkollen og Munchmuseet. Populære programinnslag blir ganske sikkert turen til fornøyelsesparken Tusenfryd på "hviledagen" mellom den teoretiske og den praktiske prøven, og båtturen på Oslofjorden den siste dagen. Programkomiteen håper dessuten å få i stand noen mer uformelle sammenkomster for deltakerne – en av arrangementets målsetninger er nemlig å fremme forståelse og toleranse mellom ungdom fra ulike land.

Det er Ingerid Hiis Helstrup og Kårmund Myklebost i Bergen som står for uttaket og treningen av de norske deltakerne, mens selve arrangementet administreres fra Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Arnt Inge Vistnes leder en stor og entusiastisk gjeng av vitenskapelig og administrativt personale som sammen jobber for at Fysikk-OL skal gjennomføres knirkefritt og bli en minneverdig opplevelse for deltakerne.

Hver OL-deltaker skal igjennom en teoretisk og en praktisk prøve. Det er lederne fra de enkelte land som står for retting av besvarelsene, mens de to eksamenskommisjonene fra Norge (én for den teoretiske og én for den praktiske prøven) har det siste ord angående bedømmelsen. Mang en sen nattetime vil nok gå med til diskusjoner for å sikre at alt skjer på rettferdig vis. Deltakerne besvarer prøvene på sitt eget morsmål, og det har kostet arrangørene atskillig slit å finne fram til språkkyndige som kan håndtere alt fra kinesisk via persisk til polsk. Selve oppgavene er nøye gjennomtenkt og utarbeidet av de norske arrangørene, med Per Chr. Hemmer fra Trondheim som hovedansvarlig for den teoretiske prøven og Tom Henning Johansen og Børge Holme fra Oslo for den praktiske.

På avslutningsseremonien i Universitetets aula den 6. juli vil det bli delt ut gull-, sølv- og bronsemedaljer, og utdelingen etterfølges av en festmiddag på Najaden restaurant på Sjøfartsmuseet. Norge har sjelden nådd opp til medaljeplass i Fysikk-OL, men med triumfene fra Lillehammer friskt i minne

kan vi jo håpe at årets deltakere vil gjøre Norge til en OL-nasjon også på fysikkens område. For "nettsurfere" kan det være av interesse å besøke Fysikk-OLs egne hjemmesider på Internett, på adressen http://www.fys.uio.no/ipho/.

Ellen Karoline Henriksen
Pressekontakt for Fysikk-OL

∞

Onsager-professor 1996: J. M. J. van Leeuwen

Lars Onsager-professoratet er et gaveprofessorat som i 1993 ble gitt NTH av Norsk Hydro A/S. Det muliggjør invitasjon av en utenlandsk kapasitet til fysikk-, kjemi- eller matematikkmiljøet på Gløshaugen, for et forskningsopphold på opp til et halvt år. En prisverdig støtte til grunnforskning fra industrielt hold!

I år er den nederlandske fysikeren professor J. M. J. van Leeuwen utpekt som Onsager-professor. Han har vært professor ved den tekniske høgskolen i Delft og ved universitetet i Leiden. Van Leeuwen oppholder seg ved Institutt for fysikk, NTNU, i siste del av vårsemesteret.

Årets Onsager-professor har opp igjennom årene hatt gode vitenskapelige relasjoner med det forskningsmiljø som han gjester. Han har også vært foredragsholder på to sommerskoler i Trondheim.

Van Leeuwen er en teoretisk fysiker som har gjort en betydelig innsats på en rekke felter innen statistisk fysikk, mangepartikkelteori, kinetisk teori, faseoverganger og kritiske fenomener. Han er formodentlig best kjent for *real-space*-metoden i renormaliseringsteori for kritiske fenomener. Denne pionérinnsatsen er beskrevet i Fra Fysikkens Verden 1977, s. 88, av E. H. Hauge under tittelen "Wilson i tresko". Det er ikke urimelig å oppfatte dette som en videreføring av Onsagers løsning for den todimensjonale Ising-modellen.

P. C. Hemmer

∞

Nytt fra NFS

Fysikklærerforening på trappene

På årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap i Trondheim 26. juni, vil Faggruppen for undervisning, FUN, legge frem forslag om en omdanning av FUN til en faglig aktiv medlemsforening for fysikklærere på alle nivå i undervisningssystemet, under NFS som moderorganisasjon. Fysikklærerforeningens aktiviteter skal i første omgang rekruttere fysikklærerne i videregående skole, og dessuten vitalisere den medlemsmassen i FUN som arbeider med fysikkundervisning på høgskolene og universitetene.

Styret i FUN har de siste årene arbeidet aktivt med fysikkundervisningen i videregående skole. Vår virksomhet har bl.a. ført til en sterk økning av antall medlemmer, og vi er nå den største faggruppen i NFS med 87 hovedmedlemmer og 52 subsidiære medlemmer.

Bakgrunn

I mange år har norske fysikklærere sett med lengsel på den veldrevne og innflytelsesrike Fysikklærerforeningen i vårt naboland, Danmark. Det har tidligere vært på tale å starte en liknende forening i Norge, uten at dette har ført frem.

Bare noen få fysikklærere i videregående skole har vært medlemmer i FUN, men faggruppen har de siste årene arbeidet stadig mer aktivt med undervisningsspørsmål og arrangerte Landskonferansen for fysikkundervisning i 1990 på Ustaoset, og i 1994 på Hafjell. Konferansene fikk stor oppslutning med h.h.v. 110 og 130 deltagere.

På bakgrunn av den positive tilbakemeldingen, og den store interessen for undervisningsspørsmål, har FUN arbeidet videre med to hovedsaker: nye læreplaner i fysikk og fysikklærerforening.

Arbeidet med læreplanene, Reform 94, har pågått det siste halvannet året, og FUN har arrangert flere møter mellom fysikklærere og Kirke-, undervisnings- og forskningsdepartementet, KUF, for å drøfte saken. Videre er det laget en spørreundersøkelse som har hentet inn synspunkter fra alle landets videregående skoler. Vi har hatt et godt samarbeid med gruppen som laget utkastet til ny læreplan, og vi har avgitt høringsuttalelse til planene. Medlemmer av FUN sitter også i gruppen som skal vurdere høringsuttalelsene som er kommet inn til KUF i vår.

Fysikklærerforening

FUNs arbeid med å danne en fysikklærerforening har pågått siden Hafjellkonferansen i 1994. Et utvalg ledet av Sigrid Skogan fra Steinkjær vgs, har laget et forslag til organisasjonsstruktur og lover for en fysikklærerforening, som ble lagt frem for styret i NFS i fjor vår.

På årsmøtet i 1995 valgte FUN et interimsstyre for Norsk Fysikklærerforening – Norsk Fysisk Selskaps faggruppe for undervisning, som blir det nye offisielle navnet dersom alt går etter planen. Interimsstyret i Fysikklærerforeningen består av leder Arne Auen Grimnes fra Norges Landbrukshøgskole, Sigrid Skogan fra Steinkjær vgs, Arna Lerkerød fra Porsgrunn vgs, Einar Oterholm fra Ressurssenteret i Miljølære på Tingvoll, Carl Angell fra Universitetet i Oslo, Øystein Falch fra Bergen Katedralskole og Karl Torstein Hetland fra Dalen vgs.

I høst meldte 148 fysikklærere seg inn i Norsk Fysikklærerforening under forutsetning av at den blir en realitet. (I tillegg kommer dagens medlemmer av FUN.) En dugnadsgjeng på 17 frivillige har meldt seg til å dra organisasjonsarbeidet i gang, og det er funnet to meget gode kandidater til vervene som leder og som generalsekretær.

Arbeidsområder

Fysikklærerforeningen vil fungere som en interesseorganisasjon for fysikkfaget og for alle som underviser i fysikk. Samtidig vil den ivareta oppgavene som faggruppe i NFS. Det vil være naturlig å opprette et eget utvalg for universitets- og høgskolefysikk innen foreningen for å stimulere til økt aktivitet rettet mot den postgymnasiale fyiskkundervisningen. Følgende arbeidsområder vil bli prioritert:

- Organisasjonsarbeid og økonomi
- Kontinuerlig og langsiktig læreplanarbeid på alle nivå i utdanningssystemet
- Faglig-pedagogisk utviklingsarbeid og etterutdanning på alle nivå i utdanningssystemet
- Arrangere "Landskonferansen for Fysikkundervisning" hvert tredje år (neste i 1997)
- Gi ut meldingsblad / tidsskrift
- Informasjonsarbeid om fysikkutdanning
- Faglig og sosialt nettverk for alle som arbeider med fysikkundervisning med oppbygging av lokale grupper for regelmessig faglig og sosial kontakt

Årsmøtet 1996

Etter forslag fra FUN gjorde årsmøtet i NFS i fjor følgende enstemmige vedtak: *Norsk Fysisk Selskap arbeider for å stifte en fysikklærerforening for fysikklærere på alle nivå i utdanningssystemet i løpet av kommende arbeidsår. Forslag til de nødvendige endringer i NFS' vedtekter og forslag til vedtekter for Fysikklærerforeningen legges frem for årsmøtet i NFS på Fysikermøtet 1996. Styret i NFS oppnevner et utvalg som skal arbeide med å gjennomføre stiftelsen, og som skal forberede saken til årsmøtet i NFS i 1996. Utvalget består av presidenten og ett styremedlem i NFS samt interimsstyret i Fysikklærerforeningen.*

Før årsmøtet i NFS i år, vil organisasjonsforholdet mellom Fysikklærerforeningen og NFS være avklart. Spørsmål som er drøftet i denne forbindelse er vedtekter for foreningen, kontingent og regler for opptak av medlemmer. Forslaget bli lagt frem for årsmøtene i FUN og i NFS. På årsmøtet i FUN, vil den gamle Faggruppen for undervisning avgå ved døden, og etter en lett metamorfose, gjenoppstå som Fugl Føniks ved stiftelsen av Norsk fysikklærerforening.

Arne Auen Grimnes

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer tatt opp 20. mai 1996:

Stipendiat Christophe Rene Birkeland
Institutt for fysikk, 7034 NTNU - Trondheim

Steinar Bjørnstad
Fougstadsgt. 43, 0173 Oslo

Post.doc. Ulrik Hanke
Jonsvannsveien 48, 7017 Trondheim

Student Sølvi Rønnekleiv Haugedal
Kalbakkestubben 6, 0951 Oslo

Student Anne Kvithyld
Kirkegt. 51B, 7043 Trondheim

Sven Marø
Lertrøen, 7036 Trondheim

Rektor Knut Skogan
Skrenten 1, 7700 Steinkjer

Lektor Eimund Aamot
Bambergvn. 46, 7600 Levanger

Stipendiat Knut Eilif Aasmundtveit
Institutt for fysikk, 7034 NTNU - Trondheim

∞

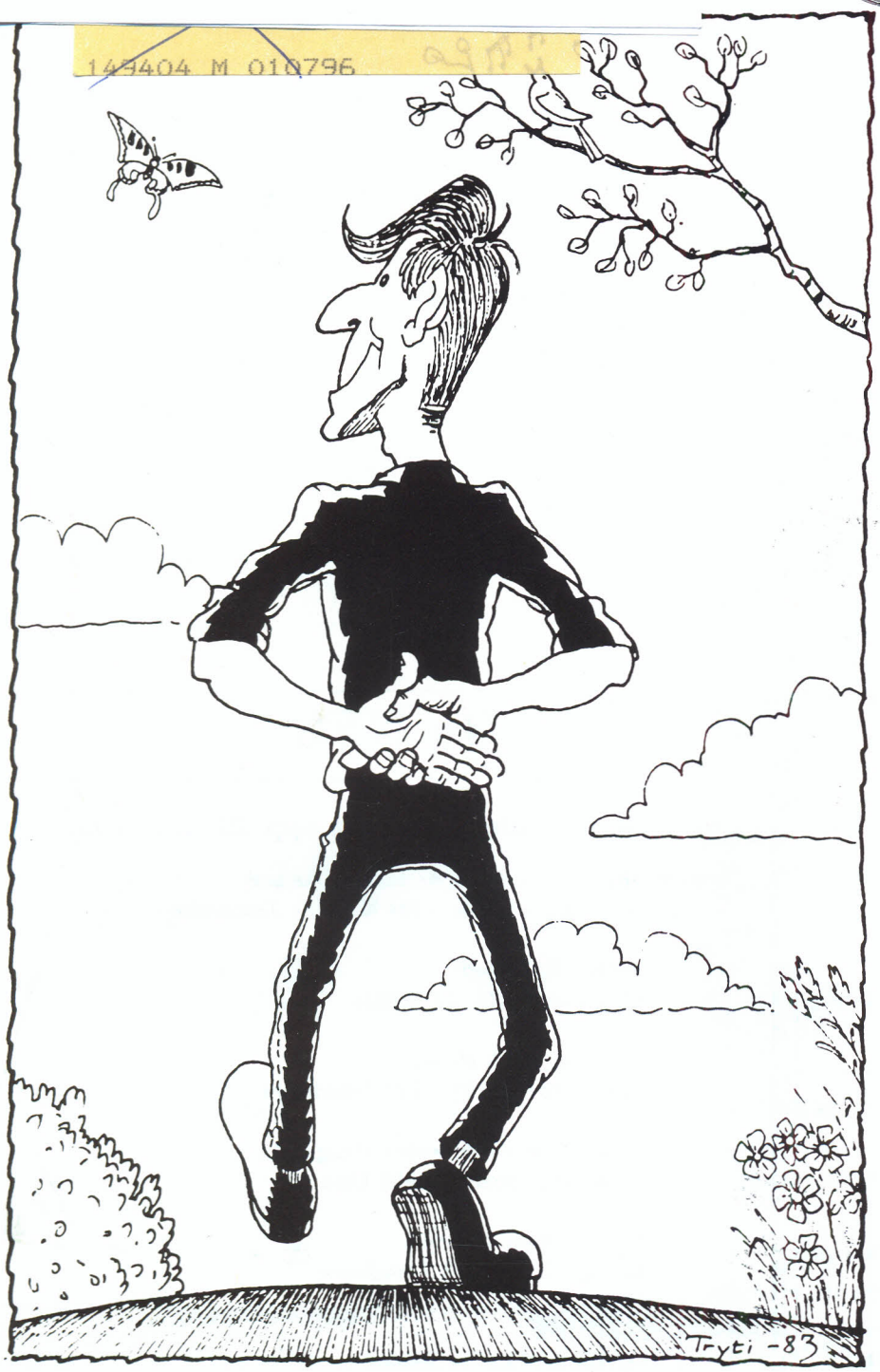
C-BLAD

Returadresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

SKJÅK 22.6.96 2690

ikke etterspurt

149404 M 010796



God sommer!

GRAFISK PRODUSKJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S

Norsk Fysisk Selskap

SKJÅK 9.7.96 2690

STYRE

President:
Professor Thormod Henriksen,
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Visepresident:
Professor Erlend Østgaard,
Fysisk inst., AVH, Univ. Trondheim.

Styremedlemmer:
Stipendiat Leni Grant,
Nordlysobs., Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Førsteamanuensis Anders Isnes,
SLS, Fysisk inst., Univ. Oslo.

Selskapets sekretær:
Stipendiat Tove Svendby,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 56 41, Fax.: 22 85 56 71
E-mail: tove.svendby@fys.uio.no
Postgiro: 0802 5883889
Bankgiro: 5102.05.42806

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide,
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå,
Inst. f. mat. realfag, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Inst. f. fys., NTH, Univ. Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. f. teor. astrofys., Univ. Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
E-mail:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0807 5104724
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement kr. 100. (Studenter kr. 50.)
Løssalg kr. 30 pr. nummer.