Fra Fysikkens Verden

Nr.2 - 1988
50. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Innhold

Olav Kjeldseth-Moe:
SuperNova 1987A –
Århundredets «stjernesmell» 38

G. Løvhøiden og T.F. Thorsteinsen:
QUARK–GLUONPLASMA –
Jakten på Urstoffet 43

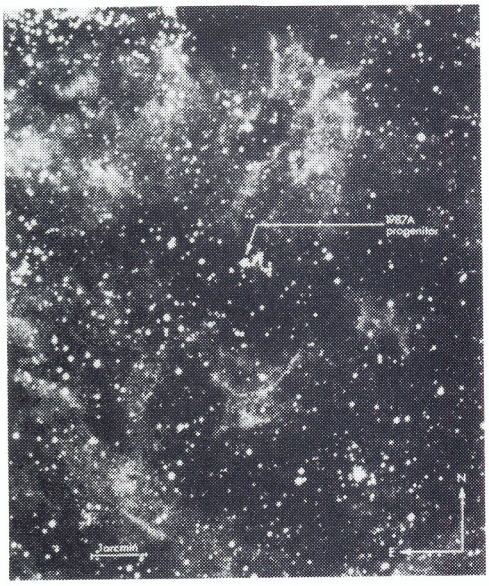
Alv Egeland:
BIRKELANDS KANON –
Fortsatt i «skuddet» 48

In Memoriam: Olaf Devik 34
Fra Redaktørene 35
FFV-Gjest: **Tore Olsen** 35
Nytt fra Skolen 36
Supraledning
Bokomtaler 53
Nytt fra NFR 53
20-gruppen i fysikk
Nytt fra NFS 54
Nye medlemmer
Trim iFFV 54

FFV-Gjest:
Tore Olsen*

ISSN-0015-9247

SuperNova 1987A:



Før og

etter.

In Memoriam

Ekspedisjonssjef Dr. philos. Olaf Devik 1886 – 1987

Olaf Martin Devik døde 14. april 1987, noen måneder etter at han fylte 100 år. Hermed er en markant personlighet i vårt akademiske miljø gjennom det meste av vårt århundre gått bort.

Olaf Devik var født i Gjerdrum i Akershus 20. desember 1986. Hans mor var fra Leirvik i Sogn, hans far fra Gloppen i Nordfjord, fra 1900 overlærer ved Bryn skole ved Oslo. Etter examen artium ved Oslo Katedralskole i 1904 studerte Devik realfag, med fysikk som hovedfag, og bifagene var matematikk, kjemi, botanikk, samt faget astronomi-geografi-meteorologi. Under den siste delen av studiet var han assistent hos professor Vilhelm Bjerknes, og dette førte ham inn i meteorologien og geofysikken, som senere ble hans arbeidsfelt.

Etter avsluttet hovedfagseksamen i 1911 ble Devik assistent hos professor Kristian Birkeland, som på den tid arbeidet med nordlysstudier. Devik ble hans medhjelper under eksperimentene med å fremstille «kunstig nordlys» i den berømte laboratorie-oppstillingen som fikk navnet «Terrella».

I 1915 fikk han som amanuensis spørsmål fra sjøfartshold om å opprette en stormvarslings-tjeneste for Nord-Norge, en oppgave som han uforferdet påtok seg. Dette var nemlig ikke så lite av en utfordring, også fordi han måtte ha sitt arbeidssted på fjelltoppen Haldde, 900 meter over havet, nær Kåfjord i Alta.

Der hadde professor Birkeland tidligere fått bygget et lite observatorium og et bolighus for 2 familier. Hans studievenn Ole Andreas Krogness, senere professor ved Bergens Museum, hadde da bodd der i 3 år med sin familie for å gjøre nordlysobservasjoner. Som nygift flyttet Devik dit i 1915 for å utføre meteorologiske observasjoner med sikte på stormvarslingstjenesten. Hallde var ganske sikkert Norges mest værhårde arbeidsplass, med sne, kulde, storm- og orkanbyger nesten daglig, og langt på vei isolert fra omverdenen en større del av året.

Under oppholdet på Haldde arbeidet Krogness og Devik intenst med planer om et eget institutt i Tromsø, med omfattende informasjons-virksomhet, som resulterte i en større pengeinnsamling i Tromsø. Dette førte til at Stortinget i 1917 besluttet å opprette og drive Geofysisk Institutt i Tromsø som et nordnorsk sentrum for værvarsling og geofysikk.

I 1918 kunne familiene Devik og Krogness, hver med 2 barn, hvorav 3 var kommet til verden på Haldde, flytte til Tromsø og fortsette arbeidet i provisoriske lokaler i Tromsø Museum inntil Geofysisk Institutt var ferdig. Deviks arbeide med stormvarslingen fortsatte til 1922, med opprettelse av et stort antall, over 20 observasjonsposter i hele Nord-Norge, deriblant også på Jan Mayen. Med dette var Deviks arbeid med etablering av en stormvarslingstjeneste for Nord-Norge fullført. Deviks navn vil for alltid være knyttet til det enestående pionerarbeid han der utførte.

Han var i 1922 av en bedømmelseskomité innstillet til et professorat i teknisk fysikk ved Bergens Museum, men saken måtte i siste øyeblikk stilles i bero på grunn av den vanskelige økonomi først i 1920-årene. Devik ble i 1922 dosent i fysikk ved Norges tekniske høgskole. Han utga i slutten av 1920-årene sammen med Sverre Bruun de kjente lærebøkene i fysikk, «Bruun og Devik», som svært mange vil ha stiftet bekjentskap med.

I egenskap av geofysiker ble han i 1928 medlem av en 3-manns kommisjon med det formål å klarlegge årsaksforhold omkring noen store isganger i Glomma. I denne forbindelse kom han til å interessere seg sterkt for vannets og isens helt spesielle fysikalske egenskaper. Over dette tema utarbeidet han en 100 siders dyptgripende avhandling, som ga ham doktorgraden ved Universitetet i Oslo i 1931. De problemer han der behandlet, var av stor betydning for vassdragsregulering, og han ble landets og Nordens fremste ekspert i slike spørsmål.

Devik ble i 1932 kallet til forskerstilling ved Chr. Michelsens Institutt i Bergen, med det formål å undersøke mulighetene for å utvikle metoder for navigering til sjøs i trange farvann i usiktbart vær. Han arbeidet med disse problemene frem til høsten 1938, da han ble utnevnt til ekspedisjonssjef ved den nyopprettede Kulturavdelingen ved Kirke- og Undervisningsdepartementet. Det var Vilhelm Bjerknes som hadde øvet det nødvendige press på myndighetene for å få Kulturavdelingen opprettet, og det var Bjerknes og Sem Sæland som fikk overtalt Devik til å påta seg oppgaven som sjef for avdelingen, med ansvar for de vitenskapelige institusjonene, kringkastingen, biblioteksvesen, kunst og kulturelle spørsmål og meget annet, et overordentlig vidtspent arbeidsfelt.

Men krigen kom, og Devik ble etter kort tid permittert og i 1942 meddelt avskjed fra sitt embete. Like etter ble han kalt til London, hvor han innfant seg våren 1943, etter en temmelig farefull ferd med hele sin familie, i alt 7 personer, over Iddefjorden til Sverige.

Etter krigen fortsatte han som ekspedisjonssjef, og bidro herunder sterkt til at Universitetet i Bergen ble opprettet allerede i 1946. Likeledes var han en av hovedpersonene ved opprettelsen av Norges Almenvitenskapelige Forskningsråd i 1949, hvor han også var medlem en tid. Han var også meget aktiv i forbindelse med utbyggingen av NTH, der radikale tiltak var påkrevet. I 1957 tok han avskjed fra sitt embete ved fylte 70 år, men han fortsatte ennu i mange år som sakkyndig ved vassdragsreguleringer.

I 85 års alder skrev han en meget interessant memoarbok, «Blant fiskere, forskere og andre folk», der han beretter om sitt begivenhetsrike liv.

Han var i 1928 innvalgt som medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab, i 1932 som medlem av Det Norske Videnskaps-Akademi, og i 1956 som medlem av Norges Tekniske Vitenskapsakademi. Han hadde en rekke utmerkelser: den norske St. Olavs Orden, den svenske Nordstjerneorden, den danske Dannebrogsorden, den franske Legion d'Honneur og den belgiske Ordre de la Couronne. Han var æresmedlem av Norsk Geofysisk Forening, som til hans 90-årsdag fikk utgitt et festskrift, «Fra Solatmosfære til Havdyp», med navnene på mer enn 300 gratulanter.

Olaf Deviks interesser favnet vidt, fra den rene naturvitenskap til kunst og kultur i vid forstand. Han var både realist og humanist. Det som særlig preget hans personlighet, var en høyverdig etisk holdning, rettskaffenhet, uegennytte og hjelpsomhet, alltid vennlig og imøtekommende med sin menneskelige varme.

I dyp ærbødighet vil vi minnes Olaf Devik.

Sverre Westin

∞

Fra Redaktørene

Hva som er viktige samfunnsspørsmål og store kriser defineres idag i hovedsak av media: TV, radio og presse. I all beskjedenhet kunne vi som redaktører hoppe på denne karusellen; som fysikere har vi imidlertid visse motforestillinger. I vårt lokale fysikermiljø, hvor Blindernkjelleren – som den alltid har vært – er stedet der «krisene» identifiseres, har vi gjort de samme observasjoner som dagens FFV–Gjest, Tore Olsen; klagefrekvensen er for nedadgående. Dette har flere årsaker.

For det første: Den generelle ressurssituasjonen er blitt bedre. Dette skyldes desverre ikke universitetsbudsjettene, men at midler fra andre kilder i større utstrekning er blitt tilført fysikkmiljøene. For Fysisk institutt i Oslo kommer nå nesten to tredjedeler av drifts- og utstyrsmidlene fra forskningsråd, fonds og industri. Riktignok er disse midlene øremerket, men i de miljøer hvor de er kommet, har de stimulert den faglige vitalitet, forskningen og forskeropplæringen. Det kunne i den sammenheng være fristende å gi Statoil spesiell honnør for sin innsats for norsk faststoffysikk, men vi avstår da vi ikke driver tekstreklame.

For det andre: Fysikk og fysikermiljøene er igjen i fokus. Høytemperatur supraledning er stjerneeksemplet, tett fulgt av supernova og nye gjennombrudd i partikkelfysikk m.m.. Samtidig viser allmennheten stor interesse for kvantefysikkens triumfer. Kort sagt, fysikk med sitt store mangfold og sine mange idéer er igjen på samfunnets «dagsorden».

For det tredje: Den kunnskap og de resultater som er funnet ved nitidig, årelang forskning er nå høyaktuelle langt utenfor laboratorienes vegger. Vår viten om stråling er ett eksempel, og her kan vi nevne det unike datasett om ozonlagets beskaffenhet som fysikere har målt. Men her er det at vi kommer på kollisjonskurs med våre «ordentlige» mediakolleger; målingene gir ikke grunn til panikk, det er ingen akutt krise. Men den slags uttalelser kan lett virke forstoppende på ressurstilgangen, så vi avstår derfor også fra å si noe om dette.

Fysikermøtet 1988, denne gangen i Oslo, vil samle norske fysikere og andre interesserte til foredrag og diskusjoner om disse fascinerende emner og mere til. Og igjen vil Blindernkjelleren være stedet der de store spørsmål, problemer og erfaringer utveksles, med stor begeistring og med entusiasme.

Vel møtt til Fysikermøtet 1988!

∞

FFV-Gjest: Tore Olsen*

På gamle tomter

Mine korte besøk på gamle tomter har i det siste vært udelt positive opplevelser, men det har ikke alltid vært slik. Mange ganger i de siste seks år har jeg vært dratt ned ved kaffebordet i Blindernkjelleren av tidligere kolleger for å bli fortalt hvor bedrøvelige tilstandene var i norsk fysikk. Det er kanskje for sterkt å si at vi nå har et klimaskifte, men noe er i ferd med å skje. Færre klager.

Jeg innrømmer gjerne et snev av misunnelse når fysikere med begeistring forteller meg om de siste rekorder i høytemperatur supraledere og om mammutkonferanser som varer til langt på natt. Det må være moro å være med når slike gjennombrudd skjer. Det vekker også gode minner fra tredve år tilbake. Den kanskje beste tiden i mitt liv som fysiker.

BCS-teorien er nettopp presentert, og jeg jobber i en gruppe i USA som behersker en metode til å måle energigapet relativt direkte. Eksperimentene løper dag og natt, ofte uker i trekk. Foredrag holdes. Publikasjoner skrives. Vi er med der det skjer. Mange er interessert i det vi gjør, og vi blir lagt merke til. Fysikk er gøy.

Slike erfaringer, ikke minst arbeidsfelleskapet i gruppen og samarbeidet med kolleger i andre laboratorier, er intense opplevelser som jeg er glad for å ha hatt. De kommer ikke ofte vil kanskje noen si, med et er neppe helt sant. Det er også opp til fysikerne selv om mange av de mindre gjennombrudd skal skape begeistring over det å være fysiker. De fleste av oss har en eller annen gang arbeidet i miljøer som har mestret dette.

Men, som sagt, ikke alle besøk på gamle tomter har avfødt så behagelige tanker. Ofte fikk jeg inntrykk av at begeistringen for faget var borte. Noen gikk så langt som til å si at de advarte unge studenter mot å velge den vei de selv hadde valgt. Utallige ganger, især for noen år siden, måtte jeg forklare hvorfor politikere kunne si at forskere får det stadig bedre, når forskerne på grunnplanet og især fysikere stadig ble fattigere og fattigere. Begge hadde rett.

Vi har bak oss en lang periode hvor arbeidsforholdene for hver enkelt universitetsforsker har blitt verre samtidig som utgiftene pr. forskerårsverk har økt også i faste priser. Det er det første som merkes sett nedenfra og det andre som synes sett ovenfra. Driftsandelen har blitt salderingsposten, mens lønnsandelen vokste. Det gjelder ikke bare universitetene, men det meste av offentlig virksomhet.

Det er på dette punkt grunn til å rette søkelyset mot våre fagforeninger. Hvorfor bruker ikke foreningene mer energi på å fortelle om institusjonens behov og mindre på å fortelle om medlemmenes behov? I dag har uten tvil institusjonene større udekkede behov enn de mennesker som er ansatt ved institusjonene. Sagt på en annen måte har de fleste ansatte,i alle fall de som er over etableringsfasen, det bedre som privatpersoner enn på jobben. Hjemme har de råd til litt av hvert, men på jobben er det rene smalhans.

Man skal ikke ha sett lenge på ressursfordelingen på universitetene før man oppdager denne skjevheten. Driftsandelen til forskning er skremmende lav sammenlignet med lønnsandelen. Det er en betydelig forskjell mellom driftsutgifter pr. forsker i privat sektor og i universitetssektoren. Forskjellen er så stor at den ikke kan forklares bare ved at universitetsforskerne har mindre lønn, men må bety at forskere i den private sektor har langt flere ressurser rundt seg. Arbeidsbetingelsene er bedre. Å øke ressursene bak hvert forskerårsverk bør derfor være en høyt prioritert oppgave for myndighetene og for institusjonene. Når det er for lite driftsmidler pr. forsker, kan man bedre forholdet ved å øke brøkens teller, men også ved å redusere nevneren. Det er som noen har foreslått, mulig å redusere antallet forskere og overføre pengene til drift, slik at færre forskere hadde mer midler.

*Tore Olsen, tidligere professor i fysikk, UiO, nå ekspedisjonssjef i Kultur og Vitenskapsdepartementet.

Denne vei bør i dag ikke velges, men den bør tenkes igjennom. Motargumentene er tungtveiende. I en tid hvor behovet for kandidater og forskere er voksende, vil endringer som reduserer utdanningskapasiteten være en fullstendig gal strategi. Det er å spise såkornet.

Den mest skremmende side ved de dårlige arbeidsforhold er frustrasjonen hos dem det rammer. Ringvirkningene er store og kan vare lenge. Disse frustrasjoner som ofte får høylydte utløp, kan føre til at rekrutteringen skades på lang sikt. Hvem vil studere hos frustrerte lærere? Jeg har ofte blitt skremt av sterke utsagn fra tidligere kolleger som kun kan gjøre vondt verre. En alt for sterk svartmaling av situasjonen vil skremme neste generasjon bort. Det er en for høy innsats.

Å bedre arbeidsforholdene er en forpliktelse som hviler på myndigheter og på institusjoner, men også på hver enkelt forsker. Det siste glemmes ofte. Noen få universitetslærere sliter seg halvt i hjel for å bedre rammevilkårene eller for å skaffe midler til sin gruppe fra nye kilder. Altfor mange bare klager.

Noen av de mest deprimerende besøk jeg har hatt på gamle tomter, har vært de hvor jeg må lytte til klager på nettopp disse slitere. Innholdet av kritikken kan enten være at sliterne enten ikke sloss for den rette sak eller at de sloss med gale våpen. Den rette sak skifter naturlig nok med ståsted. «Vårt felt er topp. Deres felt er bare sorgen. Her skal vi bare gjøre ditt og for all del ikke datt». Når krybben er tom, bites hestene. Men særlig lurt er det ikke. Her igjen er det nødvendig å tenke lenger både av rekrutteringsgrunner og av faglige.

Fysikk, og for den del all vitenskap, trives best i fellesskap hvor impulser fra mange kanter brytes, og hvor det hersker en gjensidig respekt for andres faglige valg. Faglig ensporethet har skapt mange ufruktbare miljøer.

Norsk fysikk trenger oppmuntring, og norske fysikere trenger oppmuntring. - Og oppmuntring betyr ikke bare mer penger.

∞

Nytt fra skolen

SUPRALEDER – eksperiment

I Fra Fysikkens Verden nr. 1 og 2, 1987,[1,2] omtales ulike nye keramiske supraledere. Her nevnes blant annet at man ved NTH og ved UiO har satt i gang prøvelaging og analysering av slike produkter. Videre antydes det at ethvert skolelaboratorium trolig vil kunne lage disse stoffene ved å blande oksidene av yttrium, barium og kobber i forholdet 1:2:3, og så varme blandingen opp til 1000 °C i 10 timer.

En tid etter disse artiklene i FFV, fikk vi ved Bergen Katedralskole kjennskap til to artikler i New Scientist.[3,4] I disse artiklene omtales i detalj hvordan en gruppe studenter ved Helsby High School i Cheshire i England med stort hell har greid å lage en «High-temperature superconductor».

Etter disse vitamininnsprøytningene bestemte vi oss for å prøve med et tilsvarende eksperiment ved vår skole.

Vi lager en krystall

La oss først se litt på den oppskriften vi brukte. Vi veiet *nøyaktig* opp følgende stoffmengder:

1.13 g yttriumoksid Y_2O_3
3.95 g bariumkarbonat $BaCO_3$
2.39 g kobberoksid CuO

Kjemisk betegnelse for en blandingskrystall av disse stoffene blir $YBa_2Cu_3O_7$. På grunn av molforholdene mellom Y, Ba og Cu kalles blandingen populært for *1:2:3-blandingen.*

Det neste trinn i prosessen var å knuse blandingsstoffene i en morter. Under knusingen var vi nøye med å bruke munnbind, og sørget for god utlufting ved bruk av avtrekksskap. Etter knusingen plasserte vi blandingen i en vanlig keramikkovn med termostat. Ovnen hadde på forhånd stått til forvarming et helt døgn, slik at temperaturen lå stabilt på 930-940 °C. Vi lot blandingen bake seg i ovnen i 12 timer. Temperaturen må *ikke* overstige 960 °C. (Vi hadde først to mislykkede forsøk på grunn av for høy temperatur i ovnen.) Etter at bakingen var ferdig, lot vi blandingen avkjøle seg *langsomt* til værelsestemperatur i løpet av ca.12 timer. Den avkjølte blandingen ble så på nytt knust i en morter.

Nå skulle blandingen presses sammen til briketter. Til dette trengte vi et pressverktøy som tålte meget høyt trykk. Dette verktøyet fikk vi laget på verkstedet ved Fysisk institutt, UiB. Verksmesteren tente straks på oppgaven, og laget en passende stålsylinder med diameter 15 mm, og tilsvarende stempel. Videre var han oss behjelpelig med å presse 1:2:3-blandingen sammen til en brikett med tykkelse ca. 4 mm. Presskraften var 100 kN og presstiden 5 minutter.

Etter sammenpressingen ble briketten igjen plassert i oppvarmet ovn med temperatur 930-940 °C. Her lot vi briketten bake seg i 12 timer. Til slutt lot vi briketten avkjøle seg langsomt inne i

Fig.1. Syv elever som i år leser 2Fy har tatt supraledning som tilvalgsemne. Her testes de supraledende egenskapene hos en av brikettene som elevene laget, ved at briketten føres inn mot et sterkt magnetfelt.

den avslåtte ovnen. Etter oppskriften skal briketten ikke avkjøles hurtigere enn 100 K pr. time. En sakte avkjøling er særlig viktig i temperaturområdet 700-400 °C, fordi det her går for seg en omkrystallisering fra tetragonal til ortogonal fase. I denne delen av avkjølingsprosessen tar krystallen opp mesteparten av det oksygenet som er nødvendig for å bygge opp en supraleder. I vårt tilfelle tok det 10 timer før briketten var avkjølt til bortimot værelsestemperatur.

Vi tester krystallen

Nå nærmet vi oss den spennende og avsluttende delen av eksperimentet. Hadde vi greid å lage en supraleder? For å sjekke dette ville vi nytte oss av den egenskapen ved supraledere at de setter seg *imot* å bli ført inn i et magnetfelt. Vi bandt en sytråd til briketten, holdt den nede i flytende nitrogen med kokepunkt 77 K i noen minutter, og førte så briketten inn mot gapet på en elektromagnet der den magnetiske flukstettheten var 0.20 T. Vår elektromagnet var av det gode, gamle slaget, som hører til et demonstrasjonssett for elektromotorer.

Og spør om vi ble overrasket! Til vår store glede registrerte vi at briketten satte seg kraftig imot å bli ført inn i magnetfeltet. Konklusjonen var helt klar:

Briketten oppførte seg som en SUPRALEDER!!

Forsøk med briketten

Vi startet nå en del mindre eksperimenter med den nedkjølte briketten:

1. Briketten ble holdt i tråden inne i gapet på elektromagneten, uten strøm på magneten. Så satte vi strøm på magneten. Briketten slo *raskt* ut fra magnetfeltet. Tilsvarende forsøk med en femøring gav nesten ikke noe utslag. Dette skulle tyde på at krystallen har *langt* bedre lede-egenskaper enn femøringen.
2. Vi førte briketten inn i magnetfeltet. Briketten stilte seg straks *sidelengs* med magnetfeltlinjene. Tilsvarende forsøk med femøringen gav *samme* resultat, men virkningen var ikke så markert som med briketten. For oss er tolkningen av disse observasjonene noe usikker. Hvis vi tolker det hele som en virkning av induserte overflatestrømmer i henholdsvis krystallen og femøringen, kan observasjonene forklares ved hjelp av Lenz's lov. Dette kunne være fristende i skolesammenheng.

   Men det er mulig at *formen* av prøvelegemet spiller oss et puss, og at likevektsenergien for systemet er *minst*, når legemet står sidelengs i feltet. Her skulle vi gjerne hørt hva spesialistene mener!
3. Vi lot briketten snurre rundt, samtidig som vi førte den inn mot magnetfeltet. Snurringen stoppet straks briketten kom inn i feltet. Tilsvarende forsøk med femøringen gav *samme* resultat, men nå stoppet ikke snurringen så raskt som med briketten.

   Igjen er vi fristet til, i skolesammenheng, å forklare observasjonene ut fra Lenz's lov. Men det er mulig at det hele også nå kan forklares rent energetisk. For ved rotasjon av prøvelegemet i forhold til magnetfeltet må en forvente tap av energi, slik at prøvelegemet til slutt søker mot den laveste energitilstanden, sidelengs med magnetfeltet. Også her skulle vi gjerne høre hva spesialistene mener!

Noe for elevene

Etter vår mening er forsøk med supraledere velegnet i fysikk- og kjemiundervisningen i den videregående skole. Ved vår skole har en gruppe elever som leser 2Fy, valgt supraledning som tilvalgstoff. Disse elevene har *selv* stått for hele produksjonsprosessen, bortsett fra pressing av briketten. Det hele er tatt opp på video, til bruk for interesserte skoler.

En utfordring for lærerne

For oss var det en artig utfordring å få prøve seg på et så ukjent område som «produksjon» av supraledere. Selv om vi hadde visse tekniske problemer med de to første brikettene vi laget, har vi hele tiden følt oss oppmuntret av tanken på at vi arbeidet med materialer som har fremtiden for seg.

Det er vårt håp at dette lille bidrag til «produksjon» av supraledere kan ha interesse for kolleger på skolene omkring i landet. Oppskriften er herved gitt. Så hvorfor ikke forsøke selv?

Noen opplysninger

- Den kritiske temperaturen for vår supraleder er 94 K. Det betyr at krystallen må nedkjøles *under* 94 K for å få egenskaper som en supraleder. Flytende nitrogen er det enkleste kjølemiddel.
- Flytende nitrogen leveres av de store gassprodusentene. Til kortere bruk kan flytende nitrogen oppbevares i en melkekartong som er godt isolert med isopor. Lokket må selvsagt ikke være tettsittende.
- Kjemikaliene til vår supraleder fikk vi utlevert fra et kjemikaliefirma. Men det burde ikke være noe problem med å få de nevnte kjemikaliene fra et læremiddelfirma.
- I Det Beste nr. 1/1988 er det en lettlest artikkel om supraledere.[5] Den egner seg godt som utgangspunkt for diskusjoner med elever som leser 2Fy.

Sluttkommentar

Den formelt sett riktige testen på om en krystall har supraledende egenskaper, får vi ved den såkalte *Meissner-effekten:*

> Krystallen plasseres i et sterkt magnetfelt, og blir *deretter* nedkjølt. Når temperaturen i krystallen passerer den kritiske temperatur, skal krystallen bli støtt ut av magnetfeltet såfremt den er supraledende.

Vi har hatt visse problemer med denne testen av våre krystaller. Men i følge FFV[2] skulle vår omtalte hovedtest av krystallene *også* være en brukbar variant av Meissner-effekten. På dette punktet vet vi at mange lærere i den videregående skolen gjerne ønsker en avklaring. Det hadde vært flott om en av våre spesialister kunne kommentere dette i FFV.

Referanser

1. K. Fossheim, Fra Fysikkens Verden, **49**, 19 (1987).
2. O. Steinsvoll og J.L. McCauley, Fra Fysikkens Verden, **49**, 43 (1987).
3. New Scientist, 9. juli 1987, s.14.
4. P. Grant, New Scientist, 30. juli 1987, s. 36.
5. M.D. Lemonick, Det Beste, januar 1988, s. 9.

Bergen katedralskole, 17. 3. 1988.

Svein Solheimsnes *Øystein Falch*

∞

Husk Kontingenten!

SuperNova 1987A – Århundredets «stjernesmell»

*Olav Kjeldseth-Moe**

Umiddelbart etter at lyset fra den første synlige supernova på nesten 400 år nådde jorden den 23. februar 1987, ble nesten alt tilgjengelig astronomisk måleutstyr rettet mot den Store Magellanske Sky, hvor denne gigantiske stjerneeksplosjon fant sted for 170 000 år siden. For første gang har astrofysikerne fått en unik anledning til å følge en stjerneeksplosjon på «nært» hold med sine moderne måleinstrumenter.

Observasjoner av supernovaer er ikke så sjeldne, hvert år registrerer astronomene 10-20 slike hendelser i ytre galakser. Selv om disse supernovaene er lyssterke så er de likevel altfor langt unna til at de kan sees med det blotte øye. Av slike synlige supernovaer kjenner en med sikkerhet bare 7 de siste 2000 år.[1] Den siste var den såkalte Keplers supernova i 1604. Før den hadde en Tychos supernova i 1572. Disse supernovaene er oppkalt etter sin tids fremste astronomer som begge var så heldige at de personlig opplevde et av universets mest imponerende skuespill, en stjerneeksplosjon som ofte kaster flere solmasser med gass ut i en ekspanderende gass-sky og etterlater stjernen som en nøytronstjerne eller kanskje et sort hull.

Den supernovaen som blusset opp den 23. februar i 1987 lå imidlertid heller ikke i vår galakse. Lyset, som hadde brukt 170,000 år på å nå oss, kom fra en supernova i den Store Magellanske Sky. Dette er en liten satellitt-galakse til vårt eget mye større melkeveisystem. De Magellanske Skyer, to slike små galakser, ligger på den sydlige himmelhalvkule, på nokså høy sydlig bredde. De er derfor ikke synlige i de fleste land på den nordlige halvkule. Heldigvis har en i de siste 20-30 år bygget ut en rekke gode observatorier i land syd for ekvator. Især kan en nevne de amerikanske og europeiske installasjoner flere steder i Chile i Sør-Amerika. Den første meldingen om at supernovaen var oppdaget kom da også fra Las Campanas observatoriet i Chile, hvor den kanadiske astronomen Ian Shelton akkurat på dette tidspunkt tok lange eksponeringer av den Store Magellanske Sky for helt andre formål. Uavhengige oppdagelser skjedde i Australia, og snart var de beste instrumenter på den sydlige halvkule rettet mot supernovaen. Bidet på omslagssiden viser Den Store Magellanske Sky før og etter utbruddet av supernova 1987A, 23. februar 1987.

Ikke bare optiske instrumenter på bakken ble brukt. International Ultraviolet Explorer, et satellitt-observatorium for studiet av ultrafiolette spektra fra kosmiske objekter, ble raskt tatt i bruk. Det samme gjaldt diverse røntgen og gamma instrumenter på amerikanske, russiske og japanske satellitter. Og ikke minst ble data fra de nye nøytrino detektorene i Japan, USA, Europa og Sovjet nøye undersøkt i håp om å finne spor etter de nøytrinoer som teoretikerne hadde forutsagt skulle lages i stjerne-eksplosjoner.

I tiden etter oppdagelsen har en derfor kunnet samle et rikt materiale om SN 1987A, Selv om også denne supernovaen ligger utenfor vår galakse er den nær nok til at en for første gang kan identifisere hvilken stjerne som har eksplodert. Videre har en i mer detalj enn noen gang tidligere kunne studere utviklingen av lysstyrken med tiden, den så kalte lyskurven, samt kartlegge de dynamiske forhold i gassen som kastes ut fra eksplosjonen. Disse observasjonene har alt snudd opp-ned på en rekke av de tidligere forestillinger om supernovaer. Men mest oppsiktsvekkende har det nok vært at en for første gang har observert nøytrinoer fra en supernova eksplosjon. Dermed har en fått bekreftet teorier om stjerners utvikling og død som hittil har hvilt på antagelser og beregninger.

I neste avsnitt beskrives resultatene fra arbeidet med å identifisere den stjernen som eksploderte. Deretter beskrives utviklingen av lysstyrken og spekteret til SN 1987A, med et kort sidesprang til de mer spekulative men interessante modellberegninger. I siste avsnitt gjør vi rede for de oppsiktsvekkende observasjonene av nøytrinoer fra SN 1987A.

Identifikasjon av SN 1987A - Progenitorstjernen

Et av de første spørsmål som ble reist var hvilken stjerne som hadde eksplodert. Supernovaen falt sammen med en stjerne i den Store Magellanske Sky som gikk under betegnelsen Sk -69 202. (Sk for Sanduleak er betegnelsen på en katalog publisert i 1970, mens -69 angir stjernens sydlige bredde på himmelkulen.) Problemet var bare at Sk -69 202 var en såkalt blå kjempestjerne. I følge gjeldende «lærebok» om supernovaer kunne slike stjerner ikke være det umiddelbare opphav til stjerne-eksplosjoner. En hadde inntil nå regnet at det var røde kjempestjerner med atskillig kaldere overflater som eksploderte. Dette ble begrunnet fra beregninger av stjerneutvikling som var gjort over en årrekke. Siden alle moderne supernovaer var sett i ytre galakser hadde ingen i virkeligheten observert hva slags stjerner som eksploderte. Det ble derfor foreslått at den stjernen som hadde eksplodert ikke var Sk -69 202, men en annen mer passende rød stjerne som i hvert fall tilsynelatende lå så nær den blå superkjempen at den ikke kunne skilles fra denne.

Til å begynne med ble disse antagelsene støttet av UV-observasjonene med satellittobservatoriet International Ultraviolet Explorer - IUE. Disse observasjonene, som vi senere kommer tilbake til, viste at lysstyrken under 200 nm avtok meget raskt. Etter noen få dager stoppet imidlertid minkingen i UV intensitet og en hadde et spektrum som minte sterkt om det en forventet fra en sterkt lysende varm, og dermed blå, stjerne. Imidlertid viste posisjonsmålinger at supernovaen falt sammen med posisjonen til Sk -69 202 innenfor 0,1 buesekund. Dette er en uvanlig høy presisjon i måling av en stjerneposisjon og skyldes nok det store arbeid en la i denne spesielle målingen.

Videre viste de gamle platene at Sk -69 202 var en multippel stjerne. En nærliggende stjerne var ganske tydelig synlig på de tidligere opptak en hadde. Nå ble de gamle bildene studert med raffinerte metoder, hvor en benyttet en subtraksjonsteknikk. Bildet av en enkelt-stjerne på samme plate og med

*Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo.

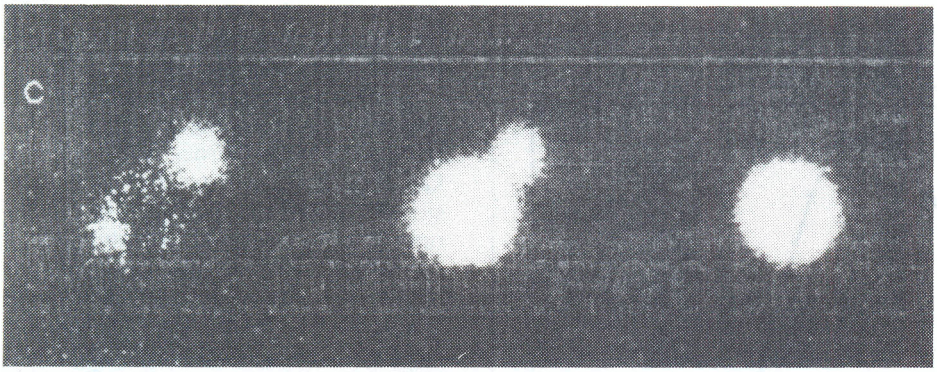


Fig.1. Bestemmelse av komponenter for Sk -69°202 ved subtraksjonsteknikk. Opprinnelig bilde av den sammensatte kilden i midten, referansestjernen til høyre og restbilde etter subtraksjon til venstre.

samme blå farge og lysstyrke som Sk -69 202 ble trukket fra bildet av Sk -69 202. Denne prosessen er illustrert i fig. 1. På lange eksponeringer hvor lyset fra Sk -69 202 mettet filmemulsjonen, skilte nabostjernen seg klart ut som en lysende flekk nord-øst for hovedstjernen i en avstand av omtrent 3 buesekunder. Men nesten diametralt på den andre, syd-vestlige, siden av stjernen så en enda en lysende flekk i vinkelavstand 1,5 buesekund. Sk -69 202 bestod altså av 3 komponenter!

Senere har en også gjort forsøk på å skille ut en eventuell 4de komponent som skulle ligge syd for hoved-stjernen adskilt fra denne med bare 0,4 buesekund. Dette resultatet er likevel meget usikkert. En har nok presset så mye informasjon ut av de eldre bildene som det er mulig. Opptak som er gjort med en spesiell teknikk, «speciale interferometry», etter at supernovaen eksploderte viser til tider et fjerde lysende område. En har spekulert på om dette er en rettet jet av gass ut fra eksplosjonen. Disse observasjonene trenger imidlertid å bli bekreftet senere.

Konklusjonen av posisjonsmålingene blir at progenitor for supernovaen er den blå superkjempen Sk -69 202. De andre komponentene ligger for lang unna den målte posisjon for supernovaen. Det faktum at en i ultrafiolett under 200-300 nm nå ser det typiske spektrum for en blå stjerne kan ved nærmer ettersyn forklares dersom de to gjenværende stjernene, som ikke kan skilles fra Sk -69 202 med IUE, er vanlige kjempestjerner med tilnærmet samme overflatetemperatur som superkjempen før eksplosjonen. Slike kjempestjerner forventes å være omtrent 10 ganger lyssvakere enn den tilsvarende varme superkjempen. Dette stemmer godt med målinger både fra IUE og fra bakken som indikerer at de to gjenværende stjernene er 16 og 22 ganger svakere enn superkjempen og har temperaturer på 20.000 K og 25.000 K.

Videre kan en si forholdsvis sikkert at en ikke har noen rød stjerne i samme posisjon som supernovaen. Subtraksjon av en blå stjerne fra en kilde som er sammensatt av både en blå og en rød komponent burde klart avdekke den røde stjernen. Særlig gjelder dette dersom subtraksjonen gjøres på et bilde tatt gjennom et rødt filter. Foruten målinger på de gamle platene har en også studert UV-spektrogrammer fra IUE meget nøye med sikte på å avdekke multiple kilder for strålingen. Fra disse målingene synes det i dag ikke mulig å tilpasse resultatene til en situasjon hvor den opprinnelige blå superkjempen fremdeles er tilstede.

Lyskurven og spektralvariasjonene av SN 1987A

Etter en raffinert datareduksjon kunne en altså slå fast at den eksploderende stjernen uventet nok var en blå superkjempe. Før en kom så langt var det imidlertid klart at verken lyskurven eller lysstyrken for SN 1987A stemte særlig godt med det en forventet fra observasjoner av supernovaer i fjerne galakser. Videre ble gassen slynget ut fra supernovaen med uventede hastigheter. Tilsammen førte de tilsynelatende motstridende observasjonsresultatene til at en tok opp på nytt en dyptgående diskusjon av de fysiske modeller for supernovafenomenet.

Forløpet av lysstyrken, som er vist i fig. 2, ga den første klare indikasjon på at SN 1987A passet dårlig med begge standardtyper for supernovaer. Istedet for å stige raskt til en maksimal lysstyrke hadde SN 1987A først et tidlig maksimum en faktor 15 under det en venter for en type II supernova og mer enn 200 ganger under gjennomsnittet for en type I eksplosjon. Deretter avtok intensiteten i synlig lys i noen dager for så langsomt igjen å øke. Et nytt og nokså flatt maksimum ble nådd 70-80 dager senere. Fremdeles lå intensiteten en faktor 5 og 70 under de «kanoniske» verdier for supernovaer av henholdsvis type II og I. Egentlig er det den langsomme stigningen til et sekundært maksimum som mest skiller SN 1987A fra andre supernovaer. Variasjonen i maksimal intensi-

Supernovaer

En har delt inn supernovaer i to typer. Type I er de sterkeste. De når maksimale lysstyrker på omtrent $4 \cdot 10^9$ ganger solens lysstyrke. Etter maksimum avtar lysstyrken raskt med en faktor 5 - 15 i løpet av de neste 20 til 30 dagene og deretter eksponensielt med en e-foldningstid som ofte er 55 dager. Denne falltiden for intensiteten regner en er forbundet med radioaktiv nedbryting av Californium. Alle lyskurvene forløper nokså likt og de maksimale lysstyrker er relativt like.

Supernovaer av type II er svakere, med maksimale lysstyrker 5-10 ganger lavere enn type I supernovaer. Lysstyrken avtar først raskere og senere langsommere enn for type I. Type II viser større variasjon i maksimal lysstyrke (typisk en faktor 30) og intensitetsforløp enn type I. Videre kastes gassen ut fra type II eksplosjoner med lavere hastighet enn i type I supernovaer. Typiske ekspansjonshastigheter er henholdsvis 5000 km/s og 20000 km/s. En annen vesentlig forskjell er at type I ikke viser spektrallinjer fra hydrogen og i motsetning til type II, heller ikke stråler i radioområdet noen måneder etter eksplosjonen.

En har regnet med at de to typene svarte til to forskjellige måter å lage supernovaeksplosjoner. Type I var dobbeltstjernesystemer hvor den ene stjernen var utbrent, en hvit dverg. Hvite dverger består av degenerert metall-gass og dannes bare dersom massen ligger under den såkalte Chandrasekhar grensen. Denne grensen er på ca. 1,4 solmasser, men avhenger litt av stjernens nøyaktige sammensetning. I slike stjerner kan trykket ikke økes ved at stjerne presses mer sammen. Gasstrykket i det indre av stjernen kan derfor ikke «bære» en mer massiv stjerne. En har tenkt seg at en type I supernova oppstår når den hvite dvergen får «påfylt» masse fra sin nabo inntil den totale masse for stjernen overstiger Chandrasekhar grensen. Den hvite dvergen vil da falle sammen i løpet av mindre enn ett sekund. Den frigjorte gravitasjonsenergien vil varme opp og akselerere den gjenværende gassen i en kjempestor eksplosjon.

Type II supernovaer har en antatt var massive stjerner, mye tyngre enn vår sol, som gjennom et kort, men hektisk liv på noen få millioner år brente opp sitt hydrogen og helium i kjernen før de falt sammen på grunn av manglende brennstoff for kjernereaksjoner.

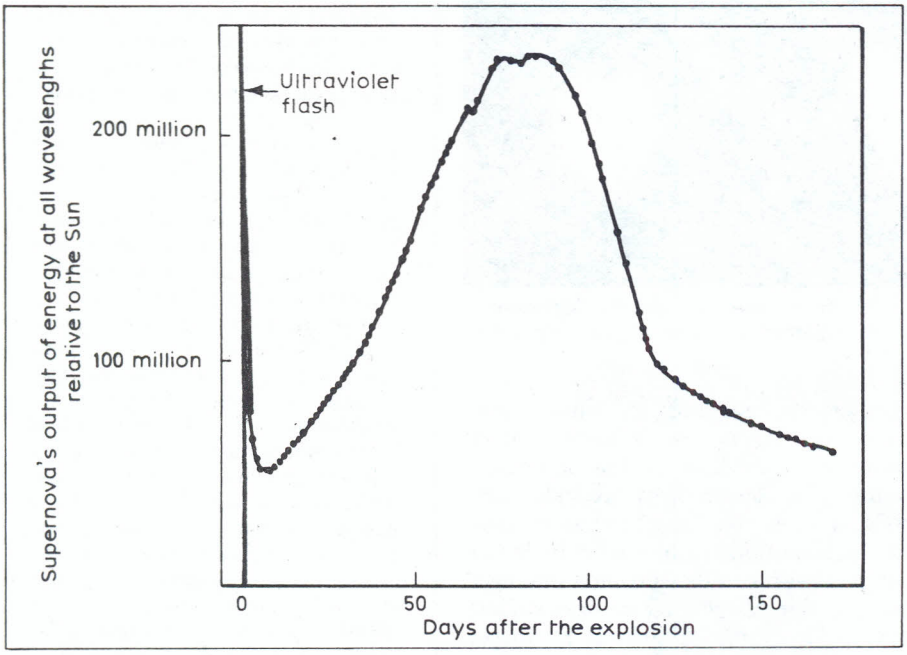


Fig.2. Lyskurven for Sn 1987A fram til dag 150 (Fra ref. 2).

tet for type II supernovaer er ganske stor og det er blitt påpekt at fra omtrent 80 dager etter eksplosjonen ligner lyskurven ganske mye på det som ventes fra en type II supernova. Sekundære maksima er også observert før, selv om de ikke er vanlige. Men det er tidligere ikke sett at det sekundære maksimum kommer først 80 dager etter eksplosjonen.

Før vi forlater lyskurven må en nevne to tidlige observasjoner som ikke er tatt med i fig. 2. Ved en tilfeldighet ble det i Australia gjort en observasjon av lysstyrken mens supernovaen ennå var i en meget tidlig fase, bare 3,05 timer etter tidspunktet for eksplosjonen satt til den 23. februar kl 07:35 UT. På denne tiden lå intensiteten ennå en faktor 2,5 under det en målte da supernovaen ble «offisielt» oppdaget fra Las Campanas 19 timer senere. En enda tidligere observasjon ble gjort bare 1,77 timer etter eksplosjonen og setter en øvre grense på intensiteten på dette tidspunkt. Disse to usedvanlig tidlige observasjonene er meget viktige på grunn av de strenge betingelser de gir for modeller av supernovaen. Hastighetene i supernovaen var også uvanlige. Fra Dopplerforskyvninger i sterke spektrallinjer målte en de første dagene hastigheter på 15.000 - 20.000 km/s. Dette kunne tyde på at en trass den lave lysstyrken hadde å gjøre med en type I supernova. Forskjellige linjer ga imidlertid nokså forskjellige verdier og etter hvert avtok hastighetene betydelig. Etter 30-40 dager målte en hastigheter i sterke linjer på 6000 km/s mens svake linjer fra f.eks. ionisert jern viste utvidelseshastigheter på 2000 km/s. Disse hastighetene har senere ikke avtatt mye.

Videre ble fargen av supernovaen raskt rødere. Dette var særlig dramatisk i ultrafiolett hvor spekteret under 170 nm var helt borte litt over 5 dager etter eksplosjonen. Her minket intensiteten med en faktor 1000 på de tre dager en kunne følge supernovaen med IUE. Etter ytterligere noen dager forsvant all målbar stråling i ultrafiolett under 260 nm. Tendensen til en stadig rødere farge går forøvrig igjen gjennom hele spekteret. Dette er da også det en ville forvente dersom strålingen kommer fra en sky av ekspanderende gass som etter hvert utvider seg og avkjøles. Det er altså en klar sammenheng mellom den raske avkjølingen og de høye ekspansjonshastighetene. Radio- og røntgenstråling er også målt fra SN 1987A. Stråling i radioområdet registrerte en bare de aller første dagene. Røntgenstråling kan en bare måle fra satellitter og for tiden er det forholdsvis få røntgenobservatorier i bane. Likevel har en sett røntgenstråling fra supernovaen med instrumenter både på den ubemannede japanske Ginga og på den russiske romstasjonen Mir. Ginga ble skutt opp bare tre uker før supernovaen eksploderte. Den første røntgenstrålingen ble registrert forholdsvis sent, i august/september flere måneder etter eksplosjonen. «Myk» røntgenstråling under 2 keV er ikke målt. Derimot ser en hard røntgenstråling opp til 200 keV. Fluksen av denne strålingen er nokså konstant, men øker langsomt. Stråling i gamma-området kom omtrent samtidig med røntgenstrålingen, men ble først rapportert to måneder senere.

Det er vanskelig å tolke røntgenstrålingen som stråling fra en pulsar, en roterende nøytronstjerne, som kanskje kan bli dannet som resultat av eksplosjonen. Termisk stråling fra sjokkoppvarmet gass rundt supernovaen er en mulighet for å forklare strålingen under 10 keV, men en regner med at stordelen av røntgenstrålingen er avledet fra enda mer energirike fotoner dannet ved radioaktive prosesser i gassen. Dette ble bekreftet da gammastrålingen ble observert. Gammastrålingen var forutsagt, men ble observert uventet tidlig. Gammaspektret viste videre tydelige emisjonslinjer ved 847 keV og 1238 keV. Disse energiene svarer til fotoner som sendes ut når Co^{56} går over til Fe^{56}.

Den direkte påvisningen av Co^{56} bekrefter de teoretiske beregninger som viser at tunge grunnstoffer bygges opp under supernovaeksplosjoner. Samtidig regner en med at den radioaktive overgangen $Co^{56} \rightarrow Fe^{56}$ er energikilden for all stråling fra SN 1987A i de senere faser, mer enn 4 måneder etter eksplosjonen. Som en ser fra fig. 2 avtar lyset fra SN 1987A eksponensielt etter dag 120. Den «lineære» trend i den logaritmiske lyskurven fortsetter så langt en har målt til nå.

Avhengig av de metoder som brukes for å sette sammen intensitetsmålinger for flere spektralområder får en verdier mellom 104 og 113 dager for den karakteristiske falltid for lysstyrken. Dette er lenger enn de 55 dager som ofte observeres for type I supernovaer, men stemmer bra med e-foldningstiden for $Co^{56} \rightarrow Fe^{56}$, 111 dager.

En fysisk modell for SN 1987A

Det fysiske bildet en til nå er blitt stående ved er at SN 1987A er en eksploderende stjerne, en type II supernova. Denne supernovaen har imidlertid flere uvanlige trekk. Det at en blå stjerne eksploderte mener en å kunne forstå ved at stjernene i den Store Magellanske Sky har lavere metallinnhold enn unge stjerner i vår galakse. Dette gir en annen utviklingsvei for de massive stjernene fra de havner på hovedserien og begynner å forbrenne sitt hydrogen, til de eventuelt eksploderer eller avgår ved en mer stille død. Gangen i denne utviklingen er likevel ikke helt avklart. Fra beregninger av stjerners utvikling er det ikke klart om progenitor for SN 1987A har passert gjennom en periode som rød superkjempe før stjernen ble mer blå. En slik forvandling fra rød til blå superkjempe

tenker en kan være forårsaket av et stort massetap fra stjernen. At en har sterk utstrømning fra røde superkjemper er meget vel fastslått fra observasjoner. En regner med at en stjerne i løpet av sin tid som rød superkjempe kan miste flere solmasser. Problemet er ikke akademisk, men griper inn i vår forståelse av stjerneutvikling. Dersom stjernen har vært en rød superkjempe med sterk stellar vind vil den ha et tykt lag av gass og støv rundt seg. Stjernens nærmeste omgivelser skulle imidlertid være blåst ren for støv av lystrykket fra den blå progenitorstjernen. Lenger borte fra stjernen skulle imidlertid et støvlag kunne observeres fra det supernovalys som reflekteres eller spres på støvkorn og gassmolekyler. Den første observasjon av et slikt «lys-ekko» ble da også gjort i mars i år, vel ett år etter at supernovaen først ble oppdaget. Fra spektret til den lysende ringen rundt supernovaen er det klart at det dreier seg om reflekser fra det opprinnelige lysblaffet de første timene etter eksplosjonen, før supernovaen ble oppdaget.

SN 1987A steg til det første lysmaksimum i løpet av noen få timer. Vanligvis er denne stigetiden flere dager. Både den raske stigetiden, den lave lysstyrken ved maksimum og de relativt høye hastighetene i gassen kan forklares ved at eksplosjonen foregår i en blå superkjempe. Fra tidligere modellbetraktninger av sjokkbølger i en gass-sky hvor både energi og trykk domineres av fotongassen har en funnet skaleringslover for lyskurver og hastigheter som funksjon av stjernemasse og radius. Disse skaleringene gir resultater som stemmer bra med observasjonene både av SN 1987A og av de andre supernovaene fra røde kjempestjerner som har eksplodert i ytre galakser. Det er viktig å bruke de riktige verdiene for stjernradiene, som er 100 ganger større for røde superkjemper enn for blå.

Den langsomme stigning i lysstyrken til et sekundært maksimum etter 80 dager er vanskeligere å forklare. Energitilførsel fra sjokkbølger, fra radioaktive prosesser og fra en sentral pulsar er mekanismer som er foreslått. Vi har alt nevnt at spaltning av radioaktivt kobolt til jern er ansvarlig for den avsluttende del av lyskurven. Senere vil kanskje den pulsaren en tror er dannet, komme direkte til syne. For alle bølgelengder fra røntgen til radio, vil det imidlertid ta flere år før gassen er gjennomsiktig nok til at det kan skje.

De beste modellene til nå for SN 1987A bygger på tidligere regninger og antagelser for andre supernovaer. Estimatene inneholder mange forenklinger og frie parametere som er valgt ad hoc. Et eksempel på en fri parameter er masseutvekslingen mellom stjernens kjerne og envelope. Denne bestemmes dårlig fra teoretiske anslag, men kan nå måles godt fra mengden av radioaktivt kobolt som ble slynget ut i eksplosjonen og som nå bidrar med det meste av energien til lyskurven. Arbeidet med å forbedre regnemetodene, spesielt på dette punkt, skulle øke forståelsen for de prosessene som bygger opp de tunge grunnstoffene og bringer dem ut av stjernenes indre. Til oppsummering kan en si at supernovaeksplosjonen trolig har slynget mellom 4 og 7 solmasser ut fra stjernen med hastigheter på flere tusen km/s. Dette svarer til kinetiske energier av størrelse 10^{51} erg. Den totale utstråling til nå har vært omtrent 10^{48} erg. Mesteparten av den gravitasjonsenergi som ble frigjort da stjernen falt sammen, kanskje $3 \cdot 10^{53}$ erg, ble imidlertid strålt ut som nøytrinoer. Det mest sensasjonelle ved supernovaen i februar 1987 var at en for første gang kunne måle nøytrinofluksen, og dermed bekrefte det resultat som tidligere var forutsagt ved modellberegninger.

Nøytrinoer fra SN 1987A

I løpet av våren 1987 meldte fire nøytrino-observatorier at de hadde sett signaler som ble tolket som nøytrinoer fra SN 1987A. Først ute var Mont Blanc observatoriet, et italiensk-sovjetisk samarbeidsprosjekt som benytter en 90 tonns væskescintillator som detektor. Dette nøytrino teleskopet hadde vært i drift siden oktober 1984. Signalet bestod av fem pulser som ankom i løpet av 7 sekund den 23. februar ca. 3 timer etter midnatt UT. Det ble angitt at sannsynligheten for at et slikt signal skulle sammentreffe med supernovaen var uhyre lav, 1 tilfelle på 10.000 år.

Senere opplyste det japanske observatoriet Kamiokande II og det amerikanske IMB (IMB står for Irvine-Michigan-Brookhaven etter de tre institusjonene som samarbeider om prosjektet.) at de observerte 11 og 8 «events» fra supernovaen. Imidlertid ankom disse signalene hele 4,5 timer etter det tidspunkt som ble angitt fra Mont Blanc observatoriet. Et fjerde observatorium, det sovjetiske Baksan, rapporterte senere om tre signaler 30 sekunder etter det tidspunkt som ble angitt for IMB[1].

I ettertid har astrofysikerene blitt stående ved signalene fra Kamiokande og IMB som de som virkelig kommer fra SN 1987A. En har av flere forskjellig grunner forkastet Mont Blanc observasjonene, likevel uten at problemet med disse kan sies å være endelig løst.

Både Kamiokande og IMB bruker Čerenkov stråling fra elektroner i vann til å detektere nøytrinoene. De består av store tanker med super-rent vann som er omgitt av et grid med fotomultiplikatorer. Disse fotomultiplikatorene har store areal (diametere på 50 og 20 cm) og sitter 1 meter fra hverandre. Vannmengdene i de to observatoriene er henholdsvis 2140 tonn og 5000 tonn. Likevel er Kamiokande det mest følsomme på grunn av et mye større areal installerte fotomultiplikatorer. Nedre grense for følsomheten er nær 5 og 16 MeV for de to detektorene.

En regner at Čerenkov strålingen kan oppstå ved to prosesser i disse detektoren:

1. Elastiske kollisjoner mellom elektroner og elektron-nøytrinoer,

$$e\nu_e \dashrightarrow e\nu_e.$$

2. Absorpsjon av elektron anti-nøytrinoer,

$$\tilde{\nu}_e p \rightarrow e^+ n,$$

hvor det altså sendes ut et positron.

Ved kollisjonene gis elektronet eller positronet en hastighet som overstiger lyshastigheten i vann. Det sender da ut Čerenkov stråling i en kjegle framover langs bevegelsesretningen og dette lyset registreres av fotomultiplikatorene. Det viser seg at for de nøytrinoenergier det her er tale om er tverrsnittet for absorpsjonsprosessen omtrent 100 ganger større enn tverrsnittet for den elastiske prosessen. Det er derfor nøytrino absorpsjon snarere enn spredning som har forårsaket de signaler en observerer i forbindelse med SN 1987A. I motsetning til tilfellet med elastisk spredning sendes positronene ut tilnærmet isotropt. Det gjør det vanskelig å si noe om retningen for de innkommende nøytrinoer i denne prosessen.

Tidspunktet for det første signal i IMB detektoren er nøyaktig målt til 7:35:41.37 UT den 23. februar 1987. Det bør understrekes at dette er den eneste helt nøyaktige tidsangivelse en har. For Kamiokande oppgis det første signalet til 7:35:35 +/- 1 minutt. Denne usikkerheten gjelder bare det absolutte tidspunktet. Den innbyrdes avstand i ankomsttid mellom de registrerte nøytrinoene er nøyaktig målt. Den målte retningen for de strålende elektronene bekrefter at de fleste, og muligens alle registreringene skyldes nøytrino absorpsjon. Et mulig unntak er de to første nøytrinoer i Kamiokande, hvor retningene ligger innenfor 20 grader fra retningen til den Store Magellanske Sky. Det har vært hevdet at disse to nøytrinoer kan være en manifestasjon av to kortvarige og sterke pulser av elektron nøytrinoer som etter teorien skal sendes ut tid-

lig i en supernova eksplosjon. Den første pulsen kommer fra den opprinnelige kjerne- kollaps mens kjernen ennå er optisk tynn for nøytrinostrålingen. Den andre pulsen skulle komme idet den sjokkbølgen som spretter tilbake fra maksimal sammentrykking av de indre lag når overflaten i den nydannede nøytronkjernen. Disse to pulsene varer noen få mikrosekunder. Den senere strålingen kommer fra den termisk kjølnende nøytronkjernen i løpet av de følgene 3-4 sekunder.

Disse spekulasjonen er interessante, men kan neppe bekreftes fra det materialet som foreligger. De illustrerer en tendens til å legge for mye i de 19 registrerte «events» fra Kamiokande og IMB. De nyeste avhandlingene om emnet understreker da også dette. Det er bare mulig å angi sannsynlige verdier, med usikkerhets-grenser, for de parametere en er interessert i å bestemme fra nøytrino spekteret. I fig. 3 er de registrerte nøytrinoer angitt med sin ankomst-tid og energi i MeV. Figurene inneholder data både fra Kamiokande og IMB. En har satt tids- punktet for første nøytrino i Kamiokande til samme tid som første registrering i IMB. Dette er gjort for å understreke at en i betraktning av den angitte tidsusikkerhet for Kamiokande-målingen betrakter de to måleseriene som samtidige i virkeligheten. I praksis kan en håpe at resultatene er lite påvirket av dette, noe en også prøver å oppnå ved å analysere Kamiokande og IMB data separat, i tillegg til å betrakte hele målesettet samlet. Hvor sikker kan en så være er en på at de målte events skyldes supernovaen? Bakgrunnsstrålingen i både Kamiokande og IMB skyldes hovedsaklig energirike muoner fra den kosmiske stråling som forårsaker kaskader av energirike elektroner. Disse signalene har imidlertid spesielle signaturer med hensyn til f.eks. energi og retning på elektronene og lar seg i prinsippet skille fra nøytrinosignalene. En k n også betrakte fordelingene av antall.t «events» i en 10 sekunders periode. Sjansen for tilfeldig å få de 8 første «events» i Kamiokande detektoren i en ti-sekunds periode angis til mindre enn 1 i løpet av flere millioner år. Observasjonen kunne altså ikke skjedd tilfeldig og heller ikke være forårsaket av muoner med noen grad av rimelig sannsynlighet. De parametere en forsøker å utlede fra dataene er både av astrofysisk og generell fysisk art. Mest interesse for det brede fysiske miljø har nok forsøkene på å utlede en masse for nøytrinoene fra ankomsttider og energi. Men dessuten er astrofysikerne interessert i størrelser som : nøytrinofluks, utstrålt energi, radius, temperatur og avkjølingstid for supernovakjernen. Om massebestemmelsene er det skrevet en rekke

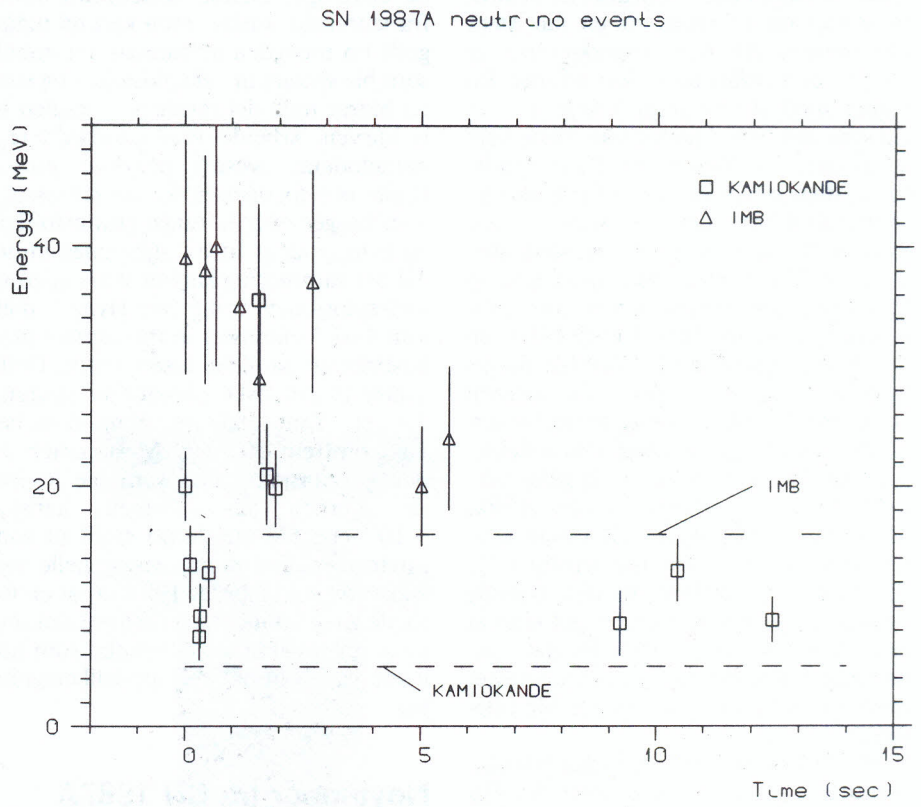


Fig.3. Nøytrino-observasjoner fra Kamiokande og IMB.

artikler allerede. En har tillagt nøytrinoet flere masse komponenter og flere forskjellige verdier for massen er lansert. Alt 2 april kom det imidlertid en artikkel av Bachall og Glashow i Nature,[3] som understreket at en bare kunne bruke nøytrinomålingene til å sette grenseverdier for nøytrinomassen og til å bestemme masseverdier med en viss grad av sannsynlighet, men ikke med noen form for sikkerhet. Et arbeid kort tid etter av Arnett og Rosner[4] bekreftet dette resultatet. Den grenseverdien som ble oppgitt for massen av anti-elektron nøytrinoet var:

$$11\ \mathrm{eV}/c^2.$$

Resonnementet i begge disse arbeidene bygger i sin enkleste form på varigheten av den målte nøytrinostrålingen. Den observerte tid for ankomsten av et nøytrino med masse m og energi E kan beregnes fra

$$t_{obs} - t_{em} = t_0(1{,}0 + {}^1/_2(m/E)^2),$$

hvor t_{em} er tiden da nøytrinoet ble sendt fra kilden og t_0 den tid lyset bruker fra den Store Magellanske Sky til jorden, ca. $5{,}3 \cdot 10^{12}$ sekund.

Nå ville det vært greit om nøytrinoene med størst energi hadde ankommet først, men som dataene fra Kamiokande viser er dette ikke tilfelle. Som senere statistiske analyser har vist skulle en heller ikke egentlig vente en slik oppførsel, selv om nøytrinoer har masse. Dette skyldes at antallet observerte nøytrinoer er så lite. Det trengs videre en forutsetning om den maksimale varighet av nøytrinoemisjonen fra supernova kjernen. Både Rosner/Arnett[4] og Bachall/Glashow[3] regner det lite trolig at denne varer mer enn 4 sekunder. Dette kan rettferdiggjøres fra teoretiske modeller for kjernens kollaps. Ser en bort fra de tre siste nøytrinoene i Kamiokande-serien får en så den angitte grenseverdi. Begrunnelsen for å sløyfe disse datapunktene er at de representerer nøytrinoer med lav energi trolig utsendt fra kilden etter det opprinnelige sterke utbrudd av varighet 2-4 sekund. Tar en med alle Kamiokande data øker grensen til 27 eV/c^2, mens IMB dataene alene gir en grenseverdi på 16 eV/c^2. Disse kan betraktes som ganske sikre grenser som er i konflikt med den nedre grenseverdi som har vært angitt for nøytrinomassen fra sovjetiske laboratoriemålinger.

Etter disse tidlige undersøkelsene har det vært gjort mer grundige statistiske undersøkelser av materialet som også utleder de astrofysiske parametrene. En har her gjort statistiske sammenligninger mellom observasjoner og beregninger hvor en ser på utsendelsen av nøytrinoer fra en strålende supernova-kjerne med en viss størrelse, temperatur, kjøletid og et energispektrum som oftest antas å være beskrevet ved en Fermi-Dirac fordeling. Det gjøres et meget stort antall beregninger hvor en varierer disse parametrene. Samtidig simulerer en re-

aksjonene i detektorene. Statistisk oppnår en de beste overensstemmelser for nøytrinomasser på 4 eV/c^2, men det må understrekes at det er liten grunn fra det materialet en har til i det hele å sette en nøytrinomasse som er forskjellig fra 0.

For øvrig kan en på lignende måter variere de andre parametrene og avlede grenseverdier for temperatur, fluks og kjøletid. Litt varierende verdier oppnås i de forskjellige arbeider som er kommet til nå, men stort sett kommer de ulike undersøkelsene fram til samme resultat. For eksempel finner Spergel et al.[5] at maksimal temperatur er 4,2 MeV, med en kjøletid på 4,5 sekund. Nøytronkjernen har en radius på 27 km og den totale fluks er $6{,}1 \cdot 10^{52}$ erg for elektron antinøytrinoene. Antar en lik fordeling av emittert energi på de forskjellige typer av nøytrinoer skulle dette gi $2 \cdot 10^{53}$ erg for den totale emisjon. Dette er sammenlignbart med bindingsenergien for en nøytronstjerner med masse lik Chandrasekhar massen, 1,4 solmasser.

Foruten det siterte arbeidet til Spergel et al. har flere andre gode analyser blitt utarbeidet, og vil snarlig dukke opp i publisert form. Det er likevel vanskelig å tenke seg at disse vil gi grunnlag for mer raffinerte modeller. Nøytrinoobservasjonene har bekreftet det generelle bildet om kjerne-kollaps, men har ikke gitt nok data til å kunne skille mellom ulike tilstandsligninger eller spesifikke modeller. Der er ingen grunn til å lage ny partikkelfysikk eller trekke inn kompliserte astrofysisk tilstander for å forklare observasjonene. Skal en lære mer må en vente på flere data. Det kan en få ved å bygge mer følsomme detektorer for å oppdage nøytrinoer fra supernovaer i fjernere galakser. Men aller mest ønsker både astrofysikere og fysikere seg en supernova i vår egen galakse. Det er 383 år siden sist.

Referanser

1. Stephenson and Clark, Scientific American, June 1976, p. 100.
2. Chatchpole et al., Mon. Not. R.A.S., 229 (1987).
3. Bachall and S. Glashow, Nature (1987).
4. Arnett and Rosner, Phys. Rev. Letters, **59**, 1906 (1987).
5. Spergel et al., Science, **237**, 1471 (1987).

∞

KVARK-GLUONPLASMA – Jakten på Urstoffet

*G. Løvhøiden og T. F. Thorsteinsen**

I de kjernefysiske laboratorier håper fysikerne å kunne gjenskape urstoffet, materien i den form man tror det hadde i tiden før «The Big-Bang», Universets eksplosive fødsel for 18 milliarder år siden. Jakten på dette urstoffet, kvark-gluonplasmaet, er i gang bl.a. ved kjerneforskninssentret CERN i Geneve.

I kollisjoner med de mest energirike, subatomære partiklene som noen gang er blitt akselerert i et laboratorium, håper fysikere å kunne gjenskape urstoffet som fantes ved Universets eksplosive fødsel. Dersom det lykkes å gjenskape urstoffet, kan vi også observere hvorledes det har utviklet seg til de stabile partiklene naturen er bygget opp av i dag. Prosessen vil være en gjentakelse av en kritisk overgang i den første brøkdelen av et sekund etter «The Big Bang». Ved ekspansjon og nedkjøling kombinerte «ur-partiklene» til protoner, nøytroner og alle de andre byggestenene i dagens Univers og videre til planeter, stjerner og galakser.

Man tror at Universet i de første få mikrosekundene etter «smellet» bestod av kvarkmaterie, frie kvarker som nå er låst i nukleonene. Fordi gluoner også var til stede, kalles denne aggregattilstanden for et kvark-gluonplasma. Utfordringen som ligger i å lage et kvark-gluonplasma i laboratoriet har inspirert både kjerne- og partikkelfysikere til et storstilet forskningsamarbeid. Idéen er at kondensasjonsprosessen som dannet de partiklene vi observerer i dag kan reverseres ved å presse nok energi og stoff inn i et lite volum slik at partiklene «smelter». I begynnelsestilstanden i den kosmologiske ur-ekspansjonen var det et makroskopisk område bestående av frie kvarker med temperatur omkring 10^{14}K og midlere avstand mindre enn 0,1 fm (1 fm = 10^{-15}m). En slik «kvarksuppe» kan bare gjenskapes i høyenergetiske reaksjoner mellom tunge atomkjerner.

Slike eksperimenter, som er blant de mest ambisiøse og komplekse som noen gang er forsøkt, ble, etter flere års forberedelse, startet i desember 1986 og fortsatte i september 1987 ved CERN, det europeiske høyenergifysikksenteret i Geneve. I disse eksperimentene deltar mer enn 300 fysikere fra omkring 20 land inkludert USA, USSR, India, Israel, Polen, Jugoslavia og de fleste vesteuropeiske land.

I eksperimentene skyter man atomkjerner mot hverandre med energier som er høye nok til at kjernens byggestener, protoner og nøytroner, igjen brytes ned i sine bestanddeler: kvarker og gluoner (se fig. 1). Den resulterende «suppe» av frie kvarker og gluoner vil da være en gjenskapning av det tidligste Univers. Etter sammenstøtet vil kvarkene rekombinere til de partiklene vi kjenner i dag og kanskje til nye og ukjente strukturer.

I dagens Univers er kvarker og gluoner bundet til en tilværelse inne i nukleonene som bygger opp atomkjernene. Intet laboratorieeksperiment har noen gang vist oss frie kvarker eller gluoner. Allikevel synes kvarkene å kunne bevege seg «fritt» innenfor nukleonets overflate. Dette har ført til teorier om at dersom nukleoner blir presset sammen slik at den samlede tettheten blir minst så stor som den man har i et nukleon, kan alle kvarker og gluoner være «frie» innenfor hele dette volumet. Noen tror at forholdene i det indre av nøytronstjerner er så ekstreme at kvarker og gluoner er frie der. I denne artikkelen vil vi diskutere hvordan man kan studere utstrakt kjernematerie ved ekstreme tettheter, tettheter som er en størrelsesorden eller mer enn i en normal atomkjerne.

*Fysisk institutt,
Universitetet i Bergen.

På jakt etter kvarkmaterie i høyenergi kjernefysikk med tunge ioner

Ved det europeiske kjerneforskningssenteret CERN i Geneve begynte det i oktober 1986 en serie eksperimenter som forfølger en ny idé i studiet av den fundamentale, sterke vekselvirkningen mellom kvarker og gluoner. Dette ble mulig fordi det lyktes å akselerere ^{16}O-kjerner opp til den daværende rekordenergien for en subatomær enhet på 3,2 TeV. I fire parallelle eksperimenter utført av internasjonale kollaborasjoner ble reaksjonene mellom disse høyenergetiske, relativistiske ^{16}O-ionene og targetkjerner med forskjellig masse (Al, Cu, Ag, Au) undersøkt med forskjellige metoder. Høsten 1987 fortsatte studiene med ^{32}S ioner med energi på 6,4 TeV.

Grunntanken er å oppnå en enorm energi- og massekonsentrasjon i et volum som tilsvarer en middels tung atomkjerne ($\approx 1000 fm^3$), som er mange ganger større enn for et enkelt hadron (protoner, nøytroner og pioner har volum ca. $4 fm^3$). I det utstrakte volumet forventes det at hadronene «smelter» ved tilstrekkelig stor tetthet. Dermed vil de opprinnelige kvarkene og gluonene i prosjektilet og targetkjernen sammen med nydannede kvark-antikvark par og gluoner skape en ny aggregattilstand for materien som kalles et kvark-gluon plasma. Dette er materie i den form som man tror eksisterte i tiden før «Big-Bang». I kollisjonen har man da dannet en liten klump av urstoffet som alle ting har kommet fra. Materie ved slike tettheter finnes også i det indre av nøytronstjerner og i svarte hull. Videre vil slike studier kunne bidra til forståelsen av kvantekromodynamikken, som er den teorien som beskriver kreftene som holder atomkjernene sammen.

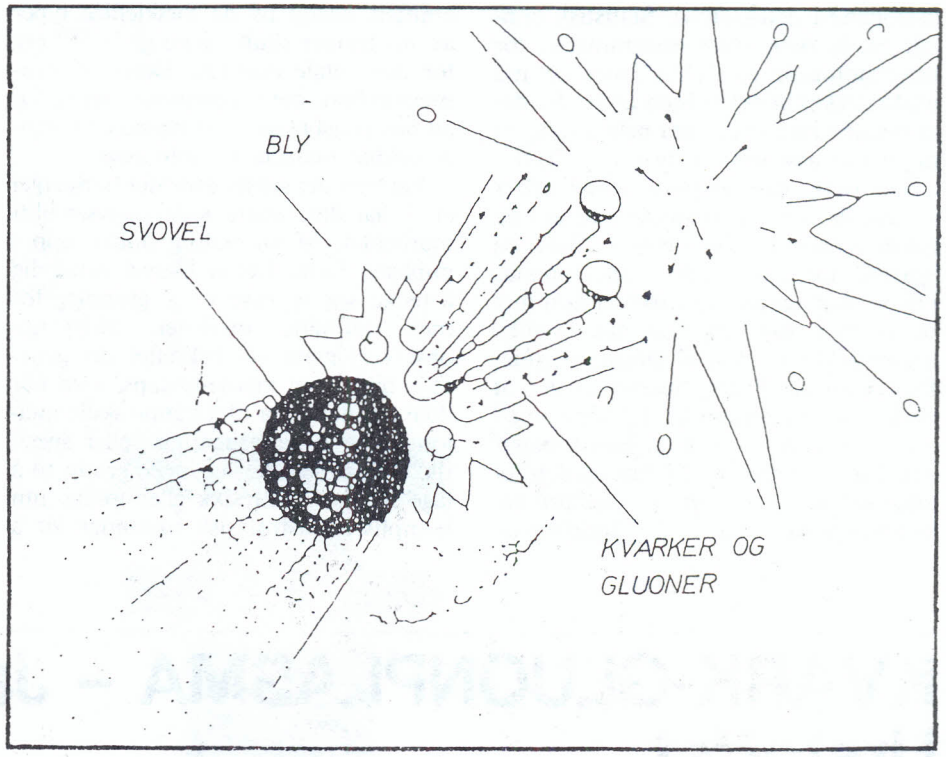


Fig.1 Bildet viser hvordan man kan tenke seg et sentralt støt mellom atomkjerner av svovel og bly med energier i TeV området. Kvarkene og gluonene i kjernepartiklene frigjøres til et plasma og partikler og fotoner sendes ut.

Fasediagram og kiral symmetri

Kjernefysikken omfatter mer enn bare studiet av fundamentale vekselvirkninger i atomkjernene. Selv når man behandler noenlunde enkle krefter, som f.eks. i elektrodynamikken, kan man ikke uten videre forutsi omfanget av fysiske fenomen i et system ut fra kjennskapet til elementærkreftene. Supraledning f.eks., kunne neppe oppdages bare fra en teoretisk forståelse av de underliggende elektromagnetiske vekselvirkningene i metaller. Å undersøke mangfoldet av kollektive fenomener som blir til i vekselvirkning mellom mange frihetsgrader er et arbeidsområde som kjernefysikken på mange måter deler med faststoffysikken. Med de eksperimentelle mulighetene som eksisterer i dag, er sjansene for å avdekke nye, subtile fenomener i kjernene meget lovende. Kjernefysikken går inn i en av sine mest utfordrende og interessante perioder i det halve århundret som er gått siden nøytronets oppdagelse. Mange fysikere fokuserer nå på kjernen som et endelig mangelegemesystem, som et stykke kjernematerie. Her finnes en rikholdig fysikk fra rene nukleære tilstander som i skallmodellen, til mesoniske og eksiterte hadroniske tilstander og muligheter for faseoverganger til et eksitert kvark-gluon plasma.

I teorien for sterke vekselvirkninger, kvantekromodynamikken, QCD, er kvarkene alltid innelukket i hadronene ved normale energier. Ved normale tettheter kondenseres kvarkene i passende kombinasjoner av to eller tre og det dannes mesoner og baryoner. En av de overskyggende interesser ved studiet av kjernestoff ved høye tettheter er nettopp mulighetene for å observere en faseovergang fra den normale tilstand hvor kvarkene er lukket inn i hadronene til en ny aggregattilstand bestående av et plasma av kvarker og gluoner. Høyenergi kjernekollisjoner gir dessuten anledning til å studere QCD over et utstrakt volum.

Aggregattilstandene som kan utforskes i reaksjoner med tunge ioner er framstilt i fig. 2, som viser fasediagrammet for stoff ved forskjellig baryontetthet og temperatur. Ved lavere verdier av disse parametrene består stoffet av hadroner med innelukkede kvarker, og det er relevant å snakke om stoff som bestående av baryoner og mesoner. Ettersom energitettheten øker får man tilstander der kvarkene og gluonene ikke lenger er innelukket. Et enkelt bilde er at ved å skape stor energitetthet i et utstrakt nukleært volum dannes nok hadronisk eksitasjon til at de individuelle hadroniske volum overlapper og går over i stort felles volum der kvarkene og gluonene kan vandre «fritt». De energitettheter som er nødvendig for å oppnå «smelting» av atomkjernene er en størrelsesorden mer enn energitettheten (0,15 GeV/fm) for en kjerne i grunntilstanden.

Teoretiske studier anslår at for små baryontettheter er smeltetemperaturen ca. 200 MeV, som svarer til en energitetthet på 1 GeV/fm. Man har beregnet at ved 5-10 ganger normal tetthet er smeltetemperaturen tilnærmet null (se fig. 2). For å oppnå tilstrekkelig energitetthet til å danne et kvark-gluon plasma kreves således sentrale kollisjoner mellom tunge ioner med energier godt over 1 GeV per nukleon i massesentersystemet. Man trenger tunge ioner både for å få tilstrekkelig energi avsatt over et større volum og for å ha et tilstrekkelig antall partikler til å oppnå termisk likevekt innenfor kollisjonsvolumet.

I lavenergi tungionereaksjoner vil kjerner med energier 3 til 5 GeV per nukleon i massesentersystemet ha størst evne til å stoppe hverandre. I en sentral kollisjon i dette energiområdet vil de to kjernene lage en ildkule med energitetthet på flere GeV/fm og baryon tetthet større enn 1 fm. En normal kjerne har en baryontetthet på 0.16 fm. Temperatur-tetthetsforløpet er beskrevet i fig. 2

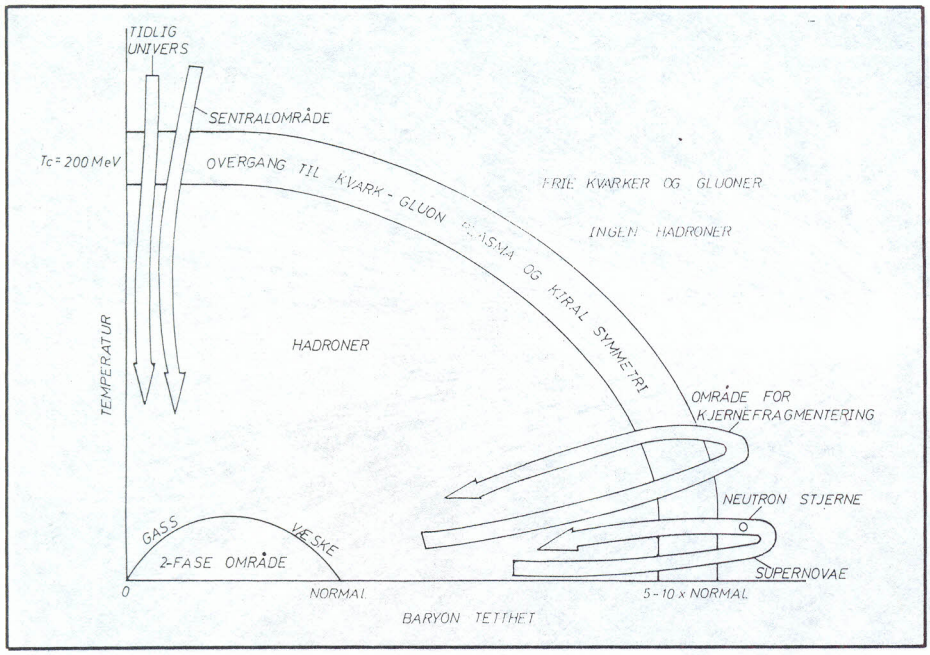


Fig.2 Fasediagram for kjernematerie som funksjon av temperatur og baryontetthet. Diagrammet indikerer området der kjernestoffet kan undersøkes i ultrarelativistiske kollisjoner. Kjernefragmenter fra slike prosesser vil ha baryontettheter en størrelsesorden mer enn normalt i «området for kjernefragmentering», en tilstand som ligner på de forhold man finner i supernova og nøytronstjerner. I «sentralområdet» kan kollisjonspartnerne danne et kraftig eksitert vakuum med tilnærmet null baryontetthet. Dette simulerer tilstanden ved de første øyeblikk av Universets skapelse. Kjernematerien i begge områdene forventes å være et plasma av «frie» kvarker og gluoner. Kvantekromodynamikken hevder at dette kvark-gluon plasmaet er adskilt fra vanlig kjernestoff ved en faseovergang der samtidig innelukking av kvarker og gluoner og brudd på kiralsymmetrien opphører. Ved temperatur og tetthet mindre enn normalt vil den normale «flytende» tilstanden være i likevekt med en gass av nukleoner («2-fase området»).

som «område for kjernefragmentering». Slike eksperimenter foregår nå med O og S stråler med laboratorieenergi på 200 GeV/nukleon. Siden disse prosjektilene har relativt få nukleoner, er man likevel ikke garantert å kunne observere et kvark-gluon plasma i denne om gangen.

I ultrarelativistiske tungionekollisjoner med 30 til 100 GeV per nukleon i massesentersystemet er de kolliderende atomkjernene transparente overfor hverandre, så kjernene går igjennom hverandre uten å stoppe. I denne prosessen etterlater kjernene en høyt eksitert vakuumtilstand med kort levetid.

Figur 3 gir et skjematisk bilde av systemet etter en slik kollisjon og viser to svært varme, komprimerte og fragmenterte kjerner som forlater kollisjonspunktet med store hastigheter. Fragmenteringsområdene inneholder baryonene fra de opprinnelige kjernene. I det sentrale området er antallet baryoner lik antallet antibaryoner. Materien i det sentrale området, merket «sentralområdet» i fig. 2 og 3, er dannet ved eksitasjoner av kvark-gluon frihetsgrader, med høye energitettheter men lav baryontetthet. Dette sentrale området innstiller seg i termisk likevekt som et kvark-gluon plasma. Stoffet avkjøles og

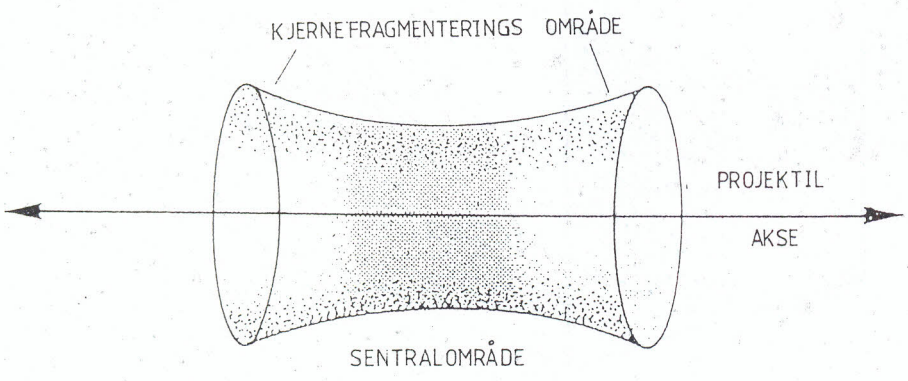


Fig.3 Like etter (10^{-23}s) en ultrarelativistisk, sentral kollisjon mellom to tunge ioner venter man å finne et ekspanderende, sylindrisk område av sterkt eksitert kvark-gluonplasma. Det resulterende sentralområdet har kvarker og antikvarker i samme antall i et eksitert vakuum.

undergår en faseovergang hvor hadronisering finner sted og kvarkene blir innelukket. De to fragmenteringsområdene har stor baryontetthet og ventes å krysse grensen inn i området hvor kvarkene er frie.

Grunnleggende for studier av kreftene i naturen er kjennskap til elementære symmetrier. En slik symmetri er venstre-høyresymmetrien, kiralsymmetrien, som er sentral i kvantekromodynamikken. I kjernematerie med normale energier halter denne fundamentale symmetrien. At pionet har en endelig masse, er et uttrykk for denne skjevheten. Kiralsymmetrien er oppfylt bare når u- og d-kvarkene er masseløse. Bruddet på symmetrien er også reflektert i at de lette kvarkene har masser på ca. 10 MeV i det stoffet vi kjenner. I faseovergangen til kvark-gluon plasma vil imidlertid kiralsymmetrien bli gjenopprettet fordi kvarkenes masse da er neglisjerbare i energiregnskapet.

Parametre i CERN-eksperimentene

I eksperimentene ved CERN har man anvendt ^{16}O og ^{32}S ioner med laboratorieenergier på 200 GeV/nukleon. For reaksjoner mot bly er energien per nukleon 7,8 GeV for ^{16}O ioner med 70 deltagende nukleoner i det sentrale kollisjonsområdet, mens for ^{32}S strålen øker energien til 8,3 GeV per nukleon med 120 deltagende nukleoner. Verdien av rapiditeten er $y_p = 6$ for prosjektilet, mens vi for den sentrale ildkulen finner $y_f = 2{,}4$ for ^{16}O og $y = 2{,}5$ for ^{32}S. Dannelsen av en sentral ildkule medfører altså en betydelig reduksjon av rapiditeten.

For 200 GeV/nukleon ^{32}S ioner er ct $\approx$ 2 fm, slik at vi kan anslå energitettheten til opp mot 7 GeV/fm^3 som er ca. 50 ganger kjernetettheten.

Signaler fra kvark-gluon plasmaet

Selv om det i eksperimentene virkelig lykkes å lage et lite «Big Bang», vil smellet være over før målingene kan bli utført. Måleapparaturen blir derfor konstruert for å registrere «signaler» fra plasmafasen, signaler som er antatt å ville overleve de etterfølgende faseovergangene. En vanskelighet er at teoriene ikke gir et entydig, klart signal, som en ny partikkel, men bare større eller mindre modifikasjoner av partikkel- og energistrømmen fra reaksjoner uten kvark-gluon plasma.

Definisjoner

I en sentral kollisjon vil prosjektilet skjære ut en sylinder av kjernematerien. Lar vi A_t og A_p være nukleontallet for målkjerne og prosjektilkjerne, er antall deltagende nukleoner, $\bar{A}$, gitt ved

$$\bar{A} = 1,5A_t^{1/3}A_p^{2/3} + A_p.$$

Med prosjektilenergien E_p i GeV per nukleon og nukleonmassen m_n målt i Gev/c^2 skrives tyngdepunktsenergien per deltagende nukleon som

$$\sqrt{s}/\bar{A} =$$

$$m_n\sqrt{2E_p}\frac{\sqrt{1,5(A_t/A_p)^{1/3})}}{1+1,5(A_t/A_p)^{1/3}}.$$

En nyttig, Lorentzinvariant størrelse er rapiditeten y

$$y = (1/2)\ln\frac{E+p_{||}c}{E-p_{||}c},$$

der E er partikkelens totale energi og $p_{||}$ bevegelsesmengden parallelt med prosjektilenergien. For prosjektilet er $p = p_{||}$ og med β som prosjektilfarten i enheter av lyshastigheten, forenkles dette til

$$y = (1/2)\ln\frac{1+\beta}{1-\beta}.$$

Den sentrale ildkulen har rapiditeten

$$y_f = y_p - (1/2)\ln[(\bar{A}-A_p)/A_p].$$

Et annet viktig begrep er den såkalte transversale energien E_t :

$$E_t \simeq \sum_i E_i \sin\theta_i,$$

hvor E_i og θ_i er energien og spredningsvinkelen for de enkelte partiklene fra kollisjonen. E_t er et mål for hvor mye energi som blir deponert i kollisjonen. Energitettheten er grovt sett gitt ved den transversale energien E_t dividert med vekselvirkningsvolumet

$$\epsilon \simeq \frac{E_t}{\pi R^2 ct}.$$

Dannelse av et kvark-gluon plasma vil vise seg ved forhøyet entropi for sluttproduktene med forandret, relativ hyppighet av utsendte partikler. For eksempel vil annihilasjon av kvarker og antikvarker føre til økt emisjon av høyenergetisk gammastråling. Denne strålingen vil ha gode muligheter for å overleve frem til detektoren da den elektromagnetiske vekselvirkningen er forholdsvis svak i denne forbindelsen. Slik stråling blir registrert dels som fotoner og dels i form av e^+,e^- par.

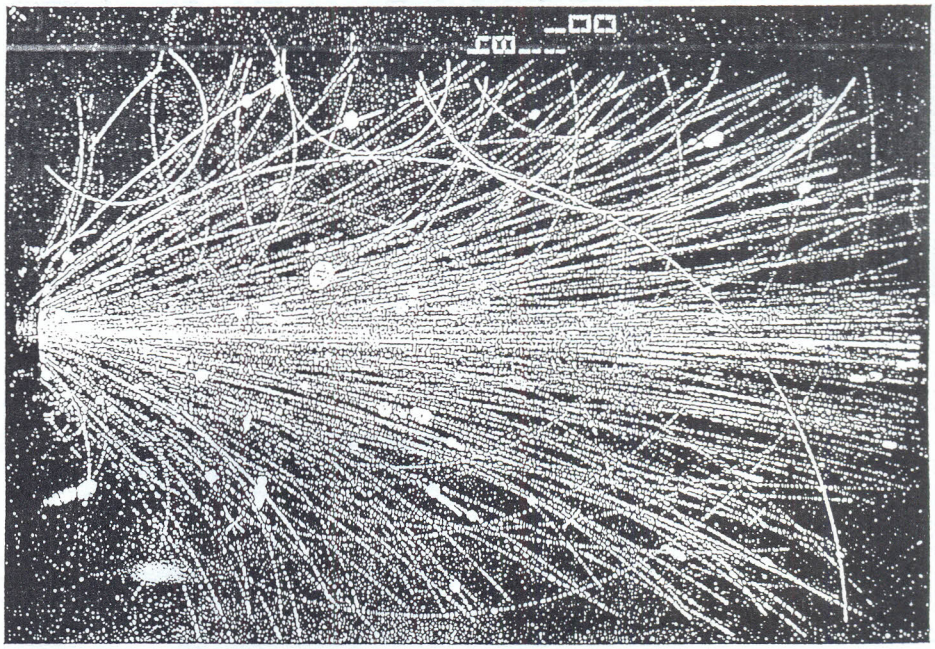


Fig.4 «Strømningskammer»-fotografi av partikkelspor fra et sentralt støt mellom et ^{16}O ion med 3,2 TeV energi og en Pb atomkjerne. De ca. 260 sporene er krummet fordi kammeret er plassert inne i en magnet. Av krumningen kan vi bestemme forholdet mellom ladning og massefart for partiklene. Bildet er tatt i NA35 eksperimentet på CERN i oktober 1986.

Et mere spesifikt signal er den forventede undertrykningen av J/ψ mesondannelsen. Så lenge plasmaet består, kan ikke «charmekvarkene», som er byggestenene for J/ψ mesonet, bindes i en partikkel, og i hadroniseringsfasen som følger etter, er antallet av disse kvarkene antatt å være meget beskjedent. Storproduksjon av charmekvarker med den riktige relative bevegelsesmengden innenfor plasmaet, kan imidlertid føre til økt J/ψ dannelse utenfor plasmaet og dermed en viss svekkelse av effekten.

Et annet signal for dannelse av et kvark-gluon plasma som er foreslått ut fra teorien, er en forhøyet produksjon av særbaryoner som Λ, Ξ og Ω. Tettheten av særkvarker innenfor plasmaet vil utvilsomt være stor, men det er

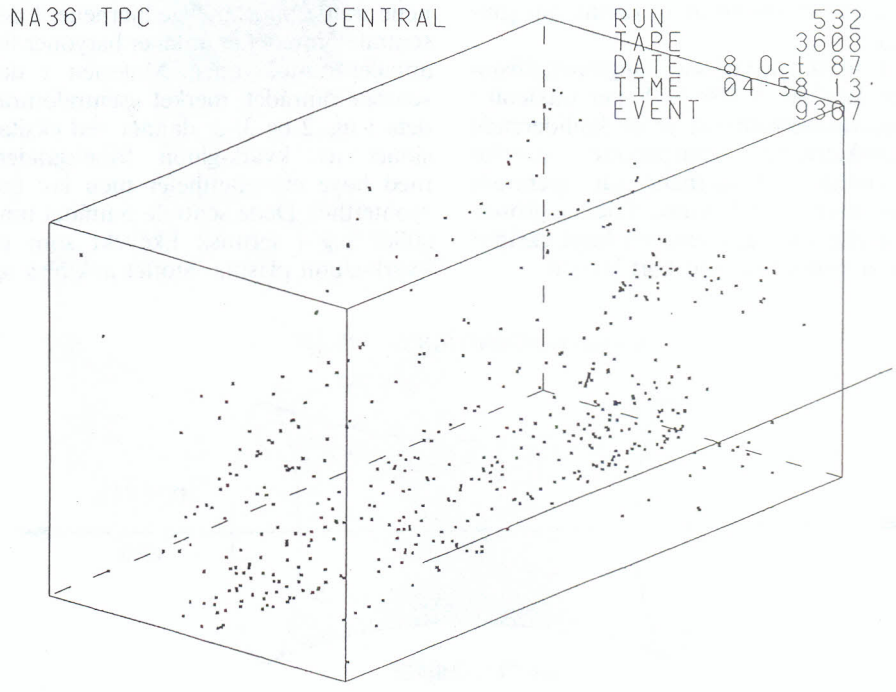


Fig.5 Registreringer i en TPC (tids-projiserings-kammer) av tunge elementærpartikler som er bøyd av fra stråleretningen med et sterkt magnetfelt (2,7 T) etter en kollisjon mellom et ^{32}S ion med 6,4 TeV energi og en tung atomkjerne. (NA36 eksperimentet ved CERN, oktober 1987)

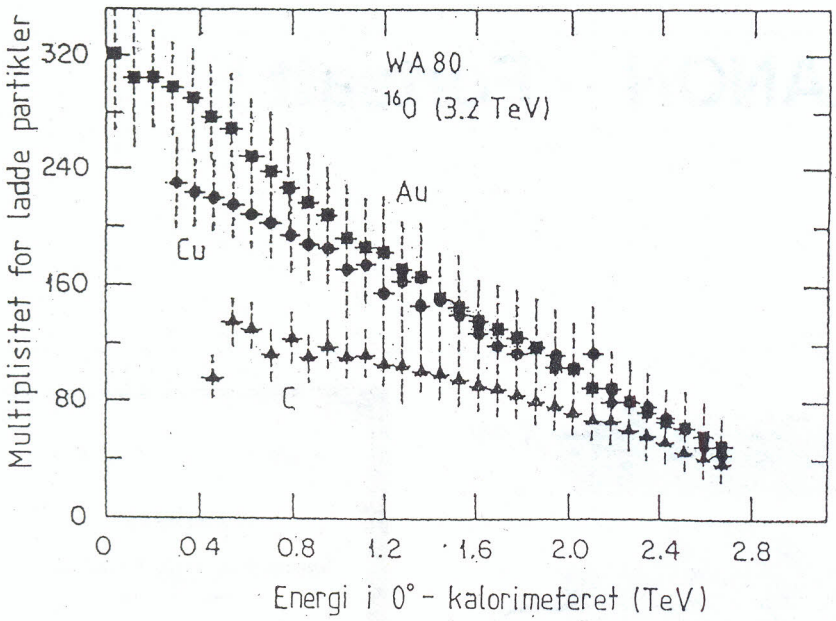


Fig.6 Antall ladete partikler fra en kollisjon mellom et ^{16}O ion med 200 GeV/nukleon og h.h.v. en C, Cu og Au kjerne som funksjon av energien som registreres i stråleretningen. Vi ser at kjernen kan stoppe prosjektilet. (WA80 eksperimentet ved CERN)

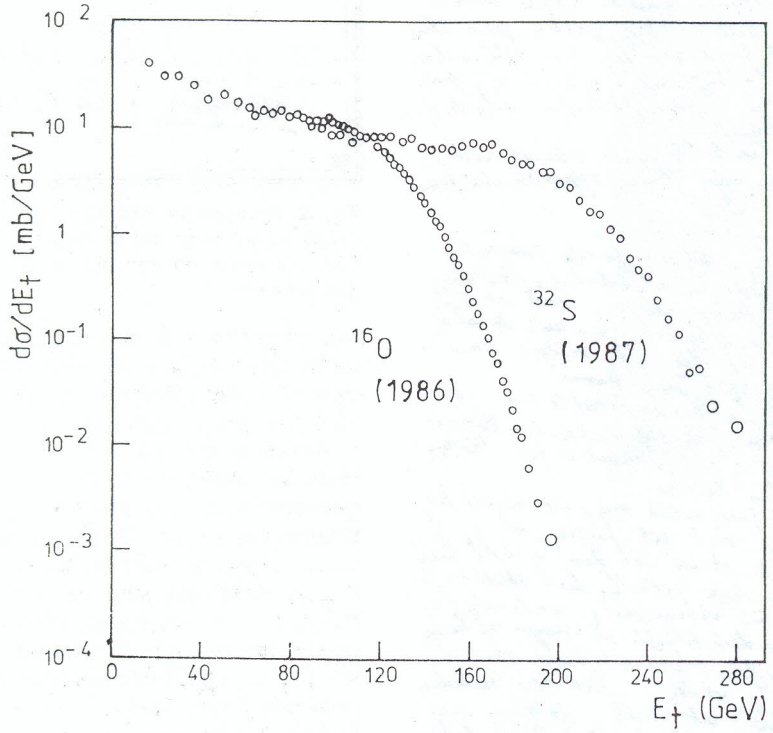


Fig.7 Antall hendelser som funksjon av den transversale energien for kollisjoner mellom ^{16}O og ^{32}S-ioner og en tung atomkjerne. De største energien svarer til energitettheter som i følge teorien er tilstrekkelig for kvark-gluonplasmadannelse. (HELIOS eksperimentet ved CERN)

hvordan overgangen til det normale vakuum foregår som bestemmer hvor stort nettoutbyttet vil bli. Både antallet partikler, forholdet mellom partikler og antipartikler og partiklenes polarisering regnes som mulige signaturer for plasmadannelsen i særbaryonproduksjonen.

En særlig interessant mulighet ville være dannelsen av stabile multikvarkstrukturer som aldri tidligere er observert.

Foreløpige eksperimentelle resultater

Som man kan vente i nye typer kompliserte eksperimenter, er behandlingen av de eksperimentelle data en tidkrevende og vanskelig prosess. Fremdeles er bare en liten del av resultatene fra eksperimentene med ^{16}O stråle publisert og noen få preliminære data fra ^{32}S eksperimentene er blitt vist. En idé om problemene med analysen kan vi få av bildet fra strømningskammeret (fig. 4) der vi ser et eksempel på det store antallet spor av ladete partikler som blir registrert etter et sentralt støt. Selv om man plasserer detektoren i et sterkt magnetfelt slik at flertallet av de aller letteste partiklene blir ledet utenom og detektoren dessuten stilles utenfor selve stråleretningen, kan automatisk gjenkjenning av sporene være problematisk (fig. 5). Det er forøvrig blant de mange tusen registrerte hendelser av den typen som er vist i fig. 5, at man håper å kunne påvise kvark-gluonplasmaet ved en forhøyet særbaryonproduksjon.

Antallet sekundært produserte hadroner henger direkte sammen med den oppnådde energitettheten, men om partikkelmultiplisiteten er stor bare i stråleretningen, er det liten grunn til å tro at partiklene stammer fra et plasma som ekspanderer. Som en konsekvens av det, har (nesten) alle kvark-gluon eksperimentene et instrument som måler energien i foroverretningen, d.v.s. med mindre enn 0,3° avvik fra stråleretningen, og utstyr til å måle partikkelmultiplisiteten. Som vi ser av fig. 6, er det eksperimentelle resultatet lovende: multiplisiteten er stor når energien fra kollisjonen i stråleretningen er liten. Også en betydelig reduksjon i rapiditeten for kollisjonsdeltagerne er påvist. Det er i overensstemmelse med forventningene om dannelsen av en sentral ildkule.

Et forholdsvis direkte mål for den oppnådde energitettheten er den transversale energien som blir målt i de fleste eksperimentene. Ser vi på de foreløpige resultatene av disse målingene, er også disse oppløftende (fig. 7). Energien øker med massen på prosjektilet og i en liten del av kollisjonene med ^{32}S ioner kan det se ut som den transversale energien er større enn man kunne ekstrapolere fra ^{16}O eksperimentene. Det er helst blant disse relativt få hendelsene at sjansen for å observere et plasma av kvarker og gluoner er størst.

Eksperimentene som er gjort hittil, viser at man behersker teknikken forbundet med å behandle store multiplisiteter og høye kollisjonsenergier. Ingen av de resultatene som er fremkommet til nå, kan sies å ha utvetydig påvist dannelsen av et plasma. Vi må regne med å vente ennå en tid før eksperimentene gir svar på om signaturene fra kvark-gluonplasmaet allerede er registrert, eller om vi må vente til strålen av de vesentlig tyngre Pb-ionene blir tilgjengelig, antagelig i 1990.

∞

BIRKELANDs KANON – Fortsatt i «skuddet»

*Alv Egeland**

Birkelands kanon er blitt betegnet som den mest interessante gjenstand i norsk vitenskaps historie. Indirekte utløste den via Gallaforestillingen i Den gamle festsal «gnisten» som førte til dannelsen av Norsk Hydro. Nå er en mere avansert versjon igjen i «skuddet» – som en del av «Star War»-programmets «Railgun»-prosjekt.

Selv om det var Kr. Birkelands elektromagnetiske kanon som indirekte ledet til starten av Norsk Hydro,[1] er en detaljert fremstilling av Interessentskabet Birkelands Skydevaapen ennå ikke skrevet.[2] Dette er et nytt eksempel på at vitenskapens og teknikkens historie neglisjeres. Birkelands oppfinnelse av den elektromagnetiske kanon er fortsatt ukjent i det internasjonale fagmiljø.

Birkelands to nære venner og samarbeidspartnere, professor, og senere rektor ved Universitetet i Oslo, S. Sæland og ekspedisjonssjef, dr. O. Devik har nevnt kanonen i flere foredrag og artikler, men de har konsentrert seg om Gallaforestillingen i Universitetets Gamle Festsal. Hvorfor og hvordan kanonprosjektet startet er ikke diskutert.

«BIRKELANDs SKYDEVAABEN»

Det var for å skaffe mer kapital til sine forskningsprosjekter at Birkeland begynte med anvendt forskning og sin første patent tok han på kanonen.[3] Første gang kanon-prosjektet nevnes offisielt er i et brev til ingeniør Gunnar Knudsen, datert 17.9.1901. En faksimile av dette brevet er vist i fig. 1. Som det fremgår av dette har Birkeland «nylig gjort en opfindelse, hvorved det synes at være mulig at skyde med elektricitet istedenfor med krudt». I tillegg har han sikret seg «prioritet paa patenter over hele verden.»

Typisk for Birkeland var «syvmilsfarten» i alt han gjorde. I brevet ber han Knudsen (som kort tid etter ble landbruksminister og i 1908 statsminister)

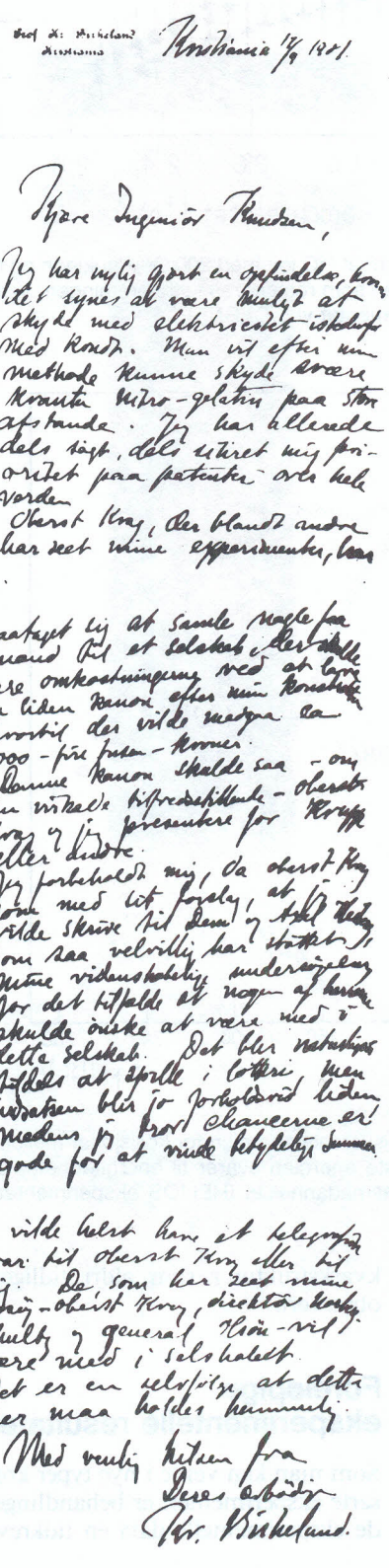


Fig. 1. Det er i dette brevet til ingeniør G. Knudsen at kanonen første gang nevnes. Som det fremgår av teksten har Birkeland allerede sikret seg «patenter over hele verden». Selv om han skriver «Det blir naturligvis tildels at spille i lotteri», er tonen i brevet meget optimistisk. Han tror det skal bli penger å tjene på prosjektet.*/1*

om *telegrafisk* svar på om han aktivt vil delta, selv om dette naturligvis blir «tildels at spille i lotteri». Knudsen svar, som er datert 2 dager senere, er positivt.

Fig. 2. En kopi av Partbrev No 35 er vist. Legg merke til at det er datert 6.11.1901. Det må derfor ha vært lett å selge de 35 partbrevene.

Aktieselskabet «Birkelands Skydevaaben» ble stiftet i november 1901 og et partbrev fra dette er gjengitt i fig. 2. Kapitalen var på kr. 35.000,-, delt på 35 parter. Forøvrig viser lovene for selskapet, at Birkeland, som var selvskreven medlem av styret, hadde sikret seg stor innflytelse og kontroll. General W. Olssön ble valgt til første «Formand», men intet salg kunne «ske uden at Professor Birkeland deri er enig».

BIRKELANDs Elektromagnetiske kanon

Birkeland var medlem av kontrollkomi-

*Fysisk institutt,
Universitetet i Oslo.

téen som skulle prøvekjøre det nye vannkraftanlegget ved Maridalshammeren. Her eksperimenterte han med strømførende spoler og strømbrytere. Prøvene bestod i å belaste anlegget fullt ut, og så plutselig slå hele strømmen av for å teste maskiner og apparater. Dengang hadde man ikke oljebrytere og da Birkeland rykket ut den store knivbryteren, ble det en veldig lysbue. Sikringene sprang, tavlen gikk i to, hele stasjonen ble lagt i mørke og det begynte å brenne. «Det var et festlig øyeblikk», sa Birkeland. Dette utsagn illustrerer Birkelands karakter.

I en artikkel (Birkeland, 1902) skriver Birkeland at «pieces of iron were sucked into a solenoid with such forces that they flew like projectiles through the coil».[4] Da han så dette, begynte han straks å tenke på praktiske anvendelser. Kanonen var derfor et resultat av hans eksperimenter med nye strømbrytere. Hans assistent, overlærer Dietrichson, har fortalt at kanonen var et resultat av en tilfeldig iakttagelse under forberedelsene til en forelesning.

Det første patentet er datert 16. september 1901. I patentbrevet står det at skissene i fig. 3a på en «oversiktlig måde anskueliggjør opfindelsen». Hovedprinsippet ved Birkelands kanon var at prosjektilet ved sin passasje gjennom røret selv slo på strømmen foran, mens den avbrøt strømmen bakenfor.

Før prosjektilet skytes ut ble det magnetisert i den bakre spole s (se fig. 3a). For at magnetiseringen skulle bli effektiv, ble kulen rotert i spolen med en liten motor.

Energikilden for kanonen var viktig. Om denne skriver Birkeland:

> «*Den nødvendige energi kan leveres af specielt konstruerede generatorer, som kan forsynes med overordentlig svære svinghjul, medens det drivende maskineri kan have forholdsvis inskrænkede dimensioner. Et system af 10 sådanne dynamomaskiner, der hver i det øieblik, da kortslutningen gjennom kanonen finder sted, f.eks. kan levere 2000 volt og 50.000 amperes vilde være tilstrækkelig til at forsyne et helt batteri store kanoner med kraft. Svinghjulenes kinetiske energi vilde da momentant delvis overføres på projektilet.*»

Kort tid etter at Birkeland patenterte kanonen leverte han (i desember 1901) inn et tillegg til Patentkontoret. Hans nye idé var å bruke en strømførende spole istedet for et jernprosjektil. «Ved at anvende et sådant projektil opnåes indtil 16 ganger så stor kraftvirkning som om projektilet var af bløt jern», skriver Birkeland. Den andre patentsøknaden slutter på følgende måte:

> «*Projektilet konstrueres forøvrigt hensigtsmæssig af en stålkapsel, som tjener til at optage sprængstofladning.*»

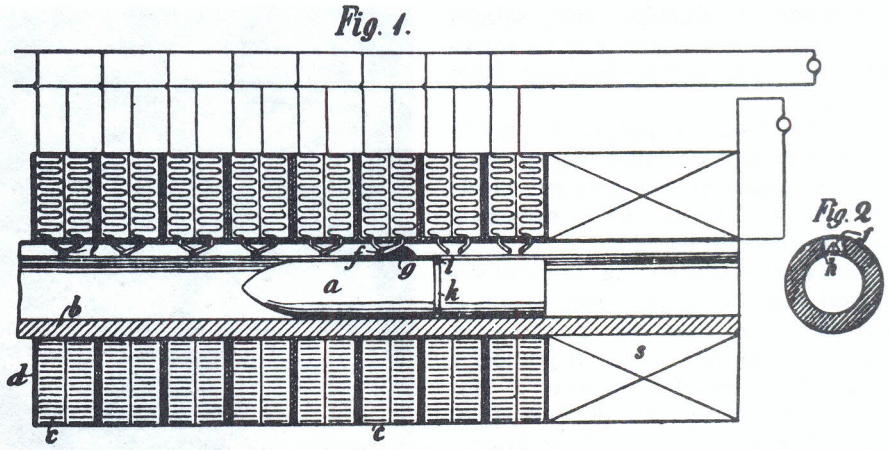


Fig. 3a. Den første skissen av Birkelands elektromagnetiske kanon. Tverrsnittet viser tydelig den langsgående spalten i kanonrøret hvor brytepilen for strøm av og på ble ført. For flere detaljer, jfr. teksten.

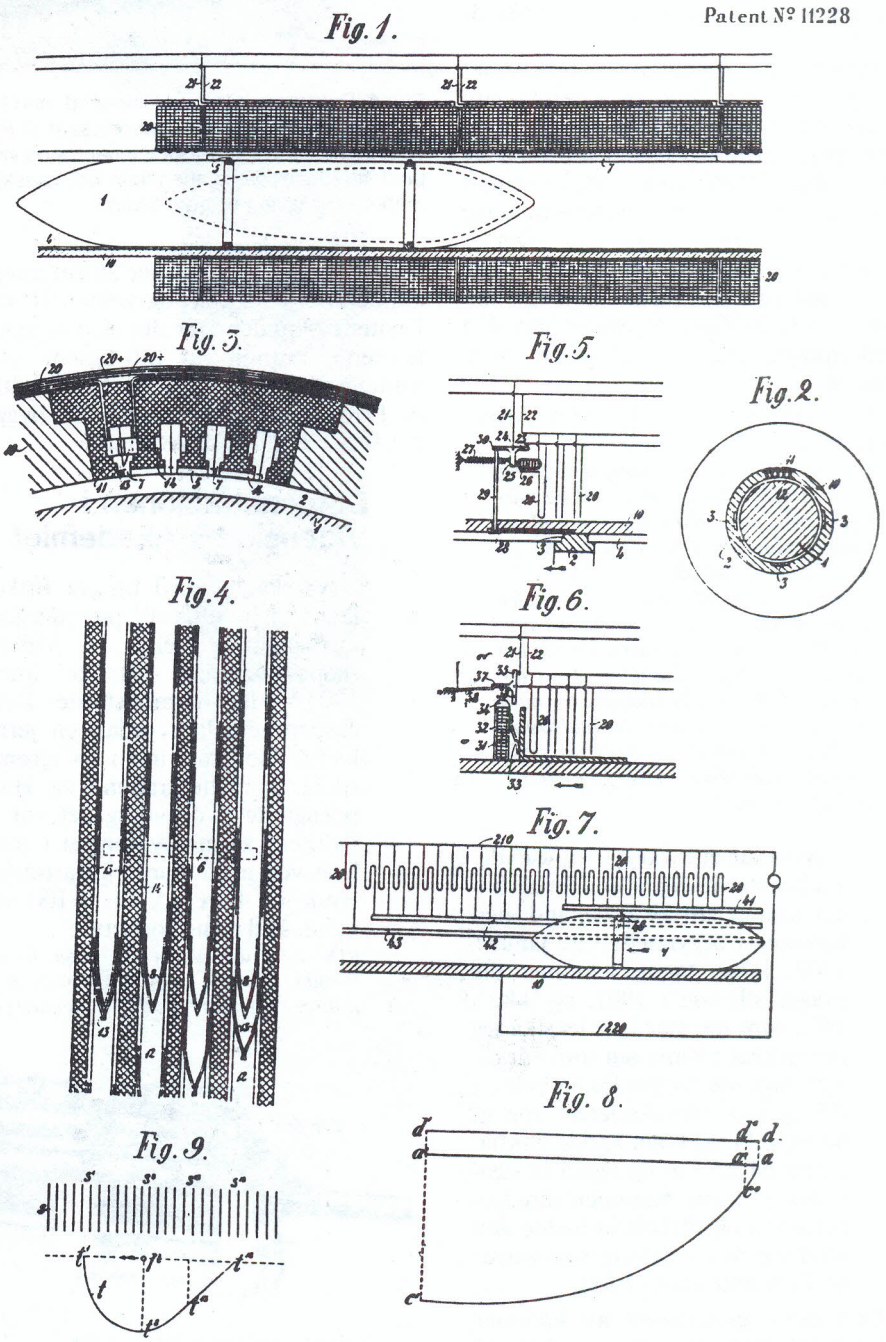


Fig. 3b. Birkelands siste kanon-patent inneholder hele ni forskjellige skisser og illustrasjoner. Spesielt har han lagt mye arbeid i å konstruere automatiske brytere for hovedstrømmen, samt i å forklare hele prinsippet for kanonen. For detaljer henvises til teksten.

Birkelands oppfinnelse ville således være spesielt godt egnet som en torpedo-kanon. Dette utdyper han mer i løpet av 1902.

Det tredje og siste patentet knyttet til dette prosjektet er datert i april 1902. Selve søknaden er mer detaljert enn de to første, med ni forskjellige skisser og illustrasjoner (jfr. fig. 3b).

Den øverste skissen i fig. 3b illustrerer at Birkeland planlegger store kanoner. Det er nå 300 elektriske spoler i hver gruppe og normalt er det ti grupper i hver kanon. Sporet langs røret er blitt mye mer komplisert som det fremgår av skisse 3 og 4 i fig. 3b, med fire isolerte lengdespor. Prosjektilet er montert i to ringformede lagre (skisse 1), hvor kulen kan rotere. På disse ringene er de fire fjærnesene for lengdesporet (se skisse 3) festet.

Birkeland diskuterer problemet hvordan spolene bak prosjektilet kan gjøres strømløse uten at gnister oppstår, meget grundig. Det er tatt med tre forskjellige, ganske avanserte, automatiske brytere for hovedstrømmen (se skissene 5, 6 og 7 i fig. 3b). Det er naturligvis viktig at strømmen ikke brytes bak prosjektilet så lenge den akselererende kraften er større enn den som oppstår pga. den induserte motkraften.

Angående nye, store kanoner skriver Birkeland:

«Til udslyngning af et jernprojektil på 2 ton, indeholdende f.eks. 500 kg. nitroglycerin, med 300 meters initialhastighed, vilde der kræves en kanon på ca. 27 meters længde.

Projektilet måtte være ca. 2.7 meter langt og have en diameter på 0.5 meter. Hvis strømmen samtidig skulde tilledes samtlige solenoider (der vilde være ca. 3000 enkelte sådanne for hånden) vilde der udfordres en totalstrømstyrke på 600.000 amperes og trækkraften på projektilet vilde gå op til ca. 180 kg. pr. cm².»

Man får et inntrykk av «skydevaabenet» fra fig. 4 det første bildet som er tatt av Birkeland med kanonen i begynnelsen av januar, 1902. (Den første kanonen ble bygget allerede i 1901, og ikke i 1902 som det står i de leksika jeg har sjekket.) Kanonen som var ca. 1 m lang, var bygget for en kule på 0.5 kg som ble akselerert opp til 80 m/s. Prosjektilet hadde en diameter på 2.5 cm og lignet et stearinlys av form. Kanonen funksjonerte bra og Birkeland hadde den med seg på en demonstrasjonstur til Tyskland våren 1902.

Den neste generasjon av kanoner, hvorav ett eksemplar finnes på Norsk Teknisk Museum, er mye mer imponerende med en lengde på 3 meter (jfr. fig. 5). Prosjektilet var her 26 cm langt, kaliberen var 6.5 cm og vekten 10 kg. I patentsøknaden står det at den akselererende kraften var 130 kg/cm² ved midten av røret for en strøm på 2.300 A. Det kostet ca. kr. 16.000,- å bygge det første eksemplar av denne.

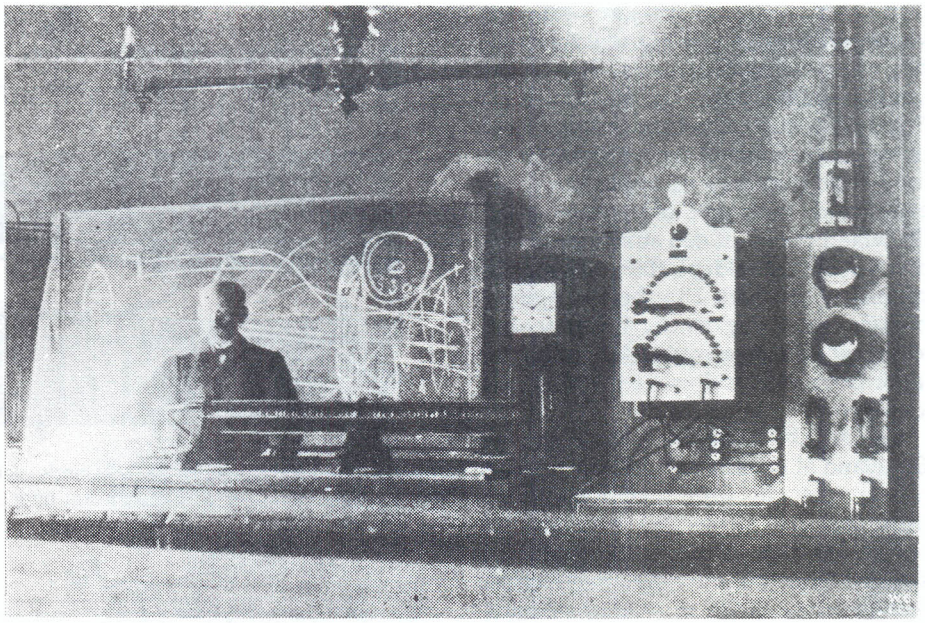


Fig. 4. Det første bildet av Birkeland med hans lille kanon (1m lang) tatt i januar 1902 i hans kontor ved Universitetet. Laboratoriet til Fysisk institutt lå da under Universitetets aula, på venstre hånd i kjelleretasjen, innenfor de vinduene som er nærmest trappehallen. (Kvaliteten på dette foto er dårlig, men man kan kanskje få et inntrykk av atmosfæren på kontoret. Legg merke til at tavlen er godt brukt.)

Demonstrasjonen i Videnskabs-Akademiet

Vi skal ta med litt fra Birkelands første offisielle presentasjon av kanon-prosjektet i Videnskaps-akademiet den 6. mars 1902.[5] Han demonstrerte først eksperimentelt hvordan en jernkjerne ble dratt inn i en strømspole, og målte kraften i kg. Han poengterte hvor viktig det var å redusere varmeutviklingen i spolene ved at de bare var strømførende en kort tid, ca. 1/100 sekund. Birkeland fortsetter:

«Det er af det, jeg her har sagt, let at forstaa, at man bør sammensætte kanonrøret af korte, flade elementærspiraler og afbryde strømmen i spiralerne en for en, efterhvert som den første pol af jernprosjektilet har suget sig gjennom den; da vil den anden pol aldrig komme saa nær de strømførende elementærspiraler, at nogen frastødning vil gjøre sig gjældende.»

Kanonen ble demonstrert. Det står at kulen som veide 10 kg «trængte ca. 25 cm ind i skiven, som var 40 cm tyk og bestod af korsvis sammenskruede bjælker». Avstanden fra kanonen var 20 m. I henhold til referatet fra møtet[6,7] fikk man pga uaktsomhet en kortslutning. Like før foredraget ble det «affyrt 3 skud uden gnist». Birkeland avsluttet foredraget på følgende måte:

«Af alle de udførte forsøg diskuteret paa grundlag af vort kjendskab til de elektromagnetiske fænomener, det her gjælder er jeg kommen til den overbevisning, at det med de nuværende hjælpemidler vil være muligt at konstruere udskydningsrør, der sender projektiler paa indtil 500 kg.s vægt med indtil 200 meters hastighed i sekundet. Denne hastighed er jo heller ikke stor til

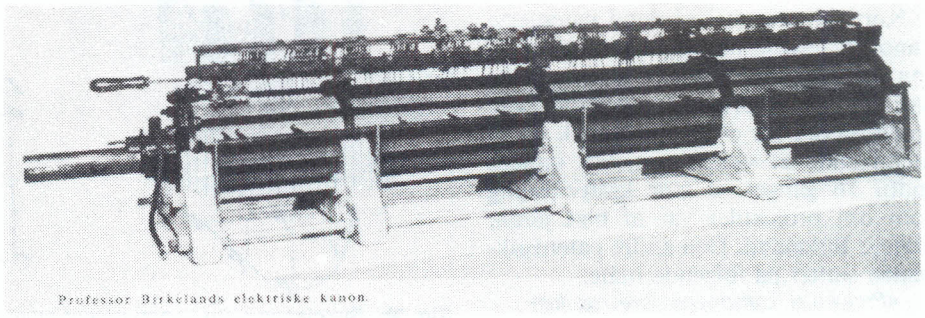


Fig. 5. Dette er et foto av kanonmodell no 2 som i dag finnes på Norsk Teknisk Museum i Oslo. For flere detaljer, jfr. teksten.

krigsbrug; men naar man betænker, at det her nærmest gjælder konstruksjon af en torpedoprojektor, altsaa et udskydningsrør for projektiler ladede med høit explosive sprængladninger, som ikke kan udskydes ved krudt, saa bliver sagen af betydelig interesse.»

Kong OSCAR II og kanonen

Birkeland pleide selv spøkefullt å sammenligne sin kanon med baron von Münchhausens tau, som han etterhvert skar av nedenfor seg og skjøtte til ovenfor under sin klatring på veien til himmelen.

Det er ingen tvil om at Birkelands elektromagnetiske kanon vakte oppsikt i vide kretser spesielt i Kristiania i 1902 og 1903. Det står i et avis-innlegg at Birkelands navn var «på alles læber». Således informerte Gunnar Knudsen i 1902, som da var blitt statsråd, kong Oscar II om Birkelands oppfinnelse. Etterat Kongen hadde hørt på orienteringen, spurte han meget interessert om hvor langt en slik kanoen ville kunne skyte.

«Birkeland forteller at den kan skyte så langt som fra Kristiania til Stockholm», svarte Gunnar Knudsen. Men så føyde han raskt til, da han så hvor alvorlig Kongen ble: *«... og han sier at det går an å skyte helt til St. Petersburg (Leningrad)»*. Da lyste Majesteten opp!

Fig. 6. «Professor Birkeland skyder Papegøjen». En karikatur fra vittighetsbladet Vikingen. I henhold til Devik tok Birkeland denne karikaturen med godt humør.

Vittighetsbladet Vikingen ofret kanonen betydelig oppmerksomhet. Karikaturen i fig. 6 er tatt derfra. Teksten «Birkeland skjøt papegøyen» viser at man trodde kanonen hadde en lys fremtid.

Et ti-tall små-kanoner ble bygget og alle virket «fortreffelig», mens bare 2 mellomstore kanoner (modell 2) ble gjort ferdige. Ingen store kanoner med 30 cm kaliber ble produsert.

Gallaforedraget i den Gamle festsal

Det følgende er et sammendrag av hvordan Sæland[8] og Devik[9] har omtalt gallaforedraget Universitetets Gamle festsal den 6. februar 1903 (jfr. også fig. 7).

«De høyspente forventninger med hvilke det store publikum i noen grad næret av Birkelands egen sangvinske tro fulgte kanonens kortvarige historie, fikk en like så brå som effektiv avslutning.»

Fig. 7. Dette er en tegning av Birkelands Gallaforedrag i Universitetets Gamle festsal den 6.2.1903. For detaljer, se teksten.

I nabolaget hadde Birkeland montert en svær omformer som skulle levere den elektriske strøm. Kanonen var stillet opp i salen og en solid skive av tretoms planker var satt opp på bakveggen, rett imot. Prøveskytingen hadde gått utmerket.

«Jeg hadde» fortalte Birkeland, *«sperret av sitteplassene på begge sider av banen, men Frithjof Nansen satte seg innenfor sperringen likevel. Salen var full, og på første benk satt bl. andre representantene for Armstrong og Krupp. Jeg gjennomgikk prinsippet for kanonen, og, Mine damer og herrer, sa jeg. De kan sitte ganske rolig. Når jeg slår bryteren i vil De hverken se eller høre noe uten smellet av prosjektilet mot skiven. Så slo jeg bryteren i. Det ble i et glimt et øredøvende og fresende spetakkel og flammen sto langt ut av munningen. (Han hadde fått en kortslutning på ca. 10.000 ampère.) Noen damer hvinte og et øyeblikk holdt det på å bli panikk. Det var jo også noe annet enn det jeg hadde stillet i utsikt, får man si. Det var det mest dramatiske øyeblikk i mitt liv med det ene skudd skjøt jeg mine aksjer fra 300 og ned i null. Men prosjektilet satt i blinken !»*

Kort før denne demonstrasjonen skriver Birkeland at strømbryteren ved denne kanon-modellen har voldt store vanskeligheter fordi den av prosjektilet induserte motstrøm var bare 1/10 av hva den burde være. Derfor måtte han bruke en mekanisk strømbryter, som ikke er tilstrekkelig for de høye strømstyrkene han ønsket å bruke.

Devik avslutter sin omtale på følgende måte:

«Det interessante var nå ikke det kursfall Birkeland nevnte, men situasjonen åpenbarte en av Birkelands mest fruktbare evner: Hans iakttakelse var lynsnart parat til å konsentrere seg om det som var uventet, og hans konstruktive fantasi ble engasjert med hele sin dynamiske styrke. I spolens magnetfelt ble lysbuen fra kortslutningen spredt ut vifteformet, og der lå det nye! Glemt var kanonen og fiaskoen med oppvisningen, nå var det den elektromagnetiske lysbue som opptok Birkeland.»

I løpet av forbausende kort tid hadde Birkeland lysbuens fysikalske egenskaper klart på det rene og han var også overbevist om at den måtte kunne brukes til noe. Men til hva? I denne situasjonen var det så at han for første gang traff Sam Eyde[10] i en middag hos Gunnar Knudsen bare én uke etter demonstrasjonen. Skjebnegudinnen må ha smilt den aftenen fordi denne fredagen (den 13. februar) ble Norsk Hydros egentlige fødselsdag.

«Interessentskabet Birkelands Skydevaaben» døde nesten – men ikke helt – med demonstrasjonen den 6. februar 1903. Jeg har sett påstander om at patentet ble solgt til England i 1906. Det som er klart er at Birkeland arbeidet videre med kanonprosjektet under sitt opphold i Egypt (1914-17). Både her og ved sitt korte opphold i Tokyo (mai og juni, 1917) nevner han kanonen flere ganger. Birkeland antyder at smarte våpenprodusenter prøver med triks å få kontroll over hans patent på den elektromagnetiske kanonen, men han er ikke lenger interessert i å selge.

Birkelands kanon – en kopi?

Det er mer enn en gang blitt antydet at Birkelands kanon ikke var noen original oppfinnelse fordi det var allment kjent at et jernstykke ville bli suget inn i en rett strømspole. Allerede i 1902 sto en notis om dette i Elektroteknisk Tidsskrift.

«Jeg skal anbefale den freidige indsender, at han overlader til patentkommissionerne verden over at undersøge, hvorvidt min kanon er ny eller ikke», svarte Birkeland.

Ingen røk uten ild, sies det. Det følgende summerer hva jeg har funnet i

den internasjonale litteraturen som kan belyse overskriften på dette avsnittet.

I American Journal of Science and Arts fra oktober 1845 har den berømte vitenskapsmann Chas. G. Page[11] (Columbia College, Washington D.C.) en artikkel om New Electro-Magnetic Engine, hvor han virkelig nevner en magnetisk kanon. Her står det følgende:

> «*Another curious instrument is the galvanic or magnetic gun. Four or more helices arranged successively, constitute the barrel of the gun, which is mounted with a stock and breech. The bar slides freely through the helices, and by means of a wire attached to the end towards the breech of the gun, it makes and breaks the connexion with the several helices in succession, and acquires such velocity from the action of the four helices, as to be projected to the distance of forty or fifty feet.*»

Dette er alt som står om denne magnetiske kanonen. Det er også blitt hevdet at den engelske matematikeren Peter Barlow alt i 1821 etablerte prinsippet for den elektromagnetiske kanonen, og at hans berømte landsmann Michael Faraday bygget en forbedret versjon i 1831, men jeg har ikke klart å finne noe om dette.

Scientific American fra november 1851[12] har en artikkel om «Electromagnetism as a motive power (s. 65 og 68). Artikkelen er hovedsakelig et sammendrag av Page's[11] (1845) tidligere arbeider. Jeg har også bladd gjennom Royal Society of London «catalogue of scientific papers» opptil år 1900 uten å finne flere relevante referanser.

Den elektromagnetiske kanon er blitt «oppfunnet» flere ganger i løpet av de siste 50 årene, uten at Birkelands pionerinnsats er nevnt. Således ble det i 1914 levert inn konstruksjonsbeskrivelse av franske militærteknikere med tanke på patent.

I Hitler-Tyskland var de inne på tanken om å bygge noen gigantiske elektromagnetiske kanoner tidlig i 40-årene. Hensikten var å bombardere London fra den franske side av kanalen (cf. Popular Sci., Dec. 1942). Selve kanon-røret skulle være 70 m langt og rekkevidden var antatt å bli godt over 150 km. Prosjektet ble ikke gjennomført.

Elektromagnetiske kanoner i Romalderen

I vår avanserte, teknologiske verden spesielt innenfor moderne romforskning skulle man tro at Birkelands kanon fra 1901 bare hørte hjemme på museum, men dette er ikke hele historien.

I 70-årene var det flere seriøse forslag og en del tester ble utført om å bruke elektromagnetiske kanoner for å skyte opp
både militære og vitenskapelige raketter. For kort tid siden ble idéen tatt opp på nytt som det fremgår av følgende sitat:[13]

> «*The novel concept is an* electromagnetic gun *where the projectile is a rocket.*»

Innenfor den sivile del av romforskningen er elektromagnetiske kanoner for oppskyting av raketter ikke blitt noen suksess.

I denne sammenheng vil vi nevne et annet eksperiment Birkeland utførte for nesten 80 år siden. Birkeland var klar over at forbrenningsmotorer ikke kunne benyttes for interplanetare raketter. Det riktige måtte være å bruke reaksjonskraften fra elektroner og/eller ioner skutt ut ved hjelp av et elektrisk felt. Forsøk ble utført i hans «verdensrom» den 1 m^3 store glasskassen og med positivt resultat. Slik som Birkeland tenkte og forutsa er problemet med rakettflukter i det store univers løst.

Med stjernekrigs-programmet (SDI) har den elektromagnetiske kanonen fått sin renessanse.[14,15]

«Rail-gun» prosjektet er en begrenset del av SDI-programmet. Det inngår i hva som kalles «kinetic-energy weapons», hvor man prøver ut mange forskjellige kanontyper basert på elektromagnetisk akselerasjon. Det er innenfor «rail-gun» prosjektet man har gjort de aller største fremskritt i SDI programmet. I tester som er utført for det amerikanske forsvarsdepartement, skal prosjektilhastigheter over 10 km/s vært oppnådd. Målsettingen er hastigheter på godt over 20 km/s for ladninger opp til ca. 5 kg. Det vil jo alltid være meget vanskelig praktisk talt umulig å beskytte seg mot prosjektiler som har hastigheter over 20 km/s.

Kanoner med hastigheter over 10 km/s har jo nesten ubegrensede skuddlengder og kan derfor også brukes til massetransport. Det er derfor ikke overraskende at man har begynt å tenke på en sivil utnyttelse av disse høyhastighets-kanonene. Det som spesielt har vært nevnt er transport av reservedeler, byggematerialer osv. fra jorden til bemannede romstasjoner. For nyttelast-transport kan romkanonene gjøre vanlige raketter og romferjer overflødige.

Den kolossale akselerasjonen utelukker transport av mennesker, og vil kreve nye typer av legeringer som tåler enormt høye temperaturer. Forskerne arbeider med å finne løsninger på disse problemene.

Konklusjon

Den elektromagnetiske kanon er et godt eksempel på hvordan Birkeland anvendte fysikken til å løse kompliserte, tekniske problemer. En kortslutning ved den store demonstrasjonen, samt at Birkeland stadig fikk nye idéer og oppdrag, førte til at Interessentskabet Birkelands Skydevaaben ble nesten totalt neglisjert og etter kort tid gikk i glemmeboken. Den elektromagnetiske kanon vil høyst sannsynlig få stadig nye anvendelser. Mangel på dokumentasjon vil imidlertid føre til at Birkelands navn ikke vil være knyttet til disse prosjektene, selv om han var den første som fikk patent på en elektromagnetisk kanon.

Referanser

1. H. Th. Landstad, Kanonen som startet det hele, Elektriske impulser, 17. årg., side 11, Norsk Hydro a/s, Porsgrunn Fabrikker, 1977.
2. A. Egeland, and E. Leer, Professor Kr. Birkeland: His Life and Work. IEEE Trans. Plasm. Sci., **PS-14**, No. 6, 1986.
3. Kr. Birkeland, Patent nos. 11201 (Sept. 1901); 11228 (Dec. 1901); 11342 April 1902).
4. Kr. Birkeland, New electric current breaker, Videnskabs- selskabets Skrifter, no 11, 1902.
5. Kr. Birkeland, Den elektromagnetiske kanon. Foredrag i Det Norske Videnskaps-Akademi 6. mars 1902. Et sammendrag finnes i årbok fra Akademiet, 1903.
6. J. Berg-Jæger, Den elektromagnetiske kanon, Electroteknisk Tidsskrift, s. 8, s. 9 og s. 15, (1902).
7. J. Berg-Jæger, Den elektromagnetiske kanon, Electroteknisk Tidsskrift, ss. 16-17 og s. 55, (1903).
8. Sem Sæland, Professor Kristian Birkeland, Fysisk Tidsskrift (København), **16**, 34-53 (1918).
9. O. Devik, *Blant Fiskere, Forskere og Andre Folk*, Aschehoug, Oslo, 1971 (+ originalmanuskript til foredrag om Kr. Birkeland av Devik).
10. S. Eyde, *Mitt liv og mitt livsverk*, Gyldendal forlag, 1939.
11. C.G. Page, New Electro-Magnetic Engine, The American Journal of Science and Arts (New Haven), **XLIX**, ss.131-135 og ss.136-142 (1845).
12. Electro-magnetism as a motive power, Scientific American, **VII**, s. 63 og s. 68 (1851).
13. F. Winterberg, The electromagnetic rocket gun. A noval launch concept. IEEE Transactions on Magnetics, MAG-20, ss. 370-373 (1984).
14. J.A. Adams, and M.A. Fischetti, SDI: The grand experiment. IEEE Spectrum, Special report, ss. 47-65 (1985).
15. J.L. Brown, E.B. George, J.R. Lippert, and A.R. Balius, Advanced electromagnetic gun simulation. IEEE Trans. Mag., **MAG-22**, 1407-09 (1986).

∞

Bokomtaler

Carroll, J.E., «Rate Equations in Semiconductor Electronics», Cambridge University Press, Cambridge 1985 (178 sider).

J.E. Carroll er professor i elektronikk ved Cambridge universitetet. Boka han har forfatta har form av ei lærebok. Lesaren blir ført steg for steg gjennom utleiingar og resonnement, etter kvart kapittel er det ei samling rekneøvingar, og det er bare ei kort referanseliste til slutt i boka. Forfattaren skriv i innleiinga at han har tenkt boka brukt som eit supplement til meir standard innføringsbøker i halvleiar-elektronikk. Og ein må seie at boka er ikkje noko innføringsbok. På dei snautt 200 sidene har forfattaren klemt inn omtale av eit omfattande utval av fenomen og komponentar i halvleiarfysikk. Utan eit grunnlag i faststofffysikk og moderne optikk vil ein ha lite utbyte av denne boka.

Men når det er sagt, må det også seiast at for den som har tileigna seg dei omgrepa forfattaren nyttar seg av (f.eks effektiv masse til eit elektron), blir boka ei samling av svært enkle modellar, modellar som gjev ein oversikt over mange sentrale emne i halvleiarfysikk. Som det går fram av tittelen, presenterer forfattaren modellane i form av ratelikningar. Men han legg også mykje vekt på bevaringslovane ein får som likevektsløysingar av ratelikningane.

Boka har to hovudbolkar, etter eit humoristisk og halvfilosofisk innleiingskapitel. Den fyrste bolken handlar om elektroniske komponentar som diodar, felteffekt-transistorar og Gunn-oscillatorar. Her blir Boltzmanns lineariserte transportlikning innført og analysert. Dei tre partikkelfordelingane (Maxwell, Bose og Fermi) for frie partiklar i statistisk mekanikk blir også utleia. Andre bolken handlar om optoelektroniske komponentar, med hovudvekt på laserar, særleg diode-laserar. Det er tydeleg at forfattaren kjenner seg mest heime i denne bolken. Somme stader i boka er referansane til likningar og figurar andre stader i boka feil. Elles seinkar ikkje trykkfeil lesaren i å fylgje framstillinga i boka.

Særleg dei som er kjende med formelt meir stringente (og mindre tilgjengelege) framstillingar av same emne vil setje pris på denne boka.

Aasmund Sv. Sudbø

∞

Macdonald, J.R. (ed.), «Impedance Spectroscopy», John Wiley and Sons, New York 1987 (ISBN 0-471-83122-0).

Impedans-spektroskopi er helt enkelt studier av frekvensavhengigheten til systemers elektromagnetiske impedans. Frekvensen blir variert typisk mellom 0 og 1 Mhz. Impedansspektroskopi spiller allerede en stor rolle i undersøkelser av biologiske prøver, i elektrokjemiske væskeundersøkelser og i materialvitenskapene.

Boken kan med godt utbytte leses av alle som har begynnerkurs i fysikk på universitetsnivå. Den gjør rede for impedansberegninger for forskjellige systemer. Spesielt blir impedansen til inhomogene media, enten væsker eller faste stoffer, diskutert. Bakgrunnsstoff som blir tatt opp er f.eks. diffusjon, masse og ladningstransport, impedanser til transmisjonsledninger av forskjellige typer m.m..

Imidlertid er boken tenkt hovedsakelig for eksperimentelt rettede fysikere og kjemikere. Målefysikken bak impedansbestemmelsene blir gjennomgått på en interessant måte, f.eks. gjelder det elektrodesystemer og målebroer. Også relevante analysemetoder presenteres. Illustrative applikasjoner gis fra flere felter, hovedvekten ligger på elektrokjemiske systemer, elektrodesystemer, materialkarakterisering, «solid state devices» og medium modeller.

Boken er enkelt og klart skrevet og området er pedagogisk presentert.

Anders Johnsson

∞

Nytt fra NFR

Emnegrupper i Fysikk ved norske universiteter

Følgende oversikt over emnegruppene (20-gruppene) i fysikk ved norske universiteter er utarbeidet etter oppdrag fra Norsk fysikkråd. Tallmaterialet er hentet fra studiehåndbøkene for 1987/88.

Timebelastning

Timetallene er vist i tabell 1. Til sammenligning er tilsvarende tall for 1. avdeling ved NTH's avdeling for fysikk og matematikk tatt med.

En merker seg at den totale timebelastning (F + L + Ø) er større i Oslo enn ved de andre universitetene. NTH har likevel ca. 30% større timetall enn Oslo!

Tabell 1. Oversikt over antall undervisningstimer i 20-gruppene i fysikk ved universitetene i Bergen, Oslo, Tromsø og Trondheim.

	Bergen	Oslo	Tromsø*	Trondheim	NTH**
F	235	248	216	280	455 (392)
L	125	196	90	160	80 (96)
Ø	84	210	201	120	315 (266)
F+L	360	444	306	440	535 (488)
F+L+Ø	444	654	507	560	850 (754)
# uker	28(?)	30	27	26	28

F: Forelesninger; L: Laboratorium; Ø: Øvinger, seminar ...
*Tallene for Tromsø refererer til emnegruppen som inneholder Fys-104.
**Tallene for NTH angir midlere timebelastning pr. år for fysikk-studenter i 1. avdeling. Tallene i parentes angir fysikkdelen for hele 1. avdeling.

Innhold og emner

Samtlige emnegrupper er blitt reviderte i løpet av det siste studieåret; det er derfor vanskelig å gjøre en sammenligning av innholdet utover de opplysningene som gis i form av stikkord i emnebeskrivelsene. Nivået på undervisningen synes imidlertid å være det samme på alle læresteder (Alonso-Finn: Fundamental University Physics), selv om stoffvalget kan variere noe.

Av formelle forskjeller kan en merke seg:

Oslo og Tromsø har egne emner i

statistisk fysikk.
- Oslo og Bergen har skilt ut laboratorieundervisningen som egne emner i *eksperimentalfysikk.*
- Trondheim har et særskilt emne i *fagdidaktikk.*
- Tromsø har to emnegrupper. Begge gir undervisningskompetanse, men bare den ene gir grunnlag for hovedfagsstudium i fysikk.

Kommentarer

I den grad den studieplanfestede timebelastningen er et mål for den arbeidsinnsats som er nødvendig for å gjennomføre et grunnfagsstudium i fysikk, synes det å være store forskjeller på kravene som stilles ved de norske universiteter. Med tanke på at 20-gruppen skal gi grunnlag for videre studier i fysikk og at den er knyttet til undervisningskompetansen for linjefag i den videregående skolen, synes det ikke urimelig at samtlige universiteter bestrebet seg på å komme opp på Oslo's nivå. Siden 20 vekttall skal svare til ett års studium med rimelig tid til fordypning, er det urealistisk og vel heller ikke ønskelig å nå NTH's timetall (med undervisningserfaring fra såvel AVH som NTH, har jeg beklageligvis observert at «graden av fordypning» ikke synes å øke, når timebelastningen avtar).

Fra flere hold er det uttrykt interesse for å lage en felles emne gruppe i fysikk for de fire universitetene, en emnegruppe med gitt emneinndeling, nivå og studiebelastning og i hvert fall tilnærmet samme innhold. Fra de vedlagte utdrag av studieplanene ser en at en slik samordning av emnegruppene i Oslo, Tromsø og Trondheim kan gjennomføres med relativt små forandringer. Det kan nevnes at kjemikerne langt på vei har innført en slik ordning, noe som bl.a. gjør det lettere for studenter som vil skifte studiested og forenkler alle godkjenningssaker.

Hans Kolbenstvedt

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer

På styremøtet 3. mai 1988 ble følgende nye medlemmer tatt opp:

Student Merethe Anthonsen
Kringsjåvn. 10A
7032 Trondheim

Student Morten Lund Bjarnar
Seatex A/S
Brøsetvn. 168
Postboks 1961, Moholtan
7002 Trondheim

Vit.ass. Nils Arne Bråten
Institutt for Fysikk
7034 Trondheim-NTH

Førsteamanuensis Henning Knutsen
Høgskolesenteret i Rogaland
Postboks 2557 Ullandhaug
4004 Stavanger

Forsker Jiri Müller
Institutt for energiteknikk
Postboks 40
2007 Kjeller

Student Lise Trondsen Sagdahl
Ole Nordgaardsvei 92
7049 Trondheim

Student Jon Ivar Skullerud
Othilienborgvn. 65
7048 Trondheim

Student Fartein Svergja
Volvevn. 3
7033 Trondheim

Student John Birger Stav
Fysisk Institutt
AVH
7055 Dragvoll

∞

Trim iFFV

FFVT-2/88

På en fysikerfest ble det raskt konstatert at tomme og fulle ølbokser har tyngdepunkt i samme høyde. Professor Funderi beregnet ølmengden som gir lavest tyngdepunkt (etter å ha funnet at ni tomme bokser veide like meget som en full). Kollega Kork kommenterte: «Det er vel ingen sak å regne på sylindriske ølbokser, forsøk heller en ølflaske! Men jeg kan forutsi at det laveste tyngdepunktet ligger i væskeoverflata»,

Hva var Funderis resultat? Og hadde Kork rett? (For å være sikker på at ølboksene ikke ligger veltet kan en gjøre den hypotetiske forutsetning at det er snakk om vørterøl.)

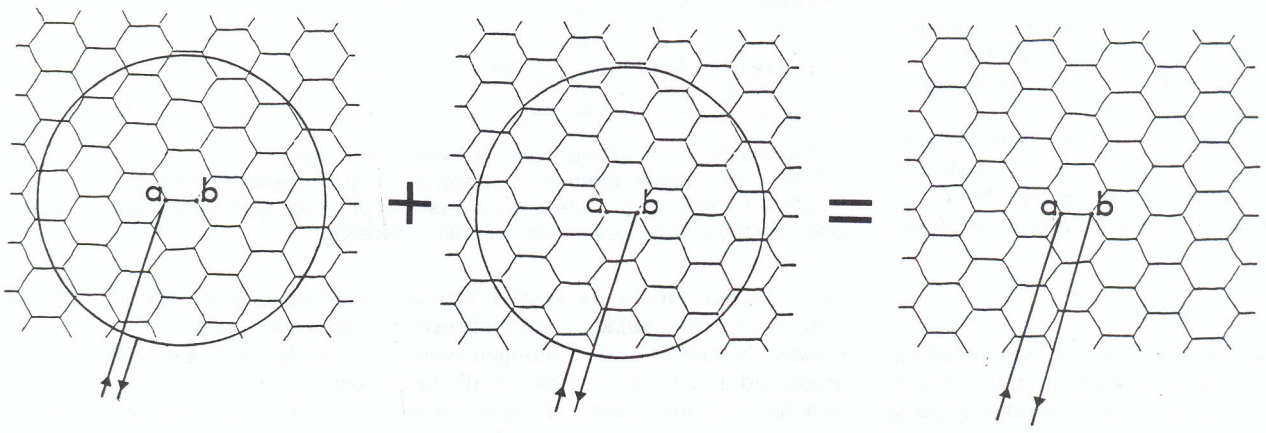
Løsning FFVT 1/88

Oppgaven gikk ut på å finne motstanden R mellom to nabopunkter i et meget stort stykke netting med sekskantede masker bygget opp av 1 ohm motstander.

Sender vi en strøm 1A inn mot et gitterpunkt a, og ut i det uendelig fjerne (situasjon 1), vil av symmetrigrunner 1/3 A flyte fra a til et nabopunkt b (se figur). Hadde i stedet en strøm på 1A flytt *ut* fra punkt b, og inn i det uendelig fjerne (situasjon 2), ville også en strøm 1/3 A flyte fra a til b. Overlagring av situasjon 1 og situasjon 2 gir at når 1A sendes inn mot a og ut fra b vil 2/3 A flyte langs den direkte forbindelseslinjen mellom a og b. Spenningsfallet over 1 ohms motstanden mellom a og b er derfor 2/3 volt. Spenning 2/3 volt og totalstrøm 1A gir totalmotstanden R = 2/3 ohm mellom nabopunktene.

Dersom en ser på R som en parallellkopling av den direkte motstandstråd 1 ohm og motstanden r i det øvrige nett, finner en r=2 ohm. Dette er altså motstanden når det er brudd i den direkte forbindelse mellom nabopunktene.

∞



Norsk Fysisk Selskap

STYRE

Leder:
Professor Eivind Osnes,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Nestleder:
Professor Ove Havnes,
Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.

Styremedlemmer:
Førsteamanuensis Torgeir Engeland,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Førsteamanuensis Johan Stadsnes,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Professor Haakon A. Olsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Trondheim/AVH.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.: (06) 812560
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Førsteamanuensis Øivin Holter,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Førsteamanuensis Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:
Førsteamanuensis Noralv Bjørnå,
Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Fysisk institutt, NTH, Universitetet i Trondheim.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt,
Universitetet i Oslo,

Boks 1048 Blindern,
0316 Oslo 3.

Tlf.:(02) 45 64 28

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 80.-. Studenter og skoleelever kr. 40.-. Løssalg kr. 25.- pr. nummer.

Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227