

Fra Fysikkens Verden



Den første universitetsbygningen i Christiania, fra 1828
(Se artikkel om Det Fysiske Cabinet)

Nr. 3 – 2011
73. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Bjørn Pedersen:	
Bestyrere av Det Fysiske Cabinet	80
Rolf Nordhagen:	
Fra kjernefysikk til IT-utvikling	87
Thormod Henriksen:	
Radon og lungekreft	92
Jostein Riiser Kristiansen:	
Finnes det sterile nøytroner?	98
Fra Redaktørene	74
FFV Gratulerer	74
Arne T. Skjeltorp	
Fysikknytt	76
Nøytrinoer med overlyshastighet?	
Nytt fra NFS	77
Fysikermøtet 2011	
Hva skjer	78
Fysikkolympiaden 2011	
Konferanse om fysikkundervisning	
Kommentar	102
Radioaktive utslipp og helse	
Fra Fysikkens Historie	103
Eratosthenes	
Bokomtaler	104
C. Angell m.fl.: Fysikkdiaktikk	
N.H. Fløttre:	
Fra kjemiens og fysikkens historie	
Nye Doktorer	106
PhD Tatjana Zivkovic	
Trim i FFV	106
Nye medlemmer	107

Fra Redaktørene

Universitetet i Oslo feirer i år sitt 200-årsjubileum. Fysikken var med nesten fra starten av.

I dette nummeret av FFV løfter Bjørn Pedersen frem de første bestyrerne av det som senere ble Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Rolf Nordhagen kaster lys over den kjernefysiske forskningens pionertid ved Universitetet.

For å forstå vår egen tid er det viktig å ha kunnskaper om fortiden. Men vi må også se vår egen tid. I en serie artikler i FFV har fokuset vært rettet mot fysikkens betydning for legevitenenskapen – ikke minst for behandling av kreft. Vi ser en merkelig dobbelthet. Stråling gir kreft, men stråling brukes også i bekjempelsen av kreft.

Nesten all fysikkunnskap har denne dobbeltheten. Kunnskaper om hvordan materien fungerer gir en makt over materien som har gitt menneskene et bedre liv. Da Universitetet ble opprettet for 200 år siden, eksisterte nesten ikke noe av det vi tar som selvfølgeligheter i dag: elektrisitet i alle hjem, radio, TV, datamaskiner, mobiltelefoner og biler, men det var heller ikke atombomber.

Så langt tilbake vi kan se, har mennesket spist av kunnskapens tre. Det kan ikke stoppes og bør ikke stoppes. I fysikken leter vi etter ting vi ikke skjønner. Ønsket om å forstå ligger dypt og driver oss mot kunnskaper som gjør at vi kan utnytte materiens egenskaper. Med dette følger et stort ansvar.

Fysikken danner et fundament for utviklingen av et samfunn med stadig mer komfort og bedre kommunikasjonsmuligheter. Vår tids globale kommunikasjon kan bidra til å øke forståelsen mellom ulike kulturer. Det har vært påpekt at ulike kommunikasjonsformer på Internett har hatt betydning for prosesser som sikter mot å demokratisere samfunn underlagt autoritære styresett, for eksempel i Nord-Afrika.

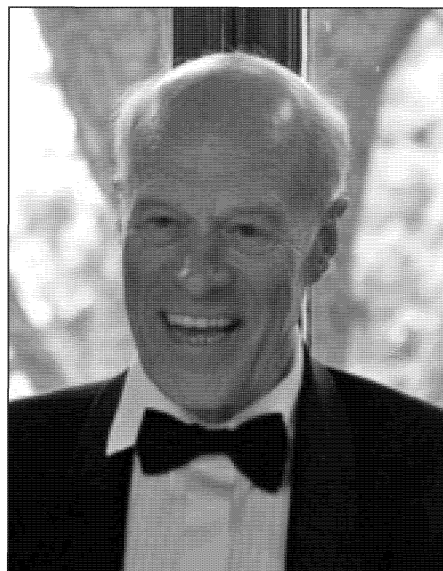
Kanskje er verden bedre enn før? Selv pessimister nøler med svaret når de blir spurt om de heller ville levd for hundre år siden.

Øyvind Grøn

∞

FFV Gratulerer

Arne T. Skjeltnorp 70 år



Professor Arne T. Skjeltnorp fylte 70 år 31. mars. Dette har det ikke vært enkelt å merke for oss som treffer ham nesten daglig. Allerede fire dager etter jubileet var han i gang med å arrangere den ti dager lange "Geilo-skolen" om "Cooperative phenomena in flows" med over 80 deltagere fra 17 land. Dette var den tiende gang Arne var direktør for denne anerkjente forskerskolen innen kondenserte fasers fysikk.

Arne vokste opp på gården Skjeltnorp i Skjeberg i Østfold, og etter artium i 1960 dro han til NTH i Trondheim. Etter avsluttet sivilingeniørutdannelse og verneplikt, reiste han til Yale University i USA for videre fysikkstudier. Han ble med i forskningsgruppen til professor Werner Wolf, som på den tid var en ledende gruppe innen utforskningen av magnetiske egenskaper til sjeldne jordartmetaller. Etter avlagt PhD-grad i 1971, arbeidet han som forsker ved Yale, før han flyttet tilbake til Norge i 1973 og ble ansatt som sjefsingeniør i Forsvarets bygnings-tjeneste. Arbeidet i Forsvaret som blant annet omfattet sikring av tilfluktsrom mot sprengninger, ga ham en nyttig lærdom i å anvende fysikk i praksis og om å overføre kunnskap fra småskala-modellforsøk til storskala-anvendelser. Denne praktiske holdningen har gjennomsyret alt hans videre arbeid som forsker.

I 1975 ble Arne tilknyttet lavtemperaturlaboratoriet ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

hvor han kunne videreføre sin tidligere forskning på magnetiske materialer. Fra 1980 har Arne vært ansatt som forsker, og fra 1992 også som avdelingssjef i Fysikkavdelingen ved Institutt for energiteknikk (IFE) på Kjeller. Han har hele tiden beholdt en sterk tilknytning til universitetsmiljøene og særlig til Universitetet i Oslo, hvor han har vært professor II siden 1988.

Arnes forskning spenner over et vidt felt. Det startet med utforskning av magnetiske vekselvirkninger og faseoverganger i sjeldne jordartsforbindelser, som $TB(OH)_3$ og $Gd(OH)_3$, ved susceptibilitets- og spesifikke varmemålinger. Da flytende magnetiske materialer i form av ferrofluider, eller "magnetiske væsker", ble tilgjengelige tidlig på 80-tallet, var Arne snar til å se mulighetene som bød seg.

Under et forskningsopphold ved IBM Thomas J. Watson Research Center i USA i 1984, fant Arne ut at ved å tilsette ikke-magnetiske partikler i form av sfæriske polymerpartikler (de såkalte "ugelstadkuler") til ferrofluider, kunne det skapes "magnetiske hull" som kunne kontrolleres ved hjelp av ytre magnetfelt. Denne ideen ble patentert og førte også til at Arne i 1990 ble tildelt Norsk Fysisk Selskaps IBM-pris for kondenserte fasers fysikk. Videre utforskning av dynamiske prosesser som finner sted når magnetiske hull utsettes for skiftende magnetfelt ledet ham til å ta i bruk metoder og begreper fra knute- og flettematematikk.

Da høytemperatur-superledende materialer ble oppdaget i 1986, ble Arne involvert i utforskningen av magnetiske levitasjonsforsøk med disse materialene i samarbeid med professor Tom H. Johansen ved Universitetet i Oslo. Omtrent samtidig ble fraktalbegrepet tatt i bruk innen fysikk, og Arne så straks hvordan denne nye beskrivelsen av fysiske strukturer kunne benyttes i hans egen forskning med ugelstadkuler og lignende kolloidpartikler. Dette ledet til en rekke publikasjoner i ledende tidsskrifter og førte til en forsideillustrasjon i tidsskriftet *Nature*.

I de senere årene har avdelingssjefjobben på IFE krevet mye av hans tid. Hans sterke ønske om å gjøre IFE til en viktig aktør innen nye materialer og nanoteknologi, førte til at karbon-nanorør og andre karbon-nanopartikler ble et nytt forskningsområde på instituttet. Særlig har forskningen rundt karbon-nanokjeger frembragt lovende praktiske resultater og flere patenter.

Arne Skjeltorp har vært et hyppig benyttet medlem av råd og utvalg for Forskningsrådet og for

departementene. Han ledet Forskningsrådets program for materialforskning på 1990-tallet. Dette programmet ga et kraftig løft og skapte en fornying i norsk materialvitenskap med en økt satsning på funksjonelle materialer. Da Det Norske Videnskaps-Akademi i 2007 oppnevnte den internasjonalt sammensatte priskomiteen for den nyopprettede Kavliprisen i nanovitenskap, var Arne Skjeltorp et naturlig valg som komiteens første leder. Han har hatt ansvaret for to prisutdelinger til nå og leder fortsatt nanovitenskapskomiteen. I tillegg har han siden 2001 vært formann for utvelgelseskomiteen for Gunnar Randers' forskningspris i fysikk som utdeles av Institutt for energiteknikk.

Arne har alltid vært en beskjeden person på egne vegne, og hans ledelsesfilosofi har vært å framheve sine medarbeidere og samarbeidspartnere, og påpeke lagspill og samarbeid som viktige verktøy for forskere. Han var med på å danne det nasjonale Complex-nettverket innen materialfysikk, som har bidratt til styrket samarbeid og arbeidsdeling mellom Universitetet i Oslo, NTNU og IFE. Vi som har vært hans medarbeidere i Fysikkavdelingen ved IFE, har tydelig merket hans lederskap, støtte og vilje til å hjelpe og påta seg oppgaver langt utover det en kunne forvente.

Arne er en aktiv pensjonist og kommer fortsatt til IFE hver dag for å delta som aktiv forsker i flere pågående prosjekter, hvis han da ikke er på et møte om nanoteknologi eller om materialforskning med den nye europeiske nøytron-spallasjonskilden ESS, som skal bygges i Lund i Sverige. Selv om denne ikke kommer i regulær drift før tidligst i 2020, ønsker han å gi sitt bidrag til at neste generasjon materialforskere skal få tilgang til det ypperste nye verktøy i materialforskningens verden.

Vi vil gratulere Arne med 70-årsdagen og ønske ham fortsatt mange aktive år som "forskende pensjonist"!

Geir Helgesen og Bjørn Hauback

∞

Fysikknytt

Nøytrinoer med overlyshastighet?

Som representant for OPERA-detektoren i Gran Sasso i Italia, annonserte A. Ereditato på en konferanse 22. september 2011 at de har målt overlyshastighet for nøytrinoer sendt ut fra CERN.

Nyheten om at den relativistiske lyshastighetsgrensen kanskje er blitt brutt, ble annonsert globalt allerede samme dag, og det ble spekulert på om relativitetsteorien er blitt motbevist. En vitenskapelig rapport i form av et 24 sider langt preprint ble lastet inn på internett dagen etter.

Nøytrinoene hadde beveget seg 730 km fra CERN til OPERA-detektoren. Forskerteamet hevder å ha målt avstanden med 20 cm nøyaktighet og reisetiden med en nøyaktighet på 10 ns. Hastigheten til nøytrinoene er gitt på vanlig måte som avstand delt på reisetid idet en regner med at de beveger seg med konstant fart. I løpet av en treårsperiode ble reisetiden målt for 16 000 nøytrinoer.

La meg referere hva som står i konklusjonen av den vitenskapelige rapporten⁽¹⁾: "Resultatet av studien indikerer at myon-nøytrinoer fra CERN med en gjennomsnittlig energi på 17 GeV per nøytrino har brukt $(60,7 \pm (6,9 \text{ (stat.)} \pm 7,7 \text{ (sys.)}) \text{ ns}$ kortere tid på reisen til OPERA-detektoren i Gran Sasso enn lys i tomt rom ville ha brukt. Den tilsvarende hastighetsforskjellen i forhold til lyshastigheten i tomt rom er $(v-c)/c = (2,48 \pm (0,28 \text{ (stat.)} \pm 0,30 \text{ (sys.)}) \cdot 10^{-5}$ med en statistisk signifikans på 6 standardavvik."

De runder av preprintet med å skrive: "Til tross for den store signifikansen av målingene som er rapportert her, og stabiliteten av analysen, motiverer de potensielt store konsekvensene av resultatene til fortsatte studier for å undersøke mulige fortsatt ukjente systematiske effekter som vil kunne forklare den observerte anomalien. Med hensikt forsøker vi ikke å gi noen teoretisk eller fenomenologisk tolkning av resultatene."

Men mediene avstår ikke fra dette. I en nyhetsmelding 23. september har VG overskriften: "Forskere kan ha slått hull på relativitetsteorien." Og i en stor artikkel 24. september har Aftenposten overskriften: "Bommet Einstein på naturens fartsgrense?" CERNs forskningsdirektør Ser-

gio Bertolucci sier: "Hvis målingene blir bekreftet kan dette endre vårt syn på fysikken."

Kanskje det, men helt opplagt er det ikke. Relativitetsteorien tillater faktisk eksistensen av partikler med overlyshastighet. De kalles tachyoner. I en artikkel som kom i American Journal of Physics i 1962 skrev den indiske fysikeren Sudarshan. De som tror at relativitetsteorien forbyr eksistensen av partikler med overlyshastighet, tenker på samme måte som de gamle indiere. De betraktet det som umulig å passere Himalaya og konkluderte med at det ikke kunne bo mennesker nord for Himalaya.

Det den spesielle relativitetsteorien forbyr er å passere lyshastighetsgrensen. En partikkel med mindre hastighet enn lysets kan ikke akselereres til overlyshastighet. Men kanskje kan det dannes partikler som alltid beveger seg med overlyshastighet – som er født nord for Himalaya. Relativitetsteorien tillater eksistensen av slike partikler, og det har vært lett etter dem uten at det er observert spor av dem.

Det er et kausalitetsproblem knyttet til eksistensen av tachyoner på grunn av samtidighetens relativitet. Hvis to hendelser skjer samtidig observert av en konduktør på et tog som beveger seg raskt, den ene bakerst og den andre forrest, vil en person i ro på en perrong observere at den bakerste hendelsen skjer før den forreste. Man kunne for eksempel lage en tachyontelefon, og sende et signal fra Oslo til Lillehammer med uendelig stor fart. Signalet kommer frem samtidig med at det ble sendt. Så overfører man umiddelbart signalet til en tachyontelefon ombord på et tog som beveger seg i retning fra Oslo mot Lillehammer, og sender det til Oslo med tachyoner som går uendelig raskt. I perrongens referansesystem er Oslo bakerst. Signalet vil ankomme Oslo samtidig med at det ble sendt i togets referansesystem. Men på grunn av samtidighetens relativitet vil signalet ankomme en person i ro i Oslo før det ble sendt fra Lillehammer. For hele rundturen blir resultatet at signalet ankommer Oslo før det ble sendt fra Oslo. Meldingen var: Ødelegg senderen når signalet kommer frem ...

Fysikerne pleier ut fra dette å konkludere med at dersom det eksisterer tachyoner, så kan man ikke bruke dem til å formidle informasjon til vanlig materie.

Det vil ikke desto mindre være sensasjonelt om det blir bekreftet at nøytrinoer beveger seg med overlyshastighet. For man har allerede gode observasjoner som tyder på at de ikke gjør det. I 1987 ble det observert en supernova i Den Store Magellanske

sky, 168 000 lysår fra jorda. Lys og nøytrinoer ble sent ut fra en stjerne som eksploderte for 168 000 år siden. Nøytrinoene ankom jorda praktisk talt samtidig med lyset. Hvis nøytrinoene hadde beveget seg med hastigheten målt med OPERA ville de ankommet jorda 4,2 år før lyset.

Dersom OPERA-målingene blir bekreftet av andre forskningsgrupper vil de åpenbart fortelle oss noe nytt. For resultatet er høyst uventet. Om de da forteller oss noe om relativitetsteorien eller kvantefysikken eller om nøytrinoer eller noe helt annet er foreløpig helt uklart. Hvis målingene ikke blir bekreftet, forteller de noe om hvor vanskelig det er å ha full oversikt over alle systematiske feilkilder i kompliserte fysikkeksperimenter.

Referanse

1. T. Adam et al.: *Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam*. ArXiv: 1109.4897.

Øyvind Grøn

∞

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2011

Fysikermøtet 2011 ble arrangert 20.–22. juni ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, som for øvrig feirer 200 år i år. Arrangementskomiteen, ledet av Morten Hjorth-Jensen, hadde valgt å samle alle plenumsforedragene innen temaet *beregningsorientert fysikk og undervisning*.

Instituttleder Einar Sagstuen ga innledningsvis et interessant tilbakeblikk på Universitetets og Instituttets første år. De første årene var det jurister som underviste i fysikk!

Plenumsforedragene første dagen var:

- David J. Dean (Department of Energy, Washington DC, and Oak Ridge National Lab., Tennessee, USA): *Scientific and Technological Innovations via Computations*.
- Anders Malthe-Sørenssen (Fysisk institutt og Senter for geologiske prosessers fysikk, UiO):

Computers in Science Education, a new way to teach Science.

- Knut Mørken (Institutt for Informatikk og Senter for matematikk for anvendelser, UiO): *Computers in Science Education; Some Experiences and Perspectives*.

Dagen etter ble vi invitert til følgende plenumsforedrag:

- Markus J. Buehler (Massachusetts Institute of Technology, USA): *Multiscale science of biological protein materials in extreme conditions and disease*.
- Trygve Helgaker (Kjemisk institutt og Center for Theoretical and Computational Chemistry, UiO): *Molecular Electronic-Structure Theory: Yesterday, Today and Tomorrow*.
- Tom Luu (Lawrence Livermore National Laboratory, USA): *Nuclear Physics from Lattice QCD, petascale computing and beyond*.
- Hans Kristian Eriksen (Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO): *Computational Cosmology: Understanding the Origins of the Universe*.
- Andrew McCulloch (University of California San Diego, USA): *Multi-Scale Modeling of Cardiac Electromechanical Interactions*.

Dagen ble avsluttet med ekskursjon til Henie Onstad Kunstsenter og festmiddag på "Bølgen & Moi".

Faggruppene arrangerte begge de to første dagene parallellsesjoner med spennende presentasjoner fra forskningsfronten, mesteparten presentert av PhD-studenter. Det ble også holdt årsmøter og valg i faggruppene.

Årsmøte. Siste dagen avholdt Norsk Fysisk Selskap tradisjonelt årsmøte med gjenvalg til alle verv.

En moderat stigning i medlemstallet kunne registreres. Avgående sekretær, Øyvind Svensen, ble takket for sin innsats for Selskapet siden januar 2008, og Trine W. Hansen fra Universitetet i Oslo, ble ønsket velkommen som ny sekretær.

Årsmøtet ble etterfulgt av prisutdelinger med tilhørende foredrag.

Undervisningsprisen for 2011 (15 000 kr) ble tildelt Cathrine Wahlstrøm Tellefsen, ved Valler videregående skole. I tillegg til å være en inspirerende lærer har hun skrevet lærebøker i fysikk og naturfag for videregående skole.



Vinner av Undervisningsprisen: Cathrine W. Tellefsen

Vinghøgprisen (tidligere Simrad Optonics-prisen), som består av 15 000 kr samt et grafisk blad, ble tildelt Karl Haugholt, Frode Tyholdt og Dag Wang, alle fra SINTEF. De fikk prisen for utvikling av en selvfokuserende linse. Et morsomt innslag var informasjon om at Dag Wangs far tidligere hadde mottatt Simrad Optonics-prisen.



Vinnere av Vinghøgprisen (fra venstre): Karl Haugholt, Dag Wang og Frode Tyholdt

Selskapet retter en stor takk til arrangementskomiteen og Fysisk institutt, UiO, for et meget vellykket fysikermøte. Neste store fysikermøte vil bli i Bergens-regionen i 2013.

*Per Osland
president i NFS*

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2011

Fin innsats av norske elever: 4 av 5 fikk "Honorable Mention"

Den internasjonale finalen i den 42. fysikkolympiaden ble avviklet i Bangkok i Thailand 10.–17. juli 2011. Det er i alt 86 medlemsland som kan delta med inntil 5 elever som ikke skal ha fylt 20 år før 30. juni. I år var det 363 deltakere fra 84 land. De fem deltakerne fra Norge var: Vidar Skogvoll (Trondheim katedralskole), Jonas Kylling (Spjelkavik vgs.), Trond Andersen (Ås vgs.), Håkon Johnsen (Voss gymnas) og Nikolai Martyshenko (Sandefjord vgs). De to lederne, Øyvind Guldahl og Torbjørn Mehl, hadde som viktigste oppgaver å delta i diskusjonen om utformingen av oppgavene, oversette dem til norsk og rette de norske elevenes besvarelser.

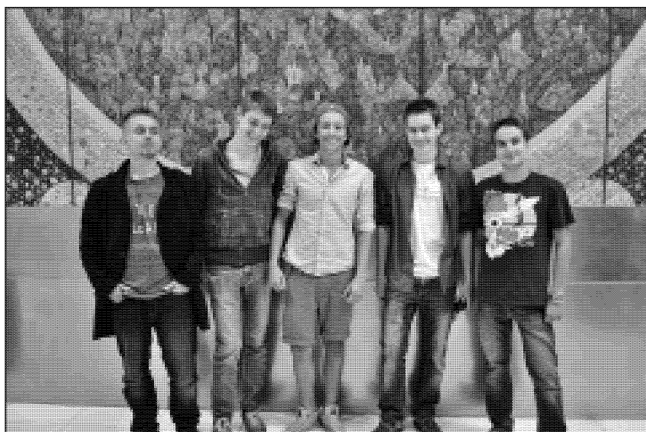
Den internasjonale finalen er et stort arrangement som Thaiene avviklet på en utmerket måte. "Smilets land" levde virkelig opp til sitt rykte. Både studenter og ledere ble tatt godt vare på av lokale guider. Våre fem gutter fikk nok en opplevelse de vil huske resten av livet. Å treffe så mange ungdommer fra hele verden med felles interesse for fysikk er en stor opplevelse i seg selv. I tillegg til det fysikkfaglige blir det tid mye annet. For eksempel busstur til kysten syd for Bangkok, Kongepalasset i Bangkok, middag med innlagt thaidans mm.

Selve konkurransen går over to dager. Først en dag med teorioppgaver, og så en dag med eksperimentelle oppgaver. Det ble delt ut 54 gullmedaljer, 68 sølvmedaljer og 93 bronsemedaljer. Omtrent 50 % av deltakerne får en medalje. Den beste tredelen av de øvrige får hederlig omtale (Honorable Mention, HM). Også i år dominerte de asiatiske landene den øverste delen av resultatlista. Taiwan tok 5 av de 7 første plassene. 9 av de 10 nasjonene som fikk 3 eller flere gullmedaljer var asiatiske: Taiwan (5), Kina (5), Korea (5), Singapore (4), Thailand (3), India (3), Hong Kong (3), Kazakstan (3), Japan (3) og Slovakia (3).

Vi hevdet oss imidlertid godt i nordisk sammenheng. At hele fire av våre deltakere oppnådde hederlig omtale må vi være godt fornøyde med. Finland fikk 3 bronse og 2 HM, Danmark 2 br og 1 HM, Norge 4 HM og Island 1 HM. Sverige fikk denne

gangen verken medalje eller HM. Det var særlig på de eksperimentelle oppgavene vi mistet mange poeng fordi våre elever mangler rutine og nøyaktighet. Her teller alle detaljer: mange nok målinger, riktig bruk av enheter, nøyaktighet i grafiske framstillinger, riktig antall siffer osv.

I den første av de teoretiske oppgavene skulle et av lagrangepunktene i jordbanen beregnes. Det vil si et punkt (60° foran eller bak jorda i jordbanen) der en romsonde kan ligge stabilt under påvirkning av kreftene fra sola og jorda. Resten av oppgaven dreide seg om banen til LISA (Laser Interferometer Space Antenna), tre romsonder som skal sendes opp i formasjon 20° bak jorda i jordbanen, som er designet for å kunne registrere gravitasjonsbølger.



Figur 1. Deltakerne (fra venstre): Vidar Skogvoll, Jonas Kylling, Trond Andersen, Håkon Johnsen og Nikolai Martyshenko.

Den andre oppgaven gjaldt elektriske krefter mellom et proton og en dipol. Et proton som nærmer seg et nøytralt atom vil polarisere dette og dermed bli trukket inn mot atomet.

Den andre konkurransedagen fikk studentene to eksperimentelle oppgaver å løse på 5 timer. Den første oppgaven gjaldt et prinsipp som kan brukes til å lage et digitalt skyvelære (avstandsmåler). To kamformete plater danner en kondensator der kapasitansen varierer når den ene plata forskyves over den andre. Kapasitansen skulle bestemmes ved å måle frekvensen i en svingekrets. Sammenhengen mellom frekvensen og forskyvningen skulle en så finne grafisk.

Den andre eksperimentelle oppgaven var om en fysisk pendel. I et metallrør var det festet en kule med ukjent masse på et ukjent sted. Ved å måle svingetida for røret med ulike plasseringer av ro-

tasjonsaksen, skulle en beregne posisjonen til kula og forholdet mellom massene til stanga og kula. Til slutt skulle tyngdens akselerasjon beregnes med tre siffrers nøyaktighet.

Alle oppgavene med løsninger og resultatlister finnes på <http://www.ipho2011.org/index.php/> Her finnes også statutter, medlemsland og annen informasjon om den internasjonale fysikkolympiaden.

Mer informasjon om fysikkolympiaden finnes på <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/fysikk-ol/>

Neste fysikkolympiade finner sted i Estland fra 15. til 24. juli 2012. Uttaket begynner med første runde i begynnelsen av november. Deretter kommer andre runde 2. februar og norsk finale 30. mars 2012.

Øyvind Guldahl

∞

Landskonferanse om fysikkundervisning 2012

Norsk fysikklærerforening vil nok en gang arrangere landskonferanse om fysikkundervisning. Den vil som de to foregående konferansene, foregå på Pers hotell på Gol, og den vil finne sted fra 7. til 10. august 2012. Landskonferansen om fysikkundervisning har nå gjennom flere år utviklet seg til kanskje det viktigste møtested for diskusjon og utvikling av fysikkundervisningen i Norge. Her snakkes det fysikk (nesten) hele døgnet i en fin blanding av fordrag, diskusjoner og sosialt samvær.

Målet for konferansene er faglig oppdatering, utveksling av erfaringer og metoder, å styrke undervisningen og fysikkfagets plass i utdanningssystemet, drøfting av fagets innhold og form samt drøfting av fysikkdidaktiske problemstillinger. På konferansen i 2012 vil vi rette oppmerksomheten mot de store spørsmålene i fysikk – fra det aller minste til det aller største. Hvordan går det med Higgs? Hva ligger utenfor den kosmiske horisonten på 42 milliarder lysår? Lever vi et "multivers"? Hva er tid? Hvordan formidler vi de "store" ideene til våre elever?

Tradisjonen tro vil det bli "blåtur", masse fysikk, festmiddag og tradisjonelle begivenheter.

Sett av datoene 7. til 10. august 2012 allerede nå, og følg med på våre nettsider med de siste nyheter: <http://fysikkclarer.no/>

Hilsen arrangementskomiteen

Carl Angell

∞

Bestyrere av Det Physiske Cabinet – forløperen til Fysisk institutt i Oslo

Bjørn Pedersen *

Universitetet i Christiania ble grunnlagt 2. september 1811, og allerede fra august 1813 ble der undervist i fysikk. I anledning av 200-årsjubileet for Universitetet vil vi se på den første fysikkundervisningen ved Universitetet, hvor den holdt til, og hvem de var de tre første bestyrerne av Det Physiske Cabinet: Jac Keyser, Christian Langberg og Hartvig Christie.

Universitetet opprettes

Universitetet i Christiania, Det Kongelige Frederiks Universitet, ble grunnlagt 2. september 1811 av kong Frederik 6. 15 måneder senere ble de første syv professorene utnevnt i København av den samme kongen. Frihetssommeren 1814 ble de neste åtte ansatt av kong Christian Frederik i Christiania.

De første 17 studentene tok *examen artium* ved Universitetet i Christiania i august 1813 og ble eksaminert av Universitetets professorer. Senere på året tok tre studenter *examen philosophicum*, også kalt andenekssamen. Til andenekssamen studerte de fag som de hadde lite av til *examen artium*, bl.a. matematikk, naturlære og naturhistorie. *Naturhistorie* var en fellesbetegnelse på botanikk, geologi og zoologi, og var en fortelling om/beskrivelse av naturen. Dette underviste professor **Jens Rathke** i. *Naturlære* omfattet rasjonelle forklaringer på hvorfor naturen er som den er, dvs. hva vi i dag kaller fysikk og kjemi. **Søren Rasmussen (1768-1850)** var professor i teoretisk matematikk og i naturhistorie. Rathke og Rasmussen var blant de første professorene som ble utnevnt i København. Rasmussen hadde også plikt til å forelese over eksperimentalfysikken. Dermed ble Søren Rasmussen den første fysikklæreren ved Universitetet i Christiania (figur 1).



Figur 1. Søren Rasmussen (1768–1850), den første fysikklærer ved Universitetet i Christiania.

Fysikkfaget

Fysikk var et fag til andenekssamen på hele 1800-tallet. Alle som ønsket å studere videre til en embetseksamen måtte bestå andenekssamen. Det var et ett til halvannet års studium som ga rett til tittelen *cand.philos.*

I 1847 ble andenekssamen radikalt endret. Gresk og latin ble kastet ut, mens fysikk og kjemi ble styrket. Dette var den første seieren til realfagene. I 1861 ble Det filosofiske fakultet delt i

* Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo

et historisk-filosofisk og et matematisk-naturvitenskapelig fakultet. Realartium ble innført i 1869.

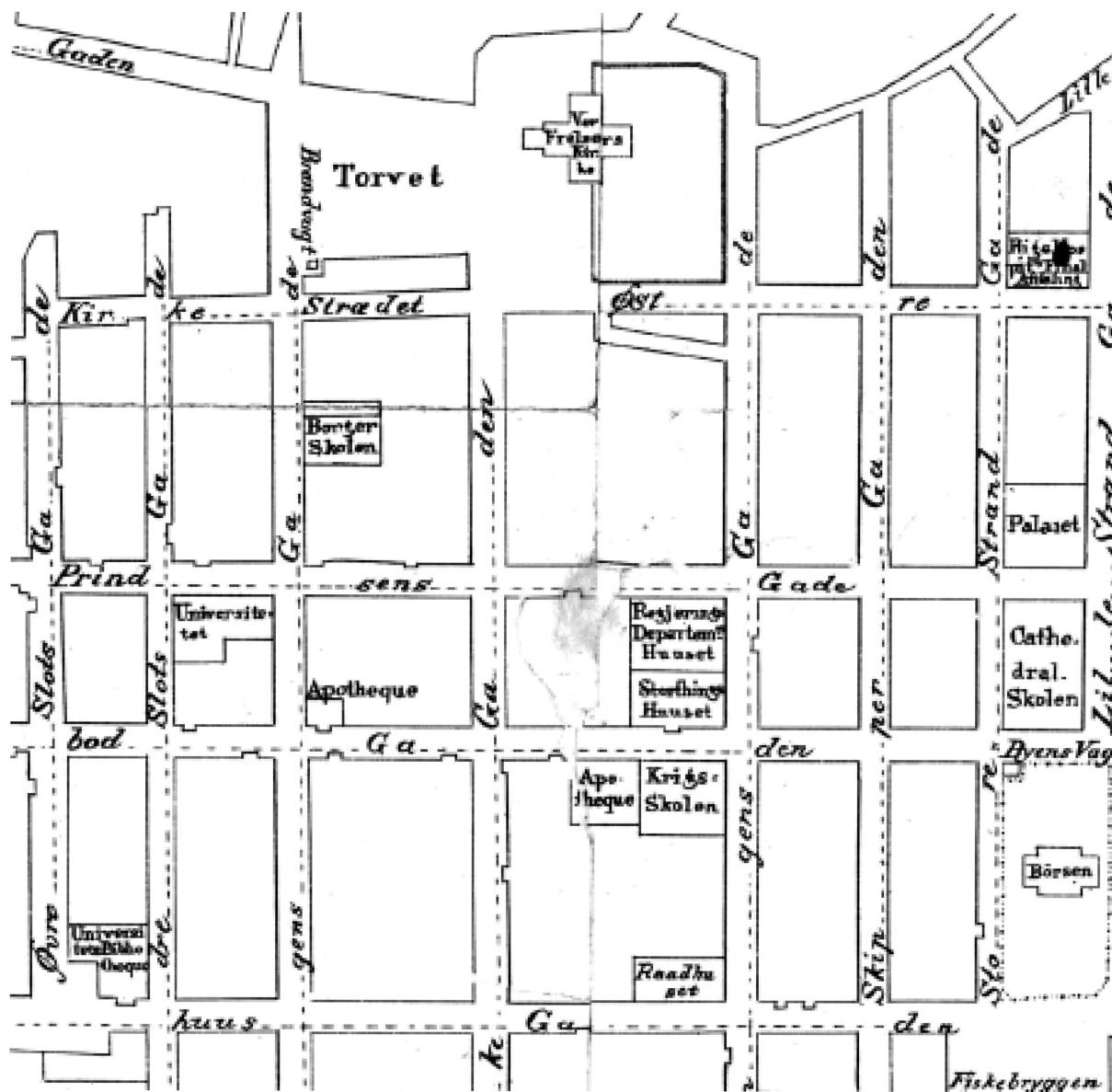
Da reallærereksamen ble innført i 1851, ble fysikk også et fag til den eksamenen, men det var få som ble realfagslærere. Hovedfag, med krav om at studentene gjennomførte en selvvalgt vitenskapelig undersøkelse, ble først innført i 1905. De som tok reallærereksamen før 1905, måtte ta eksamen i to av tre grupper av fag: Gruppe I: matematikk, mekanikk og astronomi; Gruppe II: fysikk og kjemi; og Gruppe III: de deskriptive naturfagene botanikk, mineralogi og zoologi.

Jens Jacob Krum/Krumm var den første som ble ansatt ved Universitetet i Christiania. Han ble utnevnt til professor i *fysik og kemi*. Et halvt år

senere tok han slektsnavnet *Keyser*. Som fornavn brukte han Jac.

Jac Keyser var den første bestyrer av *Det Fysiske Cabinet* og *Det Chemiske Laboratorium*. Han ga fra seg kjemien i 1838 og var resten av livet bare professor i fysikk og bestyrer av Kabinettet. Først med den fjerde professoren i stolen på 1890-tallet, ble kabinettet kalt *Fysisk institutt* i Universitetets årsberetninger.

Keyseres etterfølger var **Christian Langberg** som ble etterfulgt av **Hartvig Christie**. Den fjerde professor i stolen var **Oskar Emil Schiøtz** som var professor i fysikk i 48 år, fra 1875 til 1923. Keyser var 32 år i stolen, Langberg 10 og Christie 15. Begge de to siste døde før de var 50 år.



Figur 2. Campusområdet i 1827. Apoteket er Svaneapoteket hvor Peter Møller var ansatt fra 1819 og innehaver 1830–63. (Utsnitt av kart over Christiania mellom Prinsens gate og Rådhusgaten).

Keysers hus

Universitetet begynte på bar bakke. Det forelå planer om et universitetsanlegg på Tøyen. Men planene var laget i Danmark, og etter 1814 skulle Norge stå mest mulig på egne ben, og penger var det lite av etter napoleonskrigene og adskillelsen fra Danmark. Det eneste som ble etablert på Tøyen var en botanisk hage. Den lå for langt fra byen, og veien dit gikk gjennom et strøk med for mange fristelser for studentene.

Christiania var en liten by i 1815 med en befolkning på ikke stort over 10 000. Det som kalles Universitetet på kartet fra 1827 (figur 2), var Mari-boegården med plass til forelesinger, administrasjonen og studentboliger. (I dag ligger Telegrafbygningen der.)

Med dagens øyne kan vi si at Universitetets første campus lå ved Christianias gamle torv. Der ligger fortsatt to bygninger som Universitetet den gang brukte. Dessuten lå det en bygning jeg vil døpe Keysers hus, like ved. De tre bygningene pluss den åpne plassen omkring, utgjorde Universitetets første campus. Den var uten port og gjerde, slik campusen på Blindern er i dag, og den lå sentralt i Kvadraturen omgitt av bygårder slik Blindern ligger i dag omgitt av småhusbebyggelse. Her vrimlet førsteårsstudentene, medisinerstudentene og bergstudentene i nesten 40 år. I Keysers hus fikk de undervisning i fysikk og kjemi.

Anatomigården ble også overtatt av Universitetet og disponert av professor i medisin Michael Skjelderup (1769–1852). Rådmannsgården ble tatt i bruk som Universitetsbibliotek. Dermed kan man si at denne gårdsplassen var den første Universitetsplassen i Christiania, med de første tre husene disponert, og etter hvert eid, av Universitetet. Huset rett over gaten for Rådmandsgården er det gamle Rådhuset som ble benyttet av høyesterett i denne tiden. I figur 3 fra 1890-årene, ses Rådmannsgården til høyre og Anatomigården til venstre.

Bygningen Keyser tok over var gammel, dårlig og lite egnet. Keyser fikk revet den, og det ble reist en ny bygning der, vist i figur 4. Bygningen er tegnet av Christian H. Grosch (1801–65) som senere også tegnet Observatoriet og mange andre offentlige bygninger i Christiania.

I første etasje i Keysers hus var det et kjemilaboratorium, rom for kjemikalier og bolig for en portner. I andre etasje var det tre rom til Det Fysiske Cabinet (en instrumentsamling) og bolig for en



Figur 3. Christiania torv med Anatomigården til venstre. Bak til venstre over stikker Keysers hus opp over Anatomigården. (Foto av O. Væring fra 1890-årene.)



Figur 4. Keysers hus til Øvre Slottsgate. (Foto fra 1934.)

amanuensis. Loftet var for forsøk i optikk. I begge etasjer var det auditorier, ett for kjemi i første og ett for fysikk i andre etasje. Her kunne Keyser boltre seg med mer enn 400 m² til disposisjon. Det ble trangere etter hvert som det ble krevd at medisinerstudentene skulle gjøre eksperimentelt arbeid selv. Keyser bodde ikke i huset, men sannsynligvis på Frogner, som den gang var en gård og lite utbygget.

Keysers hus var den første bygningen Universitetet bygget. Den sto ferdig i 1828, fem år før det astronomiske observatoriet til Christopher Hansteen. Observatoriet lå den gangen langt ute på landet for å få fri sikt for røyken fra byen. (Ikke på grunn av lyset fra byen som mange sier. De eneste lyskildene den gang var talglys og tranlamper. Den første gasslykten på Stortorvet kom først i 1848.) Til observatoriet kom det få studenter, men til Keysers hus kom det mange, både førsteårsstudenter, medisinerstudenter, farmasøyter og bergstudenter, i nesten 40 år fra 1815 til Universitetsbygningene på Karl Johans gate ble tatt i bruk i 1852.

Instrumentksamlingen

De første instrumentene i Det Physiske Cabinet kom fra bergseminaret på Kongsberg som ble grunnlagt i 1758, så deler av samlingen var 50 år eldre enn Universitetet. I 1815 dro Keyser til København med et betydelig beløp (1000 pund) for å kjøpe instrumenter på auksjonen etter astronomen, professor Thomas Bugge (1740–1815). Han brukte bare halvparten av pengene der, og for resten kjøpte han instrumenter laget i Wien, London og Paris.

Keyser ga fra seg kjemien i 1838. Da ble instrumentksamlingen delt, og det ble laget en oversikt over instrumentene som ble publisert i Universitetets årsmelding. Langberg sto for flyttingen av instrumentksamlingen fra Keyser's hus til rom i den nordlige delen av *Domus Media* i Universitetet på Karl Johan. Alle bestyrerne av kabinettet kjøpte inn nye instrumenter, dels ved reiser i utlandet og dels ved å bestille dem fra anerkjente instrumentmakere. Der var ikke instrumenter for forskning, men til bruk i undervisningen.

Annen virksomhet

Keyser, Langberg og Christie underviste også ved Krigsskolen, så de var først og fremst lærere og forsket lite. De var ikke skolert for forskning, og forskning ble heller ikke forventet av dem. Det er det mest ettertiden som har gjort. Alle hadde reist i Europa et års tid, og Langberg og Christie hadde gjort noen målinger. Men mitt inntrykk er at de var ute for å se hvordan fysikk ble undervist ved andre universiteter og for å få kontakt med kolleger. Keyser hadde også oppdrag for Hansteen med å promotere hans bok om jordens magnetfelt. Langberg målte også magnetfeltet for Hansteen.

De første professorene fungerte i en by som vokste raskt fra litt under 10 000 i 1800 til 80 000 i 1875, med økende krav til teknisk infrastruktur. Med sin tekniske innsikt ble disse professorene derfor i stor grad engasjert i hva Gustav Marthinsen (1922–96) kalte *ekstramural virksomhet*, dvs. virksomhet utenfor universitetets "murer".

Jens Jacob (Jac) Keyser (1780–1847)

Utdanning og tidlig praksis

I 1798 tok Keyser *examen artium* i København, og året etter *examen philologicum* og *philosophicum*.

Han ble deretter tatt opp som *alumnus* (elev) ved *Det pædagogiske seminar*, hvor han studerte fire år for å bli matematikk- og fysikklærer. Deretter ble han ansatt som adjunkt ved Københavns katedralskole, hvor han underviste i disse to fagene. I den tiden utga han reviderte utgaver av noen lærebøker i matematikk.

Det var krig i Europa, og Napoleon var på fremmarsj. Da England var redd Napoleon skulle få tak i den dansk-norske flåte, beskjøt de København med kanoner i september 1807, og ødela bl.a. Katedralskolen. Den ble først bygget opp igjen i 1816. Dette kan være forklaringen på hvorfor Keyser tok *juridicum* og arbeidet en tid som amanuensis ved Universitetsbiblioteket. Først i 1812 var han tilbake som lærer ved Katedralskolen. Da var han alt fanget inn av Niels Treschow og ble satt til å bli professor i Christiania.

Keyser underviste i fysikk og kjemi til *examen philosophicum*, i medisinerstudiet, i bergstudiet, for farmasøyter og ved Krigsskolen. Han begynte på bar bakke og fikk plass til *Det Physiske Cabinet* (samlingen av fysikkapparater) og *Det Chemiske Laboratorium* i en gård i Øvre Slottsgate, som nevnt ovenfor. Særlig undervisningen av medisinerstudentene i kjemi må ha tatt mye av hans tid.

Konsentrasjon om fysikken

I 1838 ble Keyser fritatt for kjemien ved Universitetet idet han erklærte at med de fremskritt naturvitenskapene i den senere tid hadde gjort, var det ikke lenger mulig for en enkelt mann å dekke både fysikk og kjemi. Dette fritaket var godt planlagt og friga en stilling til en egen lærer i kjemi, *Moritz Christian Julius Thaulow*. Han var da under utdanning i Europa.

Lorentz Christian Langberg (1810–57)

Utdanning

Christian Langberg (figur 5) studerte fysikk hos Hans Christian Ørsted i København i 1830, etter å ha tatt *examen artium* ved Katedralskolen i Christiania to år før og *examen philosophicum* ett år før.

I 1835 tok Langberg juridisk eksamen ved Det Kongelige Frederiks Universitet. Han var omgangsvenn av Anton Martin Schweigaard, Peter Andreas Munch og Bernhard Dunker. De holdt sine studentlag ("klubben") hjemme hos ham. Jus var hans fagstudium og estetikk hans yndlingstema.



Figur 5. Lorentz Christian Langberg (1810–57) den andre bestyrer av Det Fysiske Cabinet.

Henrik Wergeland kalte ham "Rufus Æsthetikkell" med hentydning til hans røde hår. Han sto også grev Herman Wedel Jarlsberg nær, og var en tid hans privatsekretær.

Naturvitenskapsmannen

Langberg ble etter hvert mest interessert i naturvitenskap, og i 1841 ble han Universitetsstipendiat i fysikk og anvendt matematikk. Da han i 1841 holdt offentlige foredrag om varmelæren, fordampningen og vanndampens anvendelse som bevegelig kraft, og om dampmaskinens historie, hadde han 100 tilhørere.

I juli 1843 dro han på studiereise i Europa med stipend. Christopher Hansteen utstyrte ham med et kronometer og et apparat til å måle jordens magnetfelt. Han målte feltet på 60–70 steder i Europa, og resultatene ble publisert både på tysk og norsk. Etter en uke i København i møte med Hans Christian Ørsted, dro han til London hvor han besøkte

flere fabrikker og maskinverksteder. Han møtte professor Charles Wheatstone som viste ham både Universitetets og sin egen samling av fysiske apparater. Deretter dro han til Cork i Irland, som invitert deltager i en vitenskapelig kongress hvor han holdt foredrag om virksomheten ved Observatoriet i Christiania. Reisen fortsatte til Brüssel og videre til Paris, hvor han hørte en rekke forelesninger av fysikeren A. C. Becquerel (far til Henri Becquerel) og kjemikeren Jean-Baptiste Dumas.

I mai 1844 reiste Langberg videre til en rekke universiteter i Holland, Italia, Tyskland og Sveits. Han ville gjerne delta i vitenskapelige arbeider, men den eneste som slapp ham til var professor H.G. Magnus i Berlin. I hans laboratorium gjennomførte Langberg en studie av temperatur og varmeledning i faste stoffer. Resultatene ble publisert på tysk. Langberg kom tilbake til Christiania i begynnelsen av september 1845 som medlem av *The British Association for the Advancement of Science* og *Physikalische Gesellschaft* i Berlin.

Universitetslæreren

Langberg vikarierte for Keyser det siste året før Keyser døde. Han ble deretter lektor, og fra 1851 fikk han opprykk til professor i fysikk. Han skal ha vært en god foreleser "med et litterært sving", som Jens Arup Seip skriver i sin bok om Ole Jacob Broch og hans samtid.

Etter innflytting i de nye Universitetsbygningene i Karl Johans gate, disponerte Langberg 8 rom i den nordvestre delen av *Domus Media*. Etter hvert overtok fysikken mer av denne delen av bygningen. Én professor (Langberg) flyttet inn i 1852, og tre professorer (Sæland, Vegard og Hylleraas) og en dosent (Wereide) flyttet ut i 1935. Fysikken vokste i løpet av de 83 årene i Christianias sentrum.

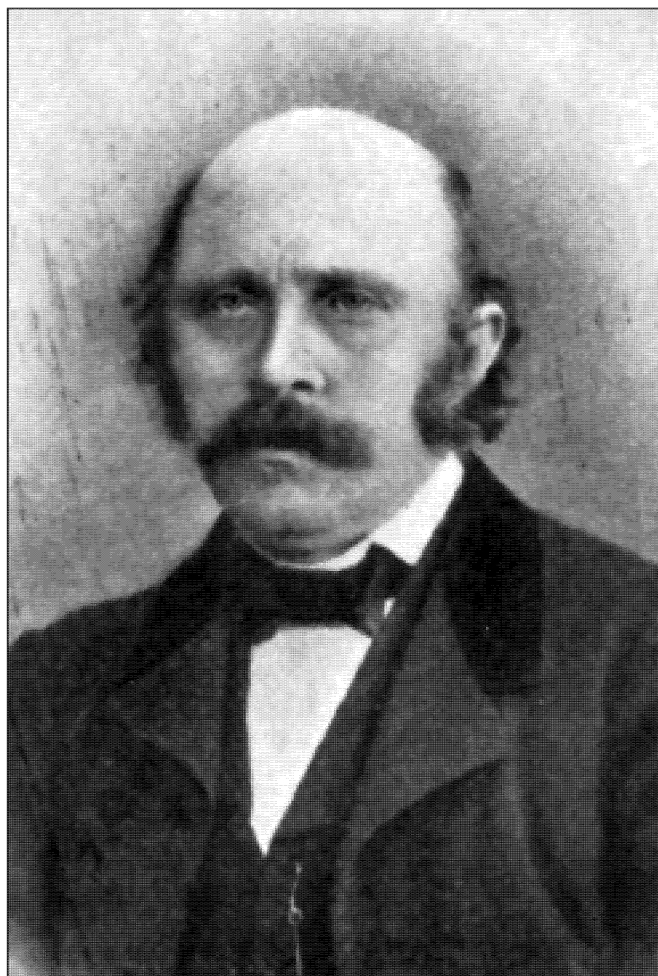
Langberg var et aktivt medlem av *Den physiographiske Forening* i Christiania, en forløper til Videnskabs-Akademiet i Christiania, og i 1847–57 var han redaktør for tidsskriftet *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*, som foreningen utga. Han holdt 16 foredrag i denne foreningen og skrev 9 artikler i tidsskriftet. Disse var stort sett ikke resultat av egen forskning, men formidling av aktuell forskning i optikk og varmelære på norsk. Et unntak er hans undersøkelser av endringen i tettheten av svovelsyre ved tilsetning av vann, en effekt vi benytter oss av i dag når vi kontrollerer om bilbatteriet er tilstrekkelig ladet. En artikkel på tysk ble publisert etter hans død. Den handlet om en kor-

reksjon til en metode for bestemmelse av mengden alkohol i vann.

Hartvig Caspar Christie (1826–1873)

Utdanning

Hartvig Christie (figur 6) vokste opp i Trondheim og ble student i 1844. Han tok bergeksamen i 1848 (*cand.min.*), og i 1855 tok han, som den første, reallærereksamen.



Figur 6. Hartvig Caspar Christie (1826–73) den tredje bestyrer av Det Fysiske Cabinet.

Etter bergeksamen arbeidet Christie en tid som nattstiger i Kongsberg, og han var også noen år lærer ved Nissens skole. I 1859 ble han ansatt som lektor i fysikk etter Langberg, i konkurranse med *cand.med.* Adam Arndtsen (1829–1919). Arndtsen hadde fungert som vikar under Langbergs sykdom, men tapte i konkurransen om å bli Langbergs etterfølger. Det var første gang det var offentlig konkurranse om en stilling ved Universitetet.

Arndtsen ble senere direktør for Justervesenet.

I 1858 hadde Christie studert fysikk hos Wilhelm Eduard Weber (1804–91) i Göttingen, og hos Henri Victor Regnault (1810–78) ved Collège de France i Paris. Universitetet hadde forsøkt å finne en mer kvalifisert mann til stillingen etter Langberg og hadde gitt Anders Jonas Ångström (1814–74) i Uppsala et tilbud, men han avslo da han fikk opprykk til professor ved Uppsala Universitet. I 1866 fikk også Christie opprykk til professor, slik de andre lektorene ved Universitetet i Christiania da fikk.

Læreren

Hartvig Christie var en inspirerende foreleser, og hadde opptil 200 tilhørere. Han skrev den første læreboken i fysikk på norsk på universitetsnivå i to bind, og han skrev en lærebok for skolen som ble utgitt i nye opplag flere år etter hans død. Den første læreboken er delt i to deler. Første del er om likevekt og bevegelse, lyd og lys, og andre del er om elektrisitet og magnetisme, og om varme. Til sammen er boken på nesten 700 tette trykte sider. Den andre delen utkom antagelig til høstsemesteret 1864. Av den første delen utkom mekanikk og akustikk ved juletider 1864 og optikk til høstsemesteret 1865. Det er interessant å bla i læreboken hans i dag, særlig om lys i første del og om elektrisitet og varme i andre del. Maxwell publiserte sin bok om elektrisitet og magnetisme først ti år senere, men han hadde publisert sin fordelingsmodell i 1860. Den er det ikke spor av i Christies bok. Christie siterer Daltons atomer, og skriver at de slår seg sammen til *Molecular*. "Atomkræfterne ere de samme som de saakaldte chemiske Kræfter, hvormed vi her Intet have at gjøre," skriver han, så han skilte skarpt mellom kjemi og fysikk. Og han lot atomene ligge i ro.

Andre som arbeidet med fysikk

Flere av professorene i ren og anvendt matematikk ved Universitetet, arbeidet også med oppgaver i fysikk. Den mest fremtredende vitenskapsmannen blant de første professorene var *Christopher Hansteen* (1784–1873) som studerte jordens magnetfelt.

Ole Jacob Broch (1818–89) tok den første doktorgraden på norsk om lysets forplantning i en krysall i 1847. Siden ble han en sentral person innen metrologi, og døde som direktør for Byrået for mål og vekt i Paris.

Carl Anton Bjercknes (1825–1903) studerte kreftene mellom pulserende kuler i vann. Et arbeid som sønnen Vilhelm Koren Bjercknes (1862–1951) fullførte.

Cato Maximillian Guldberg (1836–1902) arbeidet med termodynamikk, og sammen med Peter Waage (1833–1900) formulerte han massevirkningsloven.

Vi må heller ikke glemme Henrik Mohn (1835–1916) som grunnla meteorologien i Norge, og som sammen med Guldberg studerte bevegelser i atmosfæren basert på termodynamikk.

Avslutning

De 60 årene som er omtalt i denne artikkelen var en relativt stille tid for fysikken. To disipliner sto sterkt: mekanikk basert på Newton, og optikk. To menns arbeid pekte imidlertid fremover. Det første var Ørstedes oppdagelse av sammenhengen mellom elektrisitet og magnetisme i 1819. En oppdagelse som særlig Faraday fulgte opp. Det andre var boken til Carnot i 1824, som ga termodynamikken en sped begynnelse. Men det tok tid før man innså at varme ikke var et stoff, og entropi ble først innført av Clausius i 1862.

Fysikk var den gang en akademisk disiplin med få konsekvenser for det praktiske liv. Fysikk og kjemi var to adskilte fag, og utviklingen av kjemien i disse årene var stor og fikk konsekvenser for den industrielle utvikling.

De største bedriftene i datidens Christiania var de to apotekene. Bestyrer av det ene, Peter Møller

(1793–1869), utviklet tran som et kommersielt produkt og etablerte en såpefabrikk på gården Lilleborg ved Akerselven. Fysikken ble først kommersielt interessant da elektrisiteten ble tatt i bruk mot slutten av 1800-tallet, og Kristian Birkeland fikk det andre professoratet i fysikk i 1898.

Litteratur

1. Nesten alle personene som blir nevnt i denne artikkelen finnes det flere opplysninger om i nettutgaven av Store norske leksikon (snl.no).
2. Trygve Holtebekk: *UiO – Epoker i Fysisk institutts historie*. Fra Fysikkens Verden 54, Nr. 1, 4–11 (1992) Denne artikkelen dekker historien frem til 1992. Perioden fra 1814 til -74 kalles etableringsepoken.
3. Beretningen om Universitetets første bicentium 1813–1832. I Norske Universitets og Skoleannaler.
4. Gustav Marthinsen: *Om noen av de første Universitetsslærere i realfag og deres ekstramurale virksomhet*. Rapport 92-27 ISSN-0332-5571. Fysisk institutt (1992). Rapporten er på 357 sider og inneholder en rekke utførlige sitater fra samtidige kilder. Marthinsen belyser dermed sider av Universitetets historie som faghistorikere sjelden nevner. Rapporten er digitalisert og tilgjengelig på Nasjonalbiblioteket.
5. Ernst Bjerke: *Da apoteker Maschmann oppdaget elektromagnetismen*. Upublisert foredrag holdt 11.1.2011 i Nasjonalbiblioteket. Ernst Bjerke arbeider med et doktorgradsprosjekt om dette.

∞

HUSK Å BETALE
KONTINGENTEN!

Fra kjernefysikk i 1950-årene til IT-utvikling i 1970-årene

Rolf Nordhagen *

I denne artikkelen fortelles historien om hvordan kjernefysisk forskning ved Universitetet i Oslo var med på å skape en data-industri som nesten ble en europeisk suksess.

Begynnelsen

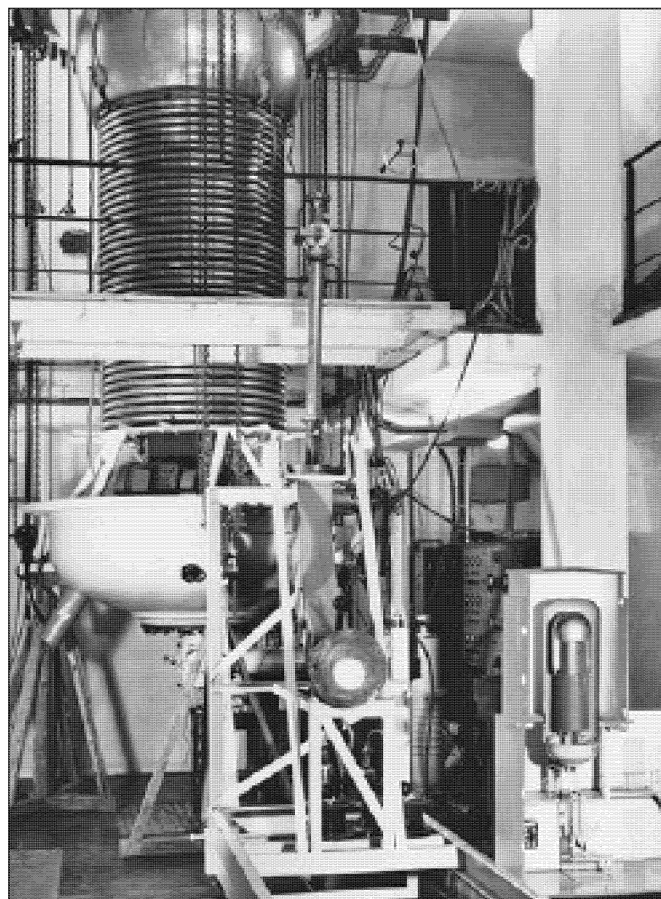
Under gjenreisningen etter krigen fikk Gunnar Randers overtalt Jens Christian Hauge og Finn Lied til å satse på at Norge skulle bli en ledende forskningsnasjon innen atomkraft, basert på rike uranforekomster i Evje i Setesdal. Institutt for Atomenergi ble opprettet, men under store protester fra professorene ved de etablerte forskningsmiljøene som hadde svære behov for midler etter stillstanden under krigen.

Uranet i Evje viste seg etter hvert ikke å kunne brukes. Men hollenderne satt på et parti uran, og et norsk-nederlandsk atomprogram ble fremforhandlet, så Kjeller-reaktoren ble et fellesprosjekt.

Initiativtagerne forsto at skulle et atomenergi-program bli vellykket, trengtes kjernefysikere. Norges Teknisk Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) bevilget nok penger til rimelig avansert utstyr ved universitene, og opprettet stipendiatstillinger. Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo fikk et tilbygg inne i Fysikkbygningen med plass til en tidligere oppbygget liten Van de Graaff-akselerator, og finansiering av en større akselerator, en 3 MeV Van de Graaff, figur 1.

I dette tilbygget ble det også plass til de første gruppene i det som ble SI (Sentralinstitutt for Industriell Forskning), nå SINTEF Oslo. Datamaskinen "Nusse" ble også satt opp her hvor arbeidsmiljø med dagslys var ukjent. Dette skjedde i begynnelsen av 1950-årene.

Forskningen i kjernefysikk ble ledet av professor Roald Tangen, som hadde gjort seg kjent gjennom svært presise målinger i akseleratorlaboratoriet ved



Figur 1. Fysisk institutts 3 MeV Van de Graaff-akselerator under bygging. Kula ble ladet opp til høy spenning ved hjelp av elektrostatiske belter. Partikler fra et plasma av hydrogenioner, protoner, i kula ble aksellerert i vakuum mot mål på et bord ved foten av akseleratoren. Ved å variere energien kunne energinivåer i strålen eksiteres og utløse kjernereaksjoner.

Niels Bohr Instituttet i København. Ved Fysisk institutt var det også bygget opp et etter tiden avansert elektronisk laboratorium ledet av Jakob Sandstad. En viktig oppgave der var bygging av elektronikk for kjernefysikerne.

Målinger i kjernefysikk er helt avhengig av å kunne telle elektriske pulser. Opprinnelig ble dette gjort med geigertellere, små utladningsrør som gav

* EDB-sentret og USIT, Universitetet i Oslo.

fra seg en elektrisk impuls når de ble truffet av ioniserende høyenergetisk gammastråling.

Flere laboratorier for kjernefysikk

Ved utbyggingen av kjernefysikken i årene etter krigen ble det utviklet store laboratorier, særlig i USA og England, med nye og stadig mer funksjonelle tellere hvor pulsene ikke bare indikerte treff av stråling, men også hvor mengden av ladning inneholdt informasjon om energien som ble utløst i telleren. Med utbyggingen av kjernekraft og de mange høyenergilaboratoriene verden over, ble utstyr for kjernefysikk etter hvert et stort marked. De avanserte tellerne kunne derfor fås kjøpt, såvidt overkommelig, med forskningsrådets midler.

Tellernes pulser måtte telles, og måling av intensiteten i strålingen fortalte hva akseleratoreksperimentene viste om de kjernefysiske prosessene som var utløst. Ved elektronikklaboratoriet på Blindern var en av oppgavene å bygge pulstellere som kunne håndtere høye hastigheter. De ble kalt "scalere" fordi tellehastigheten ble skalert ned trinnvis. Det ble brukt en elektronisk pulsteknikk som må ha vært den første bruk av digital elektronikk her i landet. Den var opprinnelig utviklet av engelske radaringeniører.

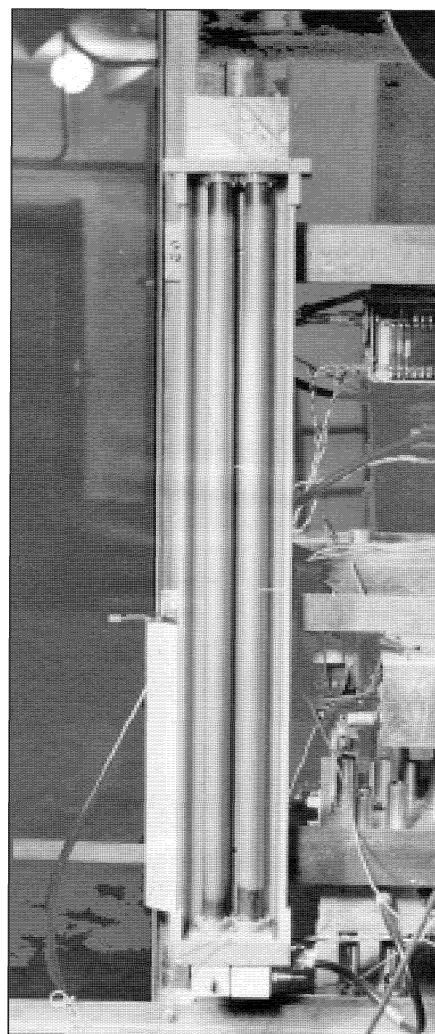
Vi studentene i Oslo, fikk "*Principles of Radar*" som lærebok. Teknikken bruker seriekoblede "flip-flops", "ja-nej"-kretser som flipper når en puls registreres, og flopper tilbake ved neste puls, samtidig som kretsen sender en puls videre, det vil si teller ned med 2. Vi kjenner igjen datamaskinenes registre som håndterer pulser på lignende vis. Flip-floppene heter nå "bits".

Disse første kretsene trengte 2 radiorør for hvert trinn, dvs. at en reduksjon på 128 trenger 8 par rør (8 bits), i datiden et stort antall og desto større krav til størrelse på enheten, strømforsyning osv. (Etter at transistorer og integrerte kretser ble utviklet, har dagens datamaskiner ti-tusener av bits i kretser og minne.) I disse første "scalerne" ble det satt inn en liten lyskilde i hver krets, som lyste opp når kretsen slo over. Siste trinn drev et elektromekanisk telleverk. Multiplisert med "scaling"-faktoren gav telleverket antall pulser utløst av kjernereaksjonen. Intens lysaktivitet i lampene og bråk fra telleverket, viste at man hadde funnet et reaksjonsnivå.

Adskillig vanskeligere ble det når pulsenes størrelse, ofte benevnt med "høyde", også skulle måles. Dette angav energien som strålingen etterlot i telleren. Mye smart elektronikk ble prøvet, og ble

mest vellykket med kretser som slo over når pulsene overskred et avsatt nivå, en diskriminator. Ved å la reaksjonen gå og flytte diskrimineringsnivået, kunne en måle ut pulsspektret, en trinnvis og meget tidkrevende prosess. Tidlig drømte kjernefysikerne om å kunne gjøre flerkanalsmålninger med måleutstyr som sorterte pulsene etter høyde. En kjent engelsk fysiker greide å få pulsene til å skyte ut stålkuler mot et brett med oppsamlingskanaler, som dermed viste frem spektret, – en for øvrig meget langsom prosess med lav oppløsning.

Jeg fikk ta hovedfag hos kjernefysikerne med en elektronisk oppgave, heldigvis i nært samarbeid med Sandstad. Vi fant en engelsk beskrivelse av en pulshøydeanalysator, fra Universitetet i Cambridge (Hutchinson og Scarrot), basert på bruk av et digitalt minne som så vanskelig ut, men var fristende å forsøke istedenfor konvensjonelle løsninger, se figur 2.



Figur 2. Pulsminnet ved Van de Graaff-akseleratoren var en dobbelt kvikksølv søyle med reflektor for ultralyd. Lyden ble generert og mottatt av kvartskrystaller i søylens fot. Søylens lengde var 1,8 m, og forsinkelsen var 1240 μ s.

Hemmeligheten bak slikt utstyr er minnet. I dagens datamaskiner tar vi det som en selvfølge at vi med stor hastighet kan lese inn og ut av et permanent minne. I den tidlige datautviklingen strevet man med å finne et egnet minne for hurtig inn/utlesning.

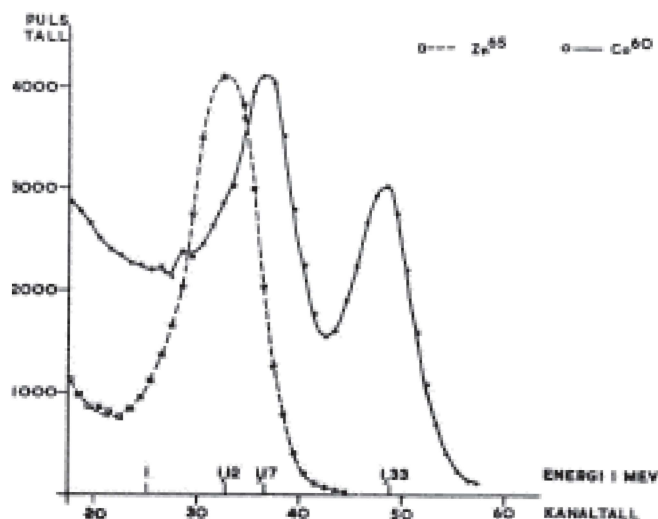
Magnetiske trommer var populære. De var store og tunge med langsomme lesehoder og var lite egnet i et laboratorieinstrument. Den valgte løsningen hadde en ultralyddrevet kvikksølv søyle. Den kunne lagre 1200 pulser som gjennom sinnrike elektroniske kretser kunne deles opp i kanaler. En puls som kom inn ble målt mot en nøyaktig tidsbestemt stigende spenning, og dette bestemte i hvilken kanal pulsen ble registrert i. Samtidig ble pulsene i minnet presentert på skjermen av et katodestrålerør oppdelt etter kanaler. Mens målingen foregikk kunne en se spektret bygge seg opp, noe ingen hadde sett før. Dette var trolig Norges første "display". Etter mye plunder fikk vi analysatoren i gang og i vellykket bruk til analyse av gammaspektre fra akseleratorbestrålte kjernereaksjoner. Dette var vår introduksjon til digital håndtering av pulsinformasjoner fra kjernereaksjoner, se figur 3 og 4.



Figur 3. Spektret av nukliden Zn65 med en karakteristisk gammastråling av energi 1,12 MeV. Horisontalaksen er delt i kanaler som gir pulshøyden, dvs. strålingens energi. Antall registrerte pulser i hver kanal angis som binære tall, og pulstallaksen blir logaritmisk i 2^n . Den typiske toppen i spektret er uttegnet i lineær skala i figur 4.

Med basis i dette arbeidet fikk jeg stipend for å videreutdanne meg innen høyenergi-kjernefysikk og arbeide mot en doktorgrad ved Syklotronlaboratoriet ved Universitetet i Liverpool, som den gang var et av de større akseleratorlaboratoriene i Europa.

Niels Bohr Institutet fikk europeiske midler til å finansiere unge forskere som forberedelse til å bygge



Figur 4. Spektra av de radioaktive nuklidene Zn65 og Co60, uttegnet i lineær målestokk. Disse nuklidene har meget karakteristiske gammaspektra som ble brukt til energikalibrering.

opp CERN, det europeiske høyenergilaboratoriet i Genève. Der var jeg i to år, men vendte i 1958 hjem for å bidra til det hjemlige miljøet. Johan Baarli, som da ledet programarbeidet i NTNF, skaffet meg en stipendiatstilling ved Fysisk institutt, hvor jeg vendte tilbake for å arbeide med elektroniske målinger ved Van de Graaff-laboratoriet.

Tidlig bruk av datamaskiner

Med måleutstyr innkjøpt fra instrumentmakerne ved kjernefysikklaboratoriet ved Universitetet i Utrecht, tok vi de første vinkelfordelingsmålingene av gammastrålingen fra kjernenivåer i silisiumisotopen Si28. Strålingen fra reaksjoner fra protonbestråling har retningsinformasjon fra strålen. I de nivåene vi undersøkte var strålingen så tydelig asymmetrisk at den burde være lett å analysere. Få hadde sett en så utpreget fordeling. Til dette brukte vi tabeller utregnet for mulige kjerneparametre. Vi måtte begrense søket med antagelser om mulige verdier på parametrene. Til tross for måneders strev fant vi ikke kjerneparametrene.

Vi samarbeidet med kolleger i Utrecht, hvor Phil Smith hadde lyktes i å programmere det fulle analyseprogrammet på en tidlig, hjemmelaget datamaskin hos Utrechts matematikere. Den var plassert i stuen i et privathus som universitetet eide. Inn- og utlesning var via hullbånd i teleprinter-koden Beudot. Minnet var et spesielt katoderør som satte, og holdt på, ladninger på en skjerm i røret. Styringen var med en ringeskive til en telefon. Vi fikk natten på oss og fant løsningen med et helt

annet sett av parametre enn de vi hadde prøvd tidligere. Settet var så spesielt at Utrechts professor Endt ikke trodde helt på resultatet. Dette var i 1959. Først etter flere målinger noen år senere, fant vi løsningen.

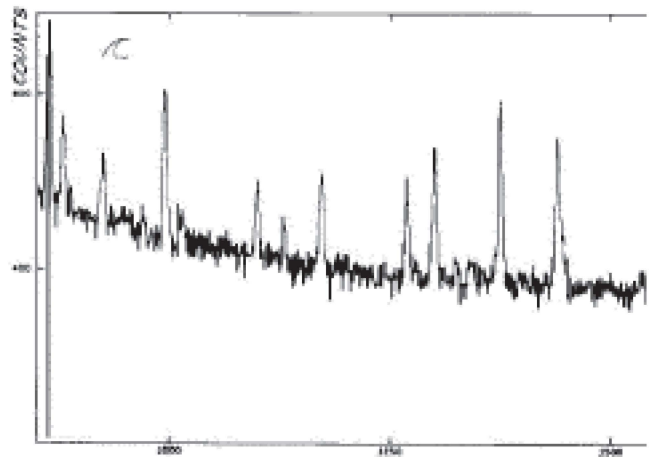
Nye målinger vi foretok noen år senere på denne strålingen fra andre kjernereaksjoner, viste at våre modeller for reaksjonene ble vesentlig ulike de vi tidligere hadde antatt. Uten støtte fra dataanalysen ville vi ha famlet i blinde. I mellomtiden hadde jeg laget det samme analyseprogrammet på hullkort for en IBM 1620-maskin som Universitetet installerte i 1962. Dette var mine første møter med den utrolige verdien å kunne bruke datamaskiner. Min verden snudde!

Neste trinn ved Fysisk institutt, var innkjøp at en kommersiell pulshøydeanalysator med flere kanaler og større driftsikkerhet, men fremdeles meget enkel. Vi fikk vite at *"This instrument is the simplest computer ever, it can only add one"*. Denne, og den lille Van de Graaff-akseleratoren, havnet på Norsk teknisk museum.

De første ordinære datamaskinene

Da de første ordinære datamaskinene kom til Universitetet i Oslo tidlig i 1960-årene, kunne vi gå videre og analysere målingene på helt nye og mer detaljerte måter. Da skjedde det også en fullstendig fornying av tellerteknologien. Halvlederteknologi gav tellere basert på materialene til transistorer, germanium og silisium. Tettheten var så stor at antall ioner registrert for hvert stråletreff ble høy, og dermed ble energispredningen av hver enkelt spektrallinje liten og oppløsningen høy. For full utnyttning av disse tellerne trengtes tusen kanaler eller mer, noe bare hurtige datamaskiner kunne håndtere, se figur 5.

Hos kolleger i utlandet begynte noen få laboratorier å koble måleutstyret direkte til de første små datamaskinene som kom på markedet, særlig minimaskinene fra firmaet DIGITAL. Vi var nå velkjent med denne teknologien, så da Forskningsrådet åpnet muligheter gjennom de første oljegavene ("draumkvedet") søkte vi om større og tyngre utstyr. Tilsynelatende hadde vårt akseleratorlaboratorium tilstrekkelig omdømme til at vi kom med på bevilgningene. Etter noe tvil tok vi sjansen og kjøpte en DIGITAL PDP-7 med utstyr, som ble levert i 1966. Dette var en av de første minimaskinene som ble levert i Norge; og vi måtte passe på ikke å bruke ordet datamaskin, men kalle den "digital



Figur 5. Mangekanalsspektrum fra en høyoppløsnings germaniumteller. Horisontalaksen angir kanalnummeret (på figuren over 1500) som mål for pulshøyden, som etter kalibrering viser strålingens energier med stor nøyaktighet. Dette er et spektrum av den svake bakgrunnstrålingen fra thorium- og uran-mineraler i støpesanden i Fysikkbygningen.

prosessor", for ikke å havne i klørne på byråkratene som forsøkte å styre anskaffelser av datamaskiner.

PDP-7 var en interessant maskin. Den lærte oss å bruke avbrudd (interrupt). Når den registrerte en innkommende puls, hoppet den midlertidig ut av standardprogrammet som viste innholdet i minnet, og registrerte raskt pulshøyden før den gikk tilbake. Dette gikk fort nok til at høye hastigheter kunne håndteres. En liten dataskjerm viste innholdet som et spektrum. Videre hadde den direkte lesbare magnetbånd og kunne bytte program i minnet uten tidkrevende søking. Vi kunne legge inn flere funksjoner enn ren datainnsamling, og som vanlig gav leverandøren adgang til annen programvare utviklet for maskinen.

Som en kuriositet kan nevnes at til PDP-7 fikk vi også enkle dataspill som utnyttet dataskjermen som en variant av "Spacewar", et tidlig kjent spill fra MIT. Vi laget også noen spill selv. Barn på besøk var trolig de første i landet som fikk spille disse, i 1966.

Det ble bygget opp et "on-line" datamiljø rundt PDP-7, sammen med Finn Ingebretsen og Bernhard Skaali, og vi fikk mulighet til ytterligere utvidelser omkring 1970, se figur 6. Firmaet Norsk Dataelektronikk, senere Norsk Data (ND), var da kommet på banen. Vi utvidet med en Nord-1-maskin som vi brukte til videre analyse av dataene samlet inn på PDP-7, og koblet maskinene sammen. Denne Nord-maskinen ble dessuten brukt i undervisning i kybernetikk ved instituttet. (Norsk Data hadde for

øvrig noen få salg til kjernefysikk og -kjemi, og fikk bruke vår programvare.)

Etter hvert var altså våre første famlende forsøk med digital teknikk i kjernefysisk måleutstyr blitt en viktig del av måleteknikken. De store nasjonale og internasjonale laboratoriene koblet flere og flere maskiner sammen i eksperimentene. Det store europeiske felleslaboratoriet, CERN, hadde rom fulle av DIGITAL-maskiner. En av våre forskere, Bernhard Skaali, programmerte maskinen ved Niels Bohr Instituttets akseleratorlaboratorium.

En viktig viderutvikling var standardisering av avanserte tilkoblingsenheter mot utstyret, såkalte "bus"-systemer. Vårt eget, enkle vises til høyre i figur 6. CERN utviklet et vesentlig mer avansert system, CAMAC, som var meget fleksibelt for tilkobling av standardiserte måleenheter, og agiterte for det som en standard. Vi satte hovedfagsstudentene på å utvikle CAMAC for vår Nord-maskin.



Figur 6. Finn Ingebretsen opererer PDP-7-installasjonen. Tilkoblingsenheterne er til høyre, og høyoppløsnings-pulsmåleren er øverst. Hyllene til høyre viser også vårt eget, enkle bus-system som i større målestokk ble erstattet av CAMAC-systemet.

Maskinparken ved CERN

I CERN skulle de fornye maskinparken rundt høyenergiakseleratorene og sendte ut en anbudsinnbydelse. Hos Norsk Data, som stadig strevet med å komme skikkelig i gang, fikk teknisk direktør Tore Alfheim tak i anbudsinnbydelsen, leste om et krav om tilkobling til CAMAC, og ringte om vi kunne hjelpe. Vår hovedfagstudent, Per Jørg Johnsen, ble utlånt, og sammen med Norsk Datas folk utviklet han det nødvendige utstyret. Norsk Data fikk kontrakten og ble et millionfirma til de rottet seg bort i 1988 ved å tviholde på sin egen teknologi og ikke gå over til åpne systemer. Verden gikk over til UNIX operativsystem som åpnet for bruk av standard programvare.

Hva ble lærdommen?

Kjernefysikkprosjektene ble startet som ren programforskning, men med full frihet innen feltet. Vi hadde bakgrunn fra vel ansette kjernefysiske eksperimenter som gav oss viktige internasjonale kontakter, og vi var rimelig gode i våre spesialiteter. Forutsetningene for å kunne bidra med kommersielt nyttig forskning er kvalitet og kontakt med forskningsfronten.

En interessant detalj er at mens vi utviklet vårt datamiljø inndro Forskningsrådet den stipendiatstillingen jeg hadde. Heldigvis hadde Instituttet fått opprettet en laboratorieingeniørstilling på grunn av den økte aktiviteten. Denne ble redningen da en av kandidatene gikk over til IBM. Tydeligvis var Forskningsrådet ikke klar over potensialet vårt.

Et krav for å dra nytte av forskningen er altså relevante industripartnere. Vi var en hårsbredd fra å foretrekke sikkert og konvensjonelt utstyr. Ingen kunne forutse at satsingen på utdannelse av kjernefysikere ved Fysisk institutt i Oslo, skulle føre til at et norsk datafirma fikk sin største internasjonale kontrakt drøye 20 år senere.

∞

Studér
fysikk!

Radon og lungekreft

Thormod Henriksen *

Radon er en radioaktiv gass som har vært i søkelyset som årsak til kreft i mange år. Det hevdes fra strålevernmyndigheter at den er årsak til omkring 300 lungekreftdødsfall per år i Norge, og et nytt regelverk er innført for å redusere dette tallet.

Vi har fire naturlige radioaktive serier, eller familier. To av disse er nærmest utdødd, og det er bare de to lengstlevende seriene vi skal omtale her. Det er uran-radiumserien med U-238 som utgangspunkt (halveringstid $4,5 \cdot 10^9$ år), og thorium-serien med Th-232 som utgangspunkt (halveringstid $1,4 \cdot 10^{10}$ år). De henfaller gjennom mange ledd til stabile blyisotoper. På veien mot en stabil tilstand går de gjennom de to radiumisotopene Ra-226 og Ra-224. Når disse henfaller ved å sende ut α -partikler, dannes radon med isotopene Rn-222 i uranserien og Rn-220 i thoriumserien.

Radon er en edelgass og reagerer ikke kjemisk med andre atomer eller molekyler. Den har derfor en mulighet til å frigjøres fra det sted den dannes slik at radonatomene kan slippe ut i luften og inn i boliger.

Begge radonisotopene har korte halveringstider, og når de henfaller går de over i positive metallioner som vi kaller *radondøtre*. Disse ionene trekker til seg vannmolekyler og andre molekyler i luften, og får raskt en diameter på omkring 5 nm. I denne formen regnes radondøtrene for *frie*. De fleste av døtrene bindes til større aerosolpartikler (200–500 nm i diameter) i luften. Både frie og bundne døtre avsettes på vegger, tak og gulv inne, og på vegetasjon, hus og på bakken ute. Det er derfor aldri likevekt mellom radon og radondøtre i luften. Likevektsforholdet varierer mellom 0,4 inne og ca. 0,8 ute.

Radonfamiliene

Tabell 1 og 2 gir en oversikt over de to radonfamiliene og deres strålefysiske egenskaper. Denne

strålingen omfatter både α - og β -partikler samt γ -stråling.

Tabellene angir henfallstype, α - eller β -henfall, og energien til disse partiklene. α -partiklene har en bestemt energi, mens β -partiklene har et spektrum av energier der middelverdien er ca. 1/3 av den maksimalenergi som er gitt i tabellen. Vi vet at for mange henfall følger det med γ -stråling. Den viktigste av denne strålingen er gitt i tabellene.

Tabell 1: Radonfamilien

Isotop	Henfall	Halvtid	Energi (MeV)
Rn-222	α	3,82 dager	α (5,49)
Po-218	α	3,05 min	α (6,0)
Pb-214	β	26,8 min	β (0,59 og 0,65) γ (0,053 og 0,35)
Bi-214	β	19,6 min	β (1,51; 1,0; 3,18) γ (0,61 og 2,42)
Po-214	α	0,164 ms	α (7,69)
Pb-210	β	22,3 år	β (0,014; 0,061)
Bi-210	β	5,01 dager	β (1,16)
Po-210	α	138,4 dager	α (5,3)
Pb-206	Stabil	Stabil	

Tabell 2: Thoronfamilien

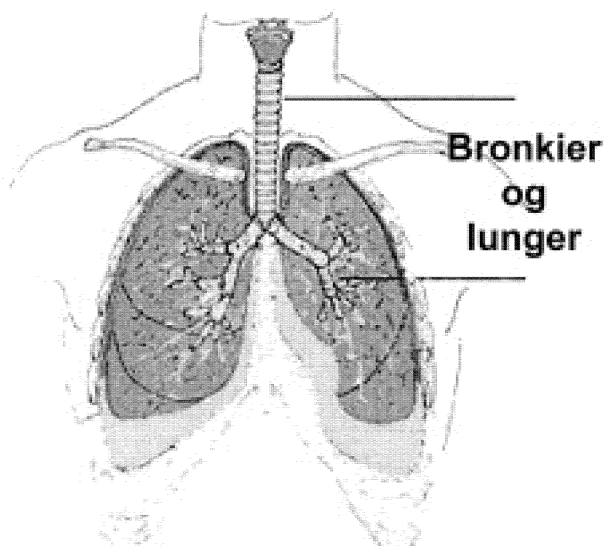
Isotop	Henfall	Halvtid	Energi (MeV)
Rn-220	α	55,6 s	α (6,28)
Po-216	α	0,156 s	α (6,78)
Pb-212	β	10,6 timer	β (0,34; 0,58) γ (0,239)
Bi-212	α (36 %) β (64 %)	60,6 min	α (6,05) β (2,25) γ (0,04)
Po-212	α	$3 \cdot 10^{-7}$ s	α (8,78)
Po-208	Stabil	Stabil	

Når Po-214 desintegrerer dannes Pb-210. Så følger Bi-210 og Po-210 før det ender med den stabile blyisotopen Pb-206. På grunn av den lange halveringstiden til Po-210 (22,3 år), regnes ikke de siste isotopene i uranserien med til radonfamilien. Men hvis radondøtrene fester seg til bronkier

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

og lunger, se figur 1, vil også disse isotopene avgi stråling til omgivelsene.

Disse isotopene kan også komme inn i kroppen gjennom mat (grønnsaker, etc.). Røykere får også



Figur 1. En tegning av bronkier og lunger. Siden α -partiklene har en rekkevidde på noen mikrometer i vev (50–100 μm , som tilsvarer noen få cellelag), vil dosen være svært lokal. Det samme gjelder for β -partiklene, mens γ -strålingen vil treffe et større område og vil også kunne komme ut av kroppen. Støv med radondøtre vil gjerne stoppes i forgreningen av bronkiene. Kritiske celler i dette området ligger 15–30 μm dypt og vil nåes av α -partiklene.

disse isotopene inn i bronkier og lunger med røyken. Grunnen er at støvpartikler med radondøtre i luften utendørs avsettes på alle planter, og ikke minst på tobakksplanter. Derfor er de til stede i tobakksrøyk.

Halveringstiden for Rn-222 er 3,82 dager, mens den for Rn-220 (tidligere kalt thoron) er 55,6 sekunder. Det betyr at Rn-220 har kort tid å gjøre det på hvis den skal frigjøres fra det sted der den dannes og slippe ut i luften. Følgelig vil thoronserien spille en mindre rolle i dosesammenheng.

Vi har tre forskjellige fagområder vi må diskutere når det gjelder radon og lungekreft:

1. Måling av radon og radondøtre i luft.
2. Doser til lungene. (Her kommer vi til kort, men vi vil gi en oversikt.)
3. Sammenhengen mellom radon og lungekreft. (Siden doser ikke kan bestemmes, har alle epidemiologiske studier brukt radonmengde, målt i Bqm^{-3} , som et mål for dose.)

Radonmålinger

I Norge startet Anders Storruste (figur 2) med radonmålinger allerede på 1950-tallet og veiledet en rekke hovedfagstudenter som målte radon. I de første målingene brukte de ionisasjonskamre. De fant en døgnvariasjon, og at det gjerne var 3–5 ganger høyere radonnivå innendørs enn ute.



Figur 2. Anders Storruste (1917–2001) har preget en hel generasjon av strålingsfysikere i Norge. Han er den viktigste enkeltforsker når det gjelder å fastlegge bakgrunnstrålingen, inkludert radon, i Norge. Han målte også det radioaktive nedfallet i Oslo etter atombombeprovene over Novaja Semlja i 1961 og 1962.

Storruste utviklet måleutstyr for å kartlegge radon i boliger basert på en enkel kullboks-metode. Han brukte en boks med kullpulver og to krystaller for dosemålinger med termoluminescensdosimetri, TLD. En krystall ble plassert i kullpulver i midten av boksen og en ble plassert fritt utenfor. Radondøtre festet til støvpartikler "trappes" i kullpulveret og gir krystallen i boksen en ekstra dose. Krystallen utenfor boksen detekterer bakgrunnstrålingen. Forskjellen i dose gir et mål for radonkonsentrasjonen i luften. Storruste og hans studenter foretok de første landsdekkende målinger

av radon i Norge med denne metoden.

En ny og populær metode er sporfilmmetoden. Den er basert på at α -partikler lager et spor i en rekke stoffer som polymerer, mineraler og glass. Sporene gjøres synlig ved etsing og undersøkes mikroskopisk. Det er denne metoden som brukes i dag til å måle radonmengde og bestemme forholdet mellom radon og radondøtrene i luften.

Hovedkilden for radon i hus er byggegrunnen som alltid inneholder noe radium, og radongassen kan trenge inn i huset. Bygningsmaterialene er også en radonkilde. En annen kilde er vannforsyningen. Vann fra kilder i områder med radiumrik granitt kan ha store radonkonsentrasjoner, og radon frigjøres lett når en åpner springen. Vann fra borede brønner er den største kilden til radon i Finland. Radonkonsentrasjonen i boliger viser en årlig variasjon med de høyeste verdier om vinteren. Det skyldes at når det er tele i bakken vil radongassen lettere ta veien inn i husene.

Radon utendørs

Radon kommer inn i atmosfæren ved diffusjon. Mengden vil variere med vind og lufttrykk. Siden konsentrasjonen av radium og radon i bakken varierer betydelig, vil radonmengden i luft variere fra sted til sted. Ifølge UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) er fluksen av Rn-222 ca. $0,02\text{--}0,03 \text{ Bqm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Utendørsmålinger viser en konsentrasjon av Rn-220 og Rn-222 på ca. 10 Bq m^{-3} for hver av isotopene. Variasjonen i konsentrasjon av Rn-222 er fra ca. 1 til 100 Bqm^{-3} . Statens strålevern har gjort målinger (2006) som viser radonkonsentrasjoner i luft i 1 meters høyde på opptil 287 Bqm^{-3} i Kinsarvik. De fant et årsmiddel på 114 Bqm^{-3} , som er langt høyere enn ellers i landet.

Radon i hus

Ifølge UNSCEAR⁽¹⁾ er radonmengden i boliger $10\text{--}100 \text{ Bqm}^{-3}$. Verdensmiddelet av er satt til 46 Bqm^{-3} . Finland og Sverige topper listen med middelverdier på 120 og 108 Bqm^{-3} , mens Australia ligger i den nedre enden med 11 Bqm^{-3} .

Middelverdien av radon i boliger i Norge har endret seg etter hvert som flere og nyere målinger er gjort. I 1988 ble middelverdien oppgitt til 56 Bqm^{-3} basert på 7500 målinger. I UNSCEAR-rapporten fra år 2000 er den 73 Bqm^{-3} . Strålevernet oppgav verdien 89 Bqm^{-3} i 2006. Det er et møysommelig arbeid å fastlegge en middelverdi for en bolig siden

radonmengden varierer med årstid, etasje og fra rom til rom.

Radondoser

Så lenge radon og radondøtrene befinner seg utenfor kroppen vil bare γ -strålingen kunne gi et lite dosebidrag. Den representerer en liten del av det vi kaller "ekstern γ -stråling".

Radon og radondøtre finnes i luften vi puster i. Det betyr at det er bronkier og lunger som utsettes for stråling (se figur 1). Likevekten mellom radon og døtre i luften inne er gjerne ca. 0,5.

Radon som vi puster inn kan henfalle mens den er i lungene, men vil for det meste følge med luften ut igjen. Dosebidraget fra radon selv er ytterst beskjedent ($0,1\text{--}0,2 \text{ Bq}$ for lungene). Derimot vil radondøtrene, både de frie og de som er festet til støv, kunne bli igjen i bronkier og lunger. Når de henfaller sender de ut stråling slik tabell 1 og 2 viser. Det største bidraget kommer fra α -partiklene, men både β -partiklene og γ -strålingen bidrar.

For å beregne en stråledose må vi vite hvor stor del av radondøtrene som fester seg til bronkier og lunger, og hvor stor brøkdel som følger med luften ut igjen. Dette er et uløselig problem av følgende grunner.

Bronkiene er kledd med en slimhinne som er forsynt med flimmerhår (cilier) som beveger seg rytmisk. Slimlag og cilier danner et forsvarssystem mot forurensning som ellers ville havnet i lungene. Ved røyking lammes flimmerhårene og kan bli helt borte. Følgelig vil mengden av radondøtre som fester seg bli større og større hos røykere med tiden. Radondøtrene vil også trenge dypere ned i lungene. Det betyr at røykere og ikke-røykere som bor i samme radonnivå, vil få ulike stråledoser. Vi kan ikke beregne dette og fastslå hvor mye større dosene blir hos røykere.

Alfapartiklene fra radondøtrene har en startenergi på $5,5\text{--}8 \text{ MeV}$. Det betyr at bare $5\text{--}10$ cellelag fra overflaten blir bestrålt. De samme cellene bestråles også av β -partiklene, mens γ -strålingen har langt større rekkevidde.

Det er brukt modeller i forsøk på å beregne radondoser. Slike modeller baseres på gjennomsnittspersoner hvor en i én av modellene antar at menn puster inn $22,4 \text{ m}^3$ luft per dag og kvinner $17,7 \text{ m}^3$. Videre brukes en likevektsfaktor for inneluften på 0,5, og en antar at oppholdstiden i hjemmet (med konstant radonnivå) er 19 timer. En slik modell gjelder bare for noen få, siden de fleste

tilbringer mer enn 5 timer på arbeid og fritid med et annet radonnivå. Videre tar de fleste modellene bare hensyn til α -partiklene. Verdien for α -dosen får en da i enheten gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule/kg}$$

Dosebidraget fra β -partikler og γ -stråling er antatt å være 10–20 %.

Stråledose og risiko

Strålevernet, både i Norge og andre land, vurderer risiko for stråleindusert kreft på grunnlag av effektive doser gitt i enheten sievert (Sv). Det betyr at vi må omgjøre lungedosen i gray til en helkroppsdose i sievert.

For biologiske effekter av stråling har det vist seg at fordelingen av avsatt energi er viktig. Innen strålingsbiologien sier en at effekten er avhengig av "linear energy transfer" (LET) som er et mål på hvor tett ionisasjonene forekommer. Det betyr at selv om dosen er den samme målt i gray, kan den biologiske virkningen være forskjellig, avhengig av hvor tett ioniseringen er. Dette er årsaken til at en i 1979 innførte doseenheten sievert (Sv). Navnet er gitt for å hedre den svenske strålingsfysikeren Rolf M. Sievert. Sammenhengen er:

$$Sv = w_R \cdot Gy$$

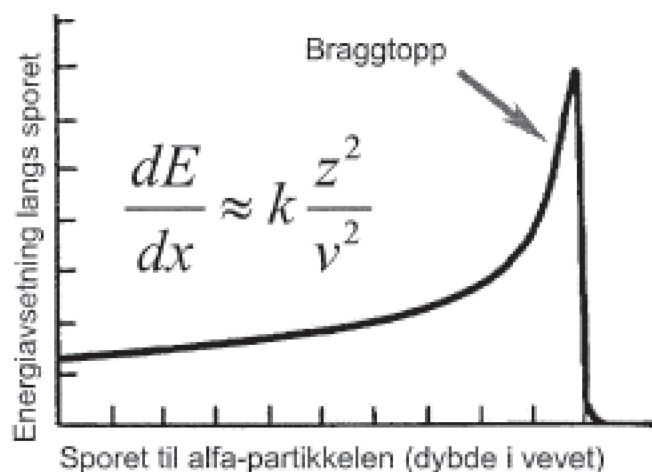
der w_R er en strålingsfaktor som varierer med tettheten av ionisasjoner. I prinsippet kan w_R bestemmes ved eksperimenter, men det er uhyre vanskelig.

Alfa-partiklene avsetter energien sin langs et spor (og kan detekteres med sporfilm) som vist i figur 3. Vi ser at energitettheten øker langs sporet og når sin maksimalverdi i "braggtoppen". Rent prinsipielt øker derfor w_R langs sporet og er ikke konstant.

Alle verdier relateres til røntgenstråling, β -partikler og γ -stråling, der ionisasjonene er ganske jevnt fordelt, og w_R settes lik 1. Den verdi strålevernmyndighetene bruker er foreslått av ICRP (*International Committee on Radiation Protection*). Alfa-partikler gis en verdi på 20. Vi kan nevne at w_R -verdien på 20 ikke er eksperimentelt bestemt, og at eksperimenter de senere år tyder på at w_R -verdier for α -partikler er i området 5–10.

Når det gjelder radon bestråles bare bronkier og lunger, mens risikoanalysene gjelder helkroppsdoser. De ulike organer og vev har forskjellig sensi-

tivitet når det gjelder seneffekter som kreft. En tar hensyn til dette ved å introdusere en såkalt *effektiv dose*. Den er definert som en dose gitt til hele kroppen som gir den samme risiko for kreft som en langt større dose gitt til ett bestemt organ. Igjen er det ICRP som gir retningslinjer for de verdier en bruker. For eksempel teller lunger 12 %, noe som innebærer at en dose til lungene gir samme risiko som en 8 ganger mindre dose gitt til hele kroppen.



Figur 3. Energivasetningen til en α -partikkel, eller en annen ladd kjernepartikkel, beskrives ved Bethe-Bloch-ligningen, som i enkel form er gitt på figuren. Her er z partikkelens ladning, og v er partikkelhastighet. Mot slutten av sporet øker energivasetningen ($v \rightarrow 0$) og gir det en kaller en braggtopp.

Oppsummering

Vi har forsøkt å vise hvor komplisert det er å komme frem til en doseverdi i enheten sievert (Sv) som kan brukes i risikoberegninger for lungekreft. De fleste størrelser som inngår i en dosebestemmelse er ukjente av følgende grunner:

1. Vi har ingen kontroll over lungenes rense-system, flimmerhårene. De brytes ned, og røyking er en viktig faktor.
2. Overgangen mellom Gy og Sv er ikke fastlagt for strålingen fra radondøtrene (stort sett α -partikler, men med bidrag fra β - og γ -stråling).

I epidemiologiske studier der en ser på forholdet mellom radon og lungekreft, brukes ikke stråledose på tradisjonell måte. I stedet brukes radoninnholdet i boligen eller på arbeidsplassen som et slags dose-mål. Vi eksponeres for radon fra vugge til grav og bygger langsomt opp en stråledose. En antar

videre at stråledosen øker lineært med radonmengden vi utsettes for.

Radon og lungekreft

Helt fra 1500-tallet har en kjent til en lungesykdom i visse gruveområder i Tyskland og Tsjekkia, f.eks. i Joachimsthal og Schneeberg, der gruvearbeidere fikk en sykdom de kalte "Bergkrankheit". Mellom 1876 og 1938 døde 60 til 80 % av gruvearbeiderne av denne sykdommen som i snitt hadde en varighet på 25 år. Enkelte områder av gruvene ble kalt "death pits," hvor alle arbeiderne etter hvert ble syke. Bergkrankheit var trolig oftest lungekreft.

Det var i første rekke sølv de fant i gruvene. Men disse gruvene inneholdt også "pitchblende", og dermed uran som lenge ble betraktet som verdiløst. Fra uran er veien frem til radon klargjort, og gruvene var fulle av radon og radondøtre som arbeiderne pustet inn.

En gruve i drift inneholder en rekke kreftfremkallende stoffer som arsenforbindelser, diselektosos og silisiumstøv som gir silikose. Dette kommer i tillegg til radon og dens datterprodukter. Videre røkete de fleste gruvearbeidere. Det betyr at radon neppe var noen hovedårsak til lungekreften.

Radonkonsentrasjonene i gruvene i gamle dager er ukjente, men de var trolig store. Vi nevner noen målinger fra 1924 da de fant verdier opptil 18 000 pCi pr. liter, som tilsvarer 666 000 Bq m⁻³.

Radoneksposering og dose

For gruvearbeiderne ble eksponeringsdoser og akkumulerte lungedoser beregnet på følgende måte.

Enheten for eksponering ble kalt *Working Level* (WL). Den er definert som den mengde av radon med døtre i 1 liter luft som kan gi en total α -partikkelenergi på $1,3 \cdot 10^5$ MeV. Det tilsvarer 100 pCi pr. liter når alle datterproduktene er i luften (likevektsfaktor 1,0). Siden døtrene fester seg til veggene, er gjerne likevektsfaktoren ca. 0,5. Tar vi hensyn til dette, tilsvarer 1 WL 200 pCi pr. liter, eller 7400 Bq m⁻³.

Når det gjelder dose, brukte en begrepet WLM (*Working Level Month*). Det betyr at en arbeider med en eksponering på 1 WL i en måned (170 timer). WLM er eksponering, ikke dose. Mange har ved hjelp av dosemodeller forsøkt å omgjøre WLM til ekvivalentdose. Verdier i området 4–14 mSv er nevnt.

Gruvearbeidere og lungekreft

Det er gjennomført en rekke retrospektive studier av gruvearbeidere. Dose, som er det springende punkt, er forsøkt gitt i WLM. Resultatene sier følgende:

1. Arbeid i gruver med høye radonverdier kan gi lungekreft.
2. Risikoen øker med WLM opp til de høyeste eksponeringer. Det er mulig å tilordne en rett linje mellom dose i WLM og økt risiko.
3. Hvis en ekstrapolerer de rette linjene til null økt risiko, skjærer de doseaksen ved WLM-verdier i området 300–700 WLM. Det betyr terskelverdier på 300–700 WLM.

Det skilles ikke mellom røykere og ikke-røykere, og usikkerheten er stor.

Radon i boliger og lungekreft

Når det gjelder radon i boliger er eksponeringen på et langt lavere nivå enn for gruvearbeiderne. Hvis vi lever med en konstant radoneksponering på 100 Bq m⁻³, vil den samlede årseksponering (likevektsfaktor på 0,5) være i området 0,4–0,7 WLM. Den akkumulerte livstidsdose er omkring 20 WLM, som er en faktor 20–30 lavere enn terskelverdien for gruvearbeiderne.

Det har vært gjennomført en lang rekke epidemiologiske studier av radon i boliger og lungekreft. I alle disse studiene er stråledose erstattet med radoneksponering. Vi kan dele studiene inn i såkalte *case-control*-studier og *økologiske* studier. I en *case-control*-studie vurderes de som har fått lungekreft opp mot en kontrollgruppe (så lik som mulig) som ikke har lungekreft. I en økologisk studie sammenligner en kreftforekomst for et område med det midlere radonnivå i det samme området. Resultatene av disse studiene kan deles i to.

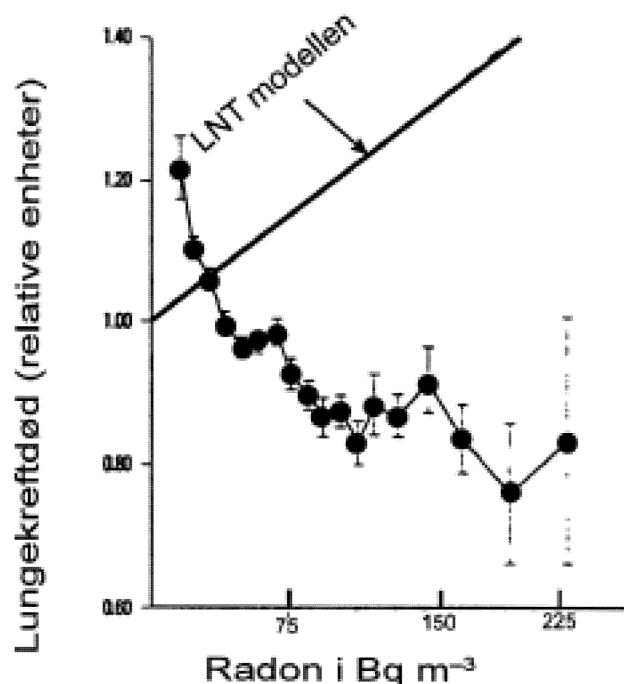
1. Noen forskergrupper går ut fra at resultatene skal tilpasses LNT (*Linear No Threshold*). Denne modellen som ICRP har brukt fra 1959, diskuterte vi i forrige nummer av FFV.⁽²⁾ Studier av S. Darbu og medarbeidere for Europa, og av D. Krewski og medarbeidere for USA,^(3,4) er i tråd med LNT. Darbus studie omfatter mer enn 7000 lungekrefttilfeller. De fant en ubetydelig øking i risiko hos ikke-røykere, mens de for røykere fant en signifikant øking.

2. Forskere som ikke antar noen LNT-kurve finner at resultatene kan tilpasses andre kurver, slik det er vist i figur 4.^(5,6)

I en *case-control*-studie fant Thompson⁽⁵⁾ en U-formet kurve, lik den i figur 4. Det ser ut til å være gunstig med et radonnivå opp til ca. 270 Bqm⁻³.

Vi skal også presentere noen resultater fra USA som er gjennomført av Bernhard L. Cohen i perioden 1995 til 2000.⁽⁶⁾ Dette er ingen *case-control*-studie, men en økologisk studie som alene omfatter flere personer enn alle andre studier til sammen. Cohens data omfatter omkring 90 % av befolkningen i USA, og er basert på ca. 330 000 radonmålinger. De delte landet inn i 1729 områder og bestemte det midlere radonnivået i boligene i hvert område. Så sammenlignet de forekomsten av lungekreft med middelerdien av radonnivået i boligene. Hovedresultatet av dette er vist i figur 4.

Resultatene viser at LNT-modellen er ubruktbar. Det ser ut til at litt stråling er gunstig, og Cohens data støtter derfor de resultater som viser at stråling i små mengder, og med lav dosehastighet, stimulerer forsvarsmekanismer som reparasjon og apoptose.⁽²⁾



Figur 4. Her er vist sammenhengen mellom lungekreft og radonnivå for boliger i USA. Resultatene er sammenlignet med det en kan beregne ved å bruke LNT-modellen (den rette linjen).

Konklusjon for radon og lungekreft

Vi har ingen sikre eksperimentelle bevis for at radon i boliger gir økt risiko for lungekreft. Noen data tyder på at det kan være en synergieffekt mellom

røyking og radon.⁽³⁾ Richard Doll viste i 1950 at røyking er den viktigste ytre faktor for lungekreft.⁽⁷⁾ Røyken inneholder en rekke kreftfremkallende stoffer, men vi kan ikke peke på noe spesielt stoff. Vi vet at røyking ødelegger lungenes "rensesystem", noe som fører til at mer støv og kreftfremkallende stoffer, samt større stråledoser, kommer til bronkier og lunger.

Studiene til Thompson og Cohen viser en U-formet dose-effektcurve for radoneksponering, med et minimum i området 50 til 250 Bqm⁻³.

Grenseverdier og regelverk

Strålevernet i Norge, og i en rekke andre land, har laget et regelverk som har til hensikt å redusere forekomsten av lungekreft. Alle slike regelverk er basert på LNT-modellen. Det betyr at en tilstreber minst mulig radon i boligene, med null som det optimale mål. I Norge er en i ferd med å innføre et regelverk der radonkonsentrasjonen i inneluft ikke skal overstige 200 Bqm⁻³. Bygninger beregnet for varig opphold, skal tilrettelegges for egnet tiltak i byggegrunnen som kan aktiveres når radonkonsentrasjon i inneluft overstiger 100 Bqm⁻³. Regjeringen har lagt frem en nasjonal strategi for å redusere radoneksponeringen i Norge. Hensikten er å redusere antall lungekrefttilfeller.

Sett på bakgrunn av figur 4 og nyere strålebiologisk forskning, kan vi slå fast følgende:

1. Utsagnet om at radon fører til 300 lungekrefttilfeller i året i Norge, har ingen vitenskapelig støtte.
2. Grenseverdier og tiltak for å redusere radonverdier i området 100 til 200 Bqm⁻³, ser ut til være direkte imot strålebiologisk forskning. Vi står derfor i ferd med å lage et kostbart regelverk som går mot formålet om å redusere antall lungekrefttilfeller.

Vi bør imidlertid fortsette kartleggingen av radon i norske boliger. Områder og boliger med ekstremt høye verdier, bør vies spesiell oppmerksomhet. Det er en rekke områder med radonverdier over 1000 Bqm⁻³ der en burde sette inn tiltak.

Referanser

1. UNSCEAR-rapporten 2000. Internett: <http://www.unscear.org/docs/reports/annexb.pdf>
2. Thormod Henriksen: *Stråling og kreft*. FFV, 73, Nr 2, 40-46 (2011)

3. S. Darbu et al.: *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. British Medical Journal, **330**, 223–228 (2005)
4. D. Krewski et al.: *Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of North American case-control studies*. J. Toxicol. Environ. Health, **69**, 533–597 (2006)
5. R.E. Thompson: *Epidemiological Evidence for possible radiation hormesis from radon exposure. A case-control study conducted in Worchester, MA*. Dose-Response, **9**, 59–75 (2011)
6. Bernhard L. Cohen: *Test of the Linear-No Threshold Theory of Radiation Carcinogenesis for Inhaled Radon Decay Products*. Health Physics, **68**, (2), 157–174 (1995)
7. R. Doll and A.B. Hill: *Smoking and carcinoma of the lung*. Brit. Med. J. **2**, 739–748 (1959)

∞

Finnes det sterile nøytrinoer?

Jostein Riiser Kristiansen *

Nøytrinoer er en underlig type elementærpartikler. Det finnes svært mange av dem, men siden de verken har elektrisk ladning eller kjenner de sterke kjernekreftene, merker vi lite til dem i dagliglivet. Likevel har nøytrinoene en viktig plass i standardmodellen for partikkelfysikk der de opptrer i tre ulike typer: elektron-nøytrinoer, myon-nøytrinoer og tau-nøytrinoer. De siste årene har imidlertid flere ulike eksperimenter gitt oss hint om at det kanskje eksisterer én eller flere ekstra, ”sterile”, nøytrinotyper. Hvis dette stemmer, vil det ikke bare påvirke teoriene våre for elementærpartikler, men også modellene for universets sammensetning.

I en fysikkverden der elektronmassen er bestemt med åtte siffrers nøyaktighet, og finstrukturkonstanten er bestemt med ni siffer, er det godt vi har nøytrinoene. Som et såpestykke i badekaret har disse spøkelsesaktige partiklene helt siden de ble påvist i 1956 klart å unnsnippe de fleste forsøk på å bli studert og forstått i detalj. Som et eksempel, i formelsamlingen i fysikk som vi brukte da jeg tok 2FY og 3FY for drøyt 10 år siden, husker jeg at nøytrinoene ga oss et lite innblikk i fysikkens uløste gåter der de blant mangesifrede partikkelvenner lyste opp med ”masse: 0 (?)”.

Riktig nok er stadig flere fysiske parametere i nøytrinosektoren blitt bestemt med stadig større presisjon. Men parallelt med det fastere grepet om noen av nøytrinoenes egenskaper, har det dukket opp nye og uventede resultater som har sådd tvil om standardbildet som vi har av nøytrinoer kan være riktig. Flere ulike eksperimentelle resultater kan tyde på at dette standardbildet, der vi har tre typer nøytrinoer, elektron-nøytrinoet, ν_e , myon-nøytrinoet, ν_μ , og tau-nøytrinoet, ν_τ , ikke er komplett, men at vi kanskje trenger en eller to ekstra, såkalte ”sterile” nøytrinoer, for å beskrive alle observasjonelle data. Dersom det viser seg at slike ekstra nøytrinotyper eksisterer, vil ikke dette bare ha betydning for vår forståelse av partikkelfysikken. Det vil også endre vårt syn på universets innhold og historie.

Nøytrinoer observeres

Grunnen til vår begrensede kunnskap om nøytrinoer er at de ikke har elektrisk ladning, og derfor ikke kan vekselvirke gjennom elektromagnetiske krefter. Når de heller ikke kan føle sterke kjernekrefter, betyr det at de vekselvirker svært lite med vanlig materie. For typiske energier har nøytrinoene en midlere fri veilengde på over ett lysår i bly. At vi likevel kan detektere et nøytrino fra tid til annen, skyldes at de kan vekselvirke via svake kjernekrefter, og at de derfor har en viss sannsynlighet for å kolliderer med atomkjerner, noe som kan gi detekterbare signaler.

* Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo.

Sannsynligheten for å få en slik nøytrino-kollisjon i en partikkeldetektor øker jo høyere energi nøytrinoene har og jo flere det er av dem. Derfor er mange eksperimenter som studerer nøytrinoegenskaper plassert i nærheten av kjernekraftverk. I kjernereaksjoner dannes det store mengder nøytrinoer, og man kan også forutsi hvor mange nøytrinoer som sendes ut, og hvor stor energi de har.

Det var utenfor en kjernereaktor i Sør-Carolina i USA, at nøytrinoet ble detektert for første gang, i 1956.⁽¹⁾ I dette eksperimentet vekselvirket antinøytrinoer fra kjernereaktoren med protoner i detektormaterialet (hovedsakelig vann og kadmiom) og dannet nøytroner og positroner. Et produsert positron – som er elektronets antipartikkel – vil nesten umiddelbart annihileres med et elektron og danne observerbar gammastråling.

Nøytrinooscillasjoner og masser

I den enkleste formen av partikkelfysikkens standardmodell er nøytrinoene masseløse, men etter at fenomenet nøytrinooscillasjoner er blitt observert i ulike eksperimenter siden slutten av 1990-tallet, har det vært klart at nøytrinoene er nødt til å ha en liten masse. Med nøytrinooscillasjon menes at et nøytrino som dannes i en vekselvirkning med svake kjernekrefter, for eksempel et ν_e , senere detekteres som en annen nøytrinotype – for eksempel et ν_μ . Denne overgangen kan skje fordi nøytrinoene har to typer kvantemekaniske egentilstander. De såkalte *flavouregentilstandene*, ν_e , ν_μ og ν_τ , er de som vekselvirker via svake kjernekrefter, mens masseegentilstandene bestemmer hvordan et produsert nøytrino beveger seg gjennom tid og rom.

Egentilstandene kan mikses, slik at et produsert ν_e vil bevege seg gjennom rommet som en kvantemekanisk lineær kombinasjon av de ulike masseegentilstandene. Et ν_e har derfor ingen veldefinert masse, men man kan snakke om massen til ν_e som et vektet middel av de ulike masseegentilstandene som ν_e utgjøres av.

Sannsynligheten for en nøytrinooscillasjon mellom to masseegentilstander er tilnærmet proporsjonal med $\sin^2(\frac{\Delta m^2 L}{E})$ (noen faktorer er dropet for enkelhets skyld), der Δm^2 angir masseforskjellen mellom to masseegentilstander. L er avstanden nøytrinoet har reist og E er energien til nøytrinoet. Vi ser at for lave verdier av argumentet til sinusfunksjonen, vil oscillasjonssannsynligheten øke med økende masseforskjell og reiselengde. Vi

ser også at en deteksjon av en nøytrinooscillasjon vil bety at Δm^2 ikke er null, og dermed at nøytrinoer har masse.

Nøytrinooscillasjoner ble oppdaget i 1997 ved Super-Kamiokande-eksperimentet i Japan, som observerte elektron- og μ -nøytrinoer som blir dannet når høyenergetiske partikler fra verdensrommet treffer jordatmosfæren. Det viste seg at den observerte fordelingen av ν_e var nesten helt isotrop, det vil si at det kom like mange ν_e fra atmosfæren rett over eksperimentet, som det kom fra den andre siden av jorda (nøytrinoer som hadde reist tvers gjennom jorda før de traff detektoren). Fordelingen av atmosfæriske ν_μ var imidlertid ikke isotrop. Det kom flere ν_μ fra atmosfæren rett over eksperimentet enn det kom fra den andre siden av jorda. Den enkleste forklaringen på disse observasjonene er at mange av μ -nøytrinoene som kom fra "baksiden" av jorda hadde oscillert over til ikke-observerbare ν_τ under sin lange ferd gjennom jorda mot Super-Kamiokande-detektoren.

Eksperimenter utført over en periode på 30 år som lette etter solare ν_e , fant imidlertid bare omlag 1/3 av det antallet nøytrinoer som er forutsagt av solmodellene våre, noe som lenge ble omtalt som det solare nøytrinoproblemet.

Et annet eksperiment, ved Sudbury Neutrino Observatory (SNO) i Canada, kunne i 2001 publisere resultater der de viste at det måtte ha skjedd oscillasjoner av nøytrinoer produsert i fusjonsreaksjonene i solkjernen.⁽²⁾ I disse reaksjonene dannes elektronnøytrinoer. Ved SNO hadde de ved å bruke tungtvann som detektormateriale, klart å gjøre eksperimentet følsomt for alle de tre nøytrinotypene, og ikke bare for elektronnøytrioner. Det viste seg da at summen av detekterte ν_e , ν_μ og ν_τ stemte godt overens med de teoretiske solmodellene. Forklaringen var at elektronnøytrinoer produsert i sola hadde oscillert over til ν_μ og ν_τ på ferden mellom solkjernen og jorda.

Senere er nøytrinooscillasjoner blitt observert i en rekke eksperimenter, både gjennom studier av nøytrinoer fra den øvre atmosfæren og fra sola, men også gjennom eksperimenter som studerer nøytrinoer produsert i kjernekraftverk og nøytrinostråler fra partikkelakseleratorer. Ut i fra dette har vi etter hvert dannet oss et tilsynelatende konsistent bilde av masseforskjellene mellom nøytrinomasseegentilstandene. Det er én masseforskjell på omtrent $0,01 \text{ eV}/c^2$, og en annen masseforskjell på omtrent $0,05 \text{ eV}/c^2$. Enheten eV/c^2 er en vanlig måte å angi partikkelmasser på, og van-

ligvis dropper man c^2 -faktoren og skriver bare eV, noe jeg vil gjøre fra nå av.

Det er verdt å merke seg at dette er svært små masseforskjeller. Elektronet, for eksempel, har en masse på rundt 0,5 MeV, og protonet et par tusen ganger mer enn det igjen. Imidlertid forteller oscillasjonsdataene bare om masseforskjeller mellom nøytrinomasseegentilstander. De forteller oss ingenting om den absolutte nøytrinomasseskalaen, bortsett fra å si at minst én masseegentilstand må være $> 0,05$ eV.

De beste grensene vi har for absoluttverdien av massene kommer i dag fra kosmologiske observasjoner. Selv om nøytrinoene har lav masse er det svært mange av dem i universet, og nøytrinomassen påvirker hvordan galaksene klumper seg sammen, noe vi kunne lese om i FFV nr. 1, 2011.⁽³⁾

Kosmologiske observasjoner er i hovedsak følsomme for summen av nøytrinomasseegentilstandene. Øvre grenser for denne summen varierer mellom ca. 0,2 eV og 1 eV, avhengig av hvilke antagelser som gjøres og av hvilke data som brukes. Kombinert med oscillasjonsdataene, vet vi derfor at summen av nøytrinomassene må være mellom 0,05 eV og 1 eV, noe som ikke er imponerende presist sammenlignet med hva vi vet om andre elementærpartikler.

Pussige resultater

Selv om de fleste nøytrinooscillasjonseksperimenter har gitt resultater som er konsistente både med hverandre og med bildet vi har av tre nøytrintyper, har det etter hvert dukket opp flere resultater som ikke passer inn i dette standardbildet. Først ute var LSND-eksperimentet ved Los Alamos National Laboratoy i USA, der de studerte nøytrinoer som hadde reist bare 30 m fra en akselerator, altså en mye kortere reisevei enn for de solare og atmosfæriske nøytrinoene. Ved LSND-eksperimentet ble det i 2001 oppdaget et overskudd av antielektronnøytrinoer som ikke passet med oscillasjonsdataene fra andre eksperimenter.

Senere ble MiniBooNE-eksperimentet ved Fermilab i USA, designet for å se etter det samme signalet, men denne gangen for elektronnøytrinoer istedenfor antielektronnøytrinoer. I 2007 publiserte MiniBooNE-kollaborasjonen resultater der de rapporterte et overskudd av elektronnøytrinoer, men ikke ved de samme energiene som LSND-eksperimentet, så istedenfor å avklare den kontroversielle LSND-anomalien, ble det

laget en ny MiniBooNE-anomali. Statusen til nøytrinooscillasjonsdata fra disse to eksperimentene har derfor stått fram som to store spørsmålsteget i en ellers ryddig og oversiktlig nøytrinosektor.

I 2011 har det imidlertid dukket opp et nytt teoretisk resultat som har rotet det til i "nøytrinokuffen", denne gangen i forbindelse med eksperimenter som studerer nøytrinoer fra kjernereaktorer. Fra slike eksperimenter har man i flere år kunnet rapportere om konsistente resultater når man har sammenlignet observerte nøytrinoer utenfor kjernereaktorer med forventet antall nøytrinoer fra teoretiske beregninger. Men i mars 2011 kunne en gruppe forskere rapportere at de hadde funnet ut at tidligere teoretiske beregninger av antall nøytrinoer som sendes ut fra kjernereaktorer har gitt en verdi som har vært rundt 3 % for lav.⁽⁴⁾ Det betyr at nøytrinoeksperimentene ved kjernereaktorer burde ha sett 3 % flere nøytrinoer. Hvor er disse ekstra nøytrinoene blitt av?

Sterile nøytrinoer til unnsetning?

Noen uker senere publiserte en annen gruppe resultater der de hadde tatt hensyn til disse tre ekstra prosentene og likevel klart å tilpasse observasjoner fra en rekke ulike eksperimenter med de teoretiske forutsigelsene.⁽⁵⁾ For å få til dette var de nødt til å introdusere to nye, såkalte "sterile", nøytrinoer. Et sterilt nøytrino er et nøytrino som kommer i tillegg til de tre vanlige nøytrinoene og som ikke vekselvirker gjennom svake kjernekrefter slik de vanlige nøytrinoene gjør. De to nye sterile nøytrinoene som disse forskerne introduserte, medførte to tilhørende masseegentilstander. De fant at masseforskjellene mellom de to nye masseegentilstandene og en av de "vanlige" masseegentilstandene må være på omtrent 0,7 og 0,9 eV. Disse masseforskjellene er altså langt høyere enn masseforskjellene innbyrdes mellom de "vanlige" nøytrinomasseegentilstandene som vi har sett på tidligere. Likevel er masseforskjellene såpass små at disse nye sterile nøytrinoene fortsatt vil være over en halv million ganger lettere enn elektronet.

Selv om sterile nøytrinoer kun vekselvirker via tyngdekraften, og dermed ikke kan dannes i kjernereaksjoner, vil de vanlige nøytrinoene kunne oscillere over til udetekterbare sterile nøytrinoer. De manglende nøytrinoene fra kjernereaktoreksperimenter kan dermed forklares med at vanlige nøytrinoer har gått over til å bli sterile på veien mellom reaktoren og detektoren. Siden flere av

disse detektorene er plassert nær reaktorene, er det nødvendig med en såpass stor masseforskjell for at tilstrekkelig mange nøytrinoer skal kunne oscillere før de når detektoren.

Sterile nøytrinoer er ingen ny idé. Det er lenge siden de ble foreslått som en kandidat til å utgjøre den mørke materien i universet. For å passe med det vi vet om mørk materie må de imidlertid være mye tyngre enn massene som er antydnet fra oscillasjonseksperimentene. Sterile nøytrinoer har også tidligere vært foreslått som mulige løsninger på LSND- og MiniBooNE-anomaliene, og det viser seg at man med de to massive sterile nøytrinoene nevnt ovenfor, kan forklare både data fra reaktoreksperimentene, LSND og MiniBooNE samtidig.

Hva med kosmologi? Flere ulike studier har konkludert med at ett eller to ekstra sterile nøytrinoer kan tilpasses kosmologiske observasjoner uten problemer. Faktisk har det vist seg at ett sterilt nøytrino passer bedre overens med kosmologiske observasjoner enn ingen sterile nøytrinoer. Imidlertid ser det ut til å være problematisk å introdusere to ekstra nøytrinoer som er så massive som 0,7 og 0,9 eV, i den vanlige kosmologiske Λ CDM-modellen uten å komme i konflikt med observasjoner. I denne kosmologiske modellen er mørk energi, som er ansvarlig for den observerte akselererende ekspansjonen av universet, beskrevet av en kosmologisk konstant.

Nylig studerte Øystein Elgarøy og jeg hva som ville skje med ulike kosmologiske modeller dersom universet inneholder to sterile nøytrinoer på 0,7 og 0,9 eV.⁽⁶⁾ Vi fant blant annet at universet i et slikt scenario bare vil være omtrent 12,5 milliarder år gammelt, en milliard år yngre enn vi vanligvis antar. Dessuten viste det seg at en kosmologisk konstant ville gi en dårlig beskrivelse av den mørke energien, og at det vil være nødvendig å inkludere en mer komplisert form for mørk energi.

Veien videre

Som vi har sett, kan man ved å introdusere to massive, sterile nøytrinoer gi en serie med problemer fra nøytrinoeksperimentene en tilfredsstillende løsning. Alt blir likevel ikke enklere med denne modellen. For det første vil det gjøre våre kosmologiske modeller mer kompliserte. Dessuten vil de sterile nøytrinoene representere fysikk på siden av standardmodellen for partikkelfysikk. Eksistensen av tunge sterile nøytrinoer har vært foreslått for å forklare hvorfor de vanlige nøytrinoene har så lav

masse, men disse sterile nøytrinoene måtte i så fall ha vært mer massive enn de som er foreslått for å forklare resultatene fra de nevnte reaktoreksperimentene. Vi vet allerede at standardmodellen i partikkelfysikken ikke kan beskrive hele sannheten om det mest fundamentale i fysikken, og det mangler ikke på forslag og spekulasjoner rundt utvidede og mer fundamentale teorier. Dersom det viser seg at disse sterile nøytrinoene faktisk eksisterer, vil det utvilsomt være av stor betydning for partikkelfysikken, ettersom disse teoriene da vil være nødt til å inneholde sterile nøytrinoer.

Det er viktig å understreke at det enn så lenge ikke foreligger noen sikre bevis for eksistensen av sterile nøytrinoer, men vi har ulike hint om at de kan brukes til å forklare en del observasjonelle rariteter. Om sterile nøytrinoer vil være inkludert i formelsamlingene i fysikk på videregående skoler om 20 år, gjenstår å se.

Referanser

1. C.L. Cowan Jr., F. Reines, F.B. Harrison, H.W. Kruse and A.D. McGuire: *Detection of the Free Neutrino: a Confirmation*. Science **124**, (3212): 1034 (1956)
2. Øyvind Grøn: Fysikknytt. *Det solare nøytrinoproblemet løst*. FFV **62**, Nr. 4, 111–112 (2001)
3. Øystein Elgarøy og Øyvind Grøn: *Nøytrinoer og galakser*. FFV **73**, Nr. 1, 27–29 (2011)
4. Th. A. Mueller et al.: *Improved Predictions of Reactor Antineutrino Spectra*. <http://arxiv.org/abs/1101.2663> (2011)
5. Joachim Kopp, Michele Maltoni og Thomas Schwetz: *Are there sterile neutrinos at the eV scale?* <http://arxiv.org/abs/1103.4570> (2011)
6. Jostein R. Kristiansen og Øystein Elgarøy: *Reactor sterile neutrinos, dark energy and the age of the universe*. <http://arxiv.org/abs/1104.0704> (2011)

Kommentar

Radioaktive utslipp og helse

I artikkelen "Radioaktive utslipp og helse"⁽¹⁾ omtaler Thormod Henriksen forholdene i Finnmark etter atombombep prøvene over Novaja Semlja i 1950–60 årene. Jeg vil knytte noen kommentarer til dette.

Cs 137 (β - og γ -emitter) ble funnet i atmosfæren første gang i 1953. Målinger ved Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) viste maksimal atmosfærisk konsentrasjon i 1963. Man registrerte også en topp i 1959.

I 1978 avtjente jeg min verneplikt ved FFI, Avdeling for fysikk, under ledelse av Thorleif Hvin-den. Jeg ble satt til å undersøke mulige kromosomskader hos samene som Henriksen omtaler. Bakgrunnen for dette var at man ved Statens Institutt for Strålehygiene (nå Statens Strålevern) hvert år siden 1965 hadde målt helkroppsdoser fra Cs 137 hos et hundretalls samer. Dette fordi internt deponert Cs 137 fra inntatt reinsdyrkjøtt representerer en vesentlig kilde til samenes strålebelastning etter atmosfæriske prøveeksplosjoner. Det høye innhold av Cs 137 i reinsdyrkjøtt skyldes reinens inntak av lav (kvitkrull = *cladonia stellaris*). Lav mangler røtter og henter sin næring direkte fra nedbør. De radioaktive nuklider i nedbør lagres i lav.

En annen aktuell nuklide i denne sammenheng er Po 210, et "decay"-produkt av U 238. I likhet med Cs 137 tas Po 210 opp i lav og følger den arktiske næringskjeden (lav–rein–menneske) med det til følge at Po 210-konsentrasjonen i indre organer hos den arktiske befolkning er fra 10 til 80 ganger høyere enn hos den øvrige befolkning. Po 210 er en α -emitter og fanges ikke opp ved helkroppsmålinger, men i og med at Po 210 tilføres organismen på samme måte som Cs 137, gir sistnevnte oss en indikasjon på Po 210-nivået.

Po 210 er ekstremt giftig. α -partikkelstråling har en relativ biologisk effekt (RBE) på 20.⁽²⁾ Alexander Litvinenko, tidligere offiser i KGB, døde i 2006 av Po 210-forgiftning. Hans symptomer var i overensstemmelse med en inntatt dose på 2 GBq, hvilket svarer til 10 μ g, som er 200 ganger dødelig dose.⁽³⁾

Helkroppsmålingene ble gjort ved hjelp av en scintillasjonskrystall (NaI) som ble lagt i fanget til forsøkspersonen som så bøyde seg over krystallen

slik at hele kroppen omsluttet denne. På den måten skjermet man også for bakgrunnsstråling. Dosene var høyest i 1965 og avtok monotont frem til 1978.

Lymfocytter (en type hvite blodlegemer) har vist seg å være velegnet for kromosomanalyser; de er lett tilgjengelige, finnes jevnt fordelt i hele kroppen, er tilnærmet synkron i cellesyklus og lar seg lett stimulere til celledeling i kulturer. Under celledelingen (metafasen) fremstår kromosomene enkeltvis og lar seg relativt lett vurdere.

Ut ifra levesett kan samene deles i to grupper: 1) flyttsamer og 2) småbrukere og andre. Flyttsamene skiller seg ut ved høyt inntak av reinsdyrkjøtt. I overensstemmelse med dette fant man høyest Cs 137-aktivitet hos flyttsamer.

Tilsvarende fant vi høyest antall kromosombrudd per celle hos flyttsamer. Videre fant vi en lineær sammenheng mellom antall kromosombrudd per celle og stipulert akkumulert stråledose (Cs 137 + Po 210) fra 1965 til 1978.⁽⁴⁾

Henriksen skriver at de betydelige mengder Cs 137 i reinsdyrkjøtt ikke fikk helsemessige konsekvenser. Det er meget sannsynlig. Likevel fant vi utslag i form av kromosomskade, om enn i liten grad.

Referanser

1. T. Henriksen: *Radioaktive utslipp og helse*. Fra Fysikkens Verden, **73**, Nr. 2, 46–49 (2011)
2. J.F. Evensen: *Helsebringende protoner*. Fra Fysikkens Verden, **73**, Nr. 1, 6–12 (2011)
3. Internett: http://en.wikipedia.org/wiki/Poisoning_of_Alexander_Litvinenko
4. J.F. Evensen, J.B. Reitan, E.A. Westerlund, A. Brøgger: *Cesium 137 body burden and chromosome aberrations in Norwegian lapps 1965–1978*. I "Radiation and cancer risk". T. Brustad, F. Langmark, J.B. Reitan 1990, 21–30, Hemisphere Publishing Corporation

Jan Folkvard Evensen

∞

Fra Fysikkens Historie

Eratosthenes

Alexandria i Egypt ble grunnlagt av Alexander den store i året 330 f.Kr. Denne byen utviklet seg snart til verdens mest betydelige plass for intellektuell virksomhet og kunnskap. For i denne byen lå det største biblioteket i antikken der det muligens var samlet flere hundre tusen pergament- og papyrusruller. Det var selvsagt ikke uten betydning at Egyptens land var en storprodusent av papyrus, som bøkene ble skrevet på. Alle manuskripter som biblioteket fikk tak i fra fjern og nær, ble nemlig flittig og nøyaktig kopiert og kommentert. Her ble viten betraktet som det mest verdifulle mål. Lærdom og innsikt var ikke bare middel og redskap for å oppnå rikdom og makt. Ved dette herlige stedet for tilegnelse av kyndighet og erkjennelse, var det aktivitet i lang tid, fra år 300 f.Kr. til 600-tallet e.Kr. Det er mulig at både romere, kristne og arabere bærer sin del av ansvaret for at dette lærdommens tempel ble brent, herjet og lagt i ruiner.

Ved dette senteret for kunst og erkjennelse virket den multibegavede Eratosthenes (276 – 194 f.Kr.). Han var fra Kyrene i det nåværende Libya, og hadde fått noe av sin utdannelse i Aten. Fra Bibelen minnes vi Simon fra Kyrene som måtte bære Kristi kors langs Via Dolorosa på den tunge vegen fram til Golgata. I tida omkring 240 f.Kr. ble Eratosthenes utnevnt til leder for det berømte biblioteket. Det fikk hete Mouseion, og det var reist til ære for de 9 gudinnene (musene) som inspirerte til de edle kunster. Ordet *muse* finner vi igjen i museum, musikk og det engelske amuse. Her ble Eratosthenes værende til sin død.

Det er mulig at det kun var misunnelige sjeler som ga han kallenavnet *Beta*. Det skulle være dekkende for at han ikke var den fremste utøver i noen virksomhet, men bare kom på plass nummer to. Det er neppe så merkelig siden dette universalgeniet arbeidet med så mange forskjellige og ubeslektede emner. Han dyrket matematikk, geografi, filosofi, kronologi, grammatikk og litteraturkritikk, og skrev poesi. Det er også tilfelle at allsidig begavelse hadde den høyeste anseelse i samtida.

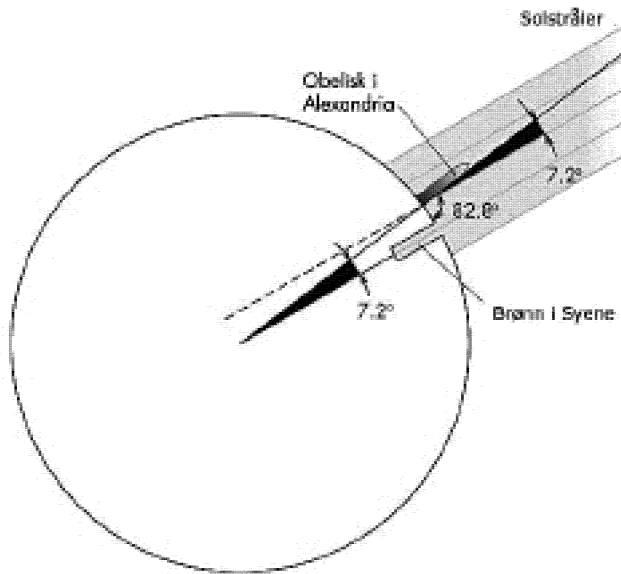
Eratosthenes var en dugelig matematiker, og han lanserte en meget enkel metode for å finne

primtall. Det er de tall som er slik at bare 1 og tallet selv går opp i dem, altså 2, 3, 5, 7, 11, 13 Tallet 1 er et unntak, for det regnes ikke som et primtall. Metoden kalles *Eratosthenes' såld*, for "såldet" slipper gjennom alle sammensatte tall, mens primtallene blir værende igjen. For et eller annet heltall N ønsker vi å finne alle primtall $< N$. Fra listen av samtlige tall $\leq N$ stryker vi så ut alle multipler av de primtall som er $\leq \sqrt{N}$. De tallene som da gjenstår er de søkte primtallene.

Som en kuriositet vil vi nevne at den norske matematikeren *Viggo Brun* (1885–1978) viste at dette primitive redskapet fra oldtiden kan si viktige ting om primtallenes fordeling. Vi legger merke til at en del av primtallene opptrer i såkalte "tvillingpar": 3 og 5, 5 og 7, 11 og 13, 17 og 19, 29 og 31, 41 og 43, 59 og 61, 71 og 73 ... Men 23, 37, 47, 53, 67, 79, 83, 89, 97 ... har ingen tvilling. Matematikerne vet at det er uendelig mange primtall, men de har ikke greid å avgjøre om det finnes uendelig mange tvillingpar. Det er også slik at hvis en snur alle primtallene opp ned, og legger sammen alle de brøkene en da får, $1/2 + 1/3 + 1/5 + 1/7 + 1/11 + 1/13 + \dots$, så blir denne summen uendelig stor. Viggo Brun greide å vise at hvis en nøyer seg med å summere alle tvillingpar, $(1/3 + 1/5) + (1/5 + 1/7) + (1/11 + 1/13) + \dots$, så blir resultatet av denne uendelige addisjonen et ganske bestemt tall som er litt større enn 1,9. Viggo Brun var en aktiv forsker like til sin død, nesten 93 år gammel.

Eratosthenes fant størrelsen på jorda ved en meget elegant betraktning. Han visste at i byen Syene i det sydlige Egypt, var det en brønn der sola på årets lengste dag stod loddrett over brønnen. Det fantes altså ingen skygge i bunnen av brønnen da. Men i Alexandria kastet samtidig en obelisk en skygge som viste at vinkelen mellom obelirken og solstrålene var $7,2^\circ$ (se figuren) som jo er $1/50$ av hele sirkelen på 360° . Eratosthenes antok at alle solstråler er parallelle, og størrelsen på jorda er følgelig 50 ganger avstanden mellom Alexandria og Syene. Slik kom han meget nær den riktige verdien.

Eratosthenes tok også for seg det umulige **problemet med kubens fordobling**. Legenden forteller at Oraklet i Delfi hadde pålagt de gode borgerne å løse denne oppgaven om de ville bli kvitt pesten som herjet. Hippokrates hadde vist at for å få fram en kube med dobbelt så stort volum som en gitt kube, er det nok å finne de to mellomproportjonalene x og y fra følgende likninger, der a og



Figur 1. Eratosthenes fant størrelsen på jorda ved å observere skyggen av obelisk i Alexandria når bunnen av brønnen i Syene var helt opplyst av solstrålene.

b er kjente lengder:

$$a : x = x : y = y : b$$

Kravet for en akseptabel løsning av dette klassiske problemet var at en måtte nøye seg med passer og linjal som hjelpemiddel.

Eratosthenes maktet ikke denne oppgaven. Det er ikke så merkelig, for senere matematikere har bevist at problemet ikke har noen løsning. Men Eratosthenes foreslo i alle fall en slags maskin som kunne konstruere en så nær perfekt løsning som ønskelig. Maskinen til Eratosthenes besto av tre like kvadrater som kunne skli uavhengig av hverandre langs to parallelle skinner. Det ene kvadratet var riktignok fast, og i det ene hjørnet av dette kvadratet var det festet en linjal som kunne rotere fritt omkring en akse gjennom hjørnet.

Den allsidige vitenskapsmannen bidro også med å utarbeide en **kalender med skuddår**. I tillegg kan han betegnes som grunnleggeren av matematisk geografi. Basislinjen for lengdemåling fikk være en linje som strakk seg langs Middelhavet gjennom Rhodos. Utgangspunktet for posisjonen av bredde fikk være den linjen som løp gjennom Syene og Rhodos.

Til sin store sorg ble Eratosthenes blind på sine eldre dager, og det hevdes at han avsluttet livet ved å sulte seg til døde.

Henning Knutsen

Bokomtaler

Carl Angell, Berit Bungum, Ellen K. Henriksen, Stein Dankert Kolstø, Jonas Persson og Reidun Renstrøm: Fysikkdidaktikk. Høyskoleforlaget, 2011, ISBN 978-82-7634-871-1 (436 sider), 559 kr.

Et gledelig og viktig bidrag til å fremme god fysikkundervisning

Den nylig utkomne boka "Fysikkdidaktikk" framstår som en gledelig nyhet for alle som er interessert i fysikkfaget og fysikkundervisning i vid forstand. Boka henvender seg først og fremst til fysikklærere, de som tar sikte på å bli det, og de som skal hjelpe dem til det. Men boka har i høyeste grad også mye å gi til alle som av andre grunner er interessert i undervisning og i fysikkfaget.

En bred forfattergruppe står bak denne boka, og de representerer sentrale naturfagdidaktiske miljøer i vårt land. Selv om mange forfattere har vært involvert, er det ingen sterke dissonanser å spore når det gjelder språk og forfatterstemmer. Og de skriver godt! Framstillingen er preget av god innsikt, klar tanke og veloverveide formuleringer. Selvsagt varierer kapitlene noe når det gjelder stiltone, ambisjoner og dybde, men det synes å være gjennomtenkte vurderinger som ligger bak slike variasjoner. Forfatterne lykkes hele veien med å belyse fagdidaktiske og rent fysikklaglige spørsmål fra mange sider, og de henfaller ingen steder til ensidige, dogmatiske posisjoner.

Mange sider ved fysikkfaget og fysikkundervisningen diskuteres i boka. Den første delen diskuterer hva som i grunnleggende forstand konstituerer fysikk som fag ut fra historisk utvikling, egenart, emner og arbeidsmåte.

Den neste delen tar for seg fysikkfaget i norsk skole gjennom å fokusere på læreplaner og hvem som ifølge omfattende empiri har valgt roller som elever og lærere. En stor del av boka handler om prinsipper og perspektiver på læring og undervisning i fysikk. Dette utgjør naturlig nok bokas – som fysikkdidaktikkens – kjerne. Forfatterne går grundig inn på prinsipper for å oppnå god læring, både i et elev- og et lærerperspektiv. Det fører for langt å gå i detalj her, men undervisningens ulike arbeidsformer, hjelpemidler og faginnhold får bred oppmerksomhet. For hvert fagområde veksler fram-

stillingen mellom innspill av ren fysikkfaglig art, empiriske funn av elevenes begrepsforståelse, samt av gode råd og ideer til eksperimentell og teoretisk undervisning.

Bokas siste del er viet måling av kunnskap i fysikk, både i form av prøver, eksamen og av internasjonale kunnskapsmålinger (TIMSS). I den forbindelse er en del også viet testteoretiske aspekter ved hva som kjennetegner en god test eller prøve. Dette er i seg selv et verdifullt og nyttig bidrag til innsikt i et for lærere lite kjent fagområde. Men dessverre er framstillingen her noe svekket av at det ene eksempelet på psykometrisk analyse av en enkeltoppgave (kap. 28.3) inneholder en forvirrende trykkfeil i tabellen. I tillegg er det etter min mening synd at det ikke er spandert noe plass til å forklare hva den "såkalte" Rasch-modellen baserer seg på, når den først brukes som illustrasjon i dette eksempelet. Det er også uheldig at forfatterne på side 400 stiller det som et åpent spørsmål om vanskelige flervalgsoppgaver skal telle mer enn lette. I utgangspunktet er det svært gode testteoretiske grunner til at de skal telle likt, uavhengig av vanskegrad.

Til sammen har forfatterne klart å presentere en fagbok som dekker et relevant mangfold av emner og perspektiver, samtidig som disse inngår i en meningsfull helhet. Boka framstår derfor som et funn av en lærebok i lærerutdanningen, samtidig som den er ideell for fysikklærere som søker spesifikk teoretisk innsikt eller gode ideer til undervisningen. En god innholdsoversikt, og ikke minst et omfattende stikkordsregister, gjør boka godt egnet også som oppslagsbok. Denne boka representerer på alle måter et verdifullt og lenge savnet bidrag til norsk undervisningslitteratur. Den er hermed anbefalt på det varmeste til alle med interesse for fysikkfaget, og den bør i hvert fall finnes på hver eneste videregående skole som tilbyr studieforberedende utdanningsprogram.

Svein Lie

∞

Nils H. Fløttre: Glimt fra kjemiens og fysikkens historie. Kolofon forlag, 2011. ISBN 978-82-300-0808-0 (350 sider), 350 kr

I 1999 fikk Nils H. Fløttre Norsk fysikklærerforenings undervisningspris for "et omfattende forfatter-skap av en rekke bøker og hefter for bruk i fysikkundervisningen i videregående skole". Etter mange år

som lektor i skolen er han nå pensjonist og har utgitt en bok om kjemiens og fysikkens historie for voksne. Det har blitt en rikt illustrert bok med portretter av en mange av personene som nevnes. Boken inneholder også en rekke ligninger noe som er sjelden i en populær bok.

Boken består av 5 deler og en appendiks med utfyllende stoff til de første fire delene. Dette er ikke en bok man leser fra perm til perm, men kan slå opp i når man ønsker å vite noe mer om et spesielt emne.

Den første delen er om kjente navn fra oldtiden og frem til og med 1900-tallet. Her er det ikke mer med enn det man kan finne i et større leksikon eller etter en rask tur på nettet, men det gjør det enklere i lesningen at omtalen av personer er lett tilgjengelig i boken. Men hvem er mannen avbildet på forsiden av boken? Her gir Fløttre leserne en oppgave.

I den andre delen skriver Fløttre om naturvitenskapelige enheters historie fra Magnus Lagabøter til SI-systemet, og hva som videre kan skje med enkelte grunnenheter. Det er så kortfattet og leselig skrevet at man kan lese det med utbytte i sammenheng. Det er innsiktsfullt skrevet og forteller en historie få kjenner i slike detaljer.

Den tredje delen er om elektrokjemiens historie og her er det ikke bare kjemi, men også en god del fysikk. Fløttre dekker historien fra Franklin på 1700-tallet helt frem til de nyeste batterier.

Den tyngste delen er den fjerde om hvordan oppfatning av stråling og materie har blitt endret med tiden. Det vil nok være av interesse for mange lærere som underviser i dette i dag uten det historiske perspektivet. Mange størrelser blir lettere å forstå om man ser historien bak. Det er synd at man ikke lenger kan ta seg tid til dette i skolen, men stoffet kan være til støtte for den som underviser.

Til slutt gis en omfattende liste med korte forklaringer på en rekke begreper og ord. Noen er riktig gode, mens andre krever kunnskaper for å skjønnes.

Boken ligner ikke på noen annen bok jeg kjenner på norsk og anbefales til alle som er interessert i de eksakte naturvitenskapers historie.

Bjørn Pedersen

∞

Nye Doktorer

Tatjana Zivkovic



Tatjana Zivkovic forsvarte sin avhandling *Complexity in plasma and geospace systems* for PhD-graden ved Universitetet i Tromsø, den 10. Mai 2011.

Komplekse systemer har mange frihetsgrader og ikke-linære koblinger. Slike systemer kan ofte gi bedre resultater enn forenklete modeller som kan løses analytisk, men hvor approksimasjoner visker bort virkelig fysikk.

Mange metoder er utviklet for å studere komplekse systemer, for eksempel kan antall frihetsgrader beregnes ved å bruke faseroms-rekonstruksjoner. Ved å bruke faserommet kan en også estimere i hvilken grad et system er stokastisk eller deterministisk, og dette kan videre utnyttes til å skjønne hvordan to forskjellige systemer påvirker hverandre. For eksempel, hvis magnetosfæren kan forklares med færre frihetsgrader enn solvinden har under magnetiske stormer, innebærer dette at magnetosfæren kan selvorganiseres i løpet av slike stormer.

Zivkovic har brukt flere metoder, for å studere kaos med få dimensjoner i laboratorieplasma, organisering av magnetosfæren i løpet av geomagnetiske stormer og substormer, og har også anvendt sine metoder på klimastudier. Metodene som Zivkovic har brukt er relativt nye innenfor slike studier og gir spennende resultater som utvider vår kunnskap om nevnte systemer.

Arbeidet ble utført ved Institutt for fysikk og teknologi i Tromsø. Veileder på prosjektet var professor Kristoffer Rypdal. Zivkovic er nå ansatt ved Instituttet for romfysikk i Uppsala, Sverige.

Trim i FFV

Løsning på FFVT 2/11

Løslatelsessjansen

Oppgaven var å fordele 100 svarte og 100 hvite perler i to like vaser slik at sjansen for trekke ut en svart perle i blinde ble maksimal.

Hvis vi legger en svart perle i den ene vasen, og de andre 199 perlene i den andre vasen, vil det være 50 % sjanse for at den ene svarte perlen trekkes ut og 50 % sjanse for at en av de 199 andre perlene trekkes. Sjansen for å trekke ut en svart perle derfra vil være $99/199 = 49,75\%$. Til sammen blir sjansen da for å trekke ut en svart perle $50 + 49,75/2 = 74,87\%$, som er vesentlig høyere enn ved en tilfeldig blanding av perlene, som ville gitt en sjanse på 50 %.

FFVT 3/11

Urvisere

I FFVT 4/08 fikk leserne servert spørsmålet om det finnes andre tidspunkter enn kl 12:00 som medfører nøyaktig samstilling av alle tre viserne på en vanlig klokke. Svaret er enkelt: Nei!

Pensjonert lektor i Steinkjer, Modulf Helgaas, sendte en utførlig kommentar til oppgaven hvor han foreslo en utvidelse av problemet. Han foreslo å finne tidspunkter utenom klokken 12:00:00 hvor de tre urviserne har minst mulig sprik mellom hverandre. I tillegg kunne en regne ut hvor stor vinkelen er, når sammenfallet av alle tre viserne er på sitt beste. Kan leserne greie dette?

Takk!

Ola Halvor Sveen har vært vår trofaste, anonyme bidragsyter med oppgaver til Trim i FFV i snart 10 år til glede for våre lesere. Nå har pensjonsalderen innhentet også ham, og han har levert sin siste trim til FFV. Dette beklager vi! Men vi vil også gjerne takke Ola for mange morsomme og lærerike trim-oppgaver som han alltid har levert i god tid. Dette er vi svært takknemlige for, og vi ønsker at Ola må få nyte sitt otium som pensjonist i mange år!

Redaksjonen

Nytt fra NFS

Nye medlemmer 12. des. 2010

Alne, Katrine; Blueveien 68 A, 8520 Ankenesstrand

Alsaker, Øystein; Strangebakken 8, 5011 Bergen

Andersson, Martin; Oslo gate 2 B, 0192 Oslo

Apelseth, Ole Kristian; Herman Grans vei 62 C, 5162 Laksevåg

Aslesen, Tore E.; Åsengt 4 B, 0480 Oslo

Bjerkvik, Aslak; Blåkklokkevegen 45 B, 7050 Trondheim

Bjørnsen, Kjetil; Storbekkeveien, 9360 Bardu

Blom, Kjartan; Hegrenesveien 2, 5042 Bergen

Boganes, Karl; Boganesgeilen 31 A, 4032 Stavanger

Bomark, Nils-Erik; Skoglien 28, 5056 Bergen

Borvik, Ruth; Postboks 50, 2337 Tangen

Breivik, Åse Bøilestad; Svaholt, 8140 Innry

Brown, Robert; Øvre Fredlundveien 4, 5073 Bergen

Carlsen, Dag Vartdal; Nordahl Griegsveg 8 A, 5232 Paradis

Ersvik, Stine; Idrettsvegen 7, 8250 Rognan

Fronteri, Paul Anthony; Lannaveien 51, 3830 Ulefoss

Furu, Nic; Lauvøya, 7900 Rørvik

Gaustad, Peder Anders; 7517 Hell

Häger, Maria; Ankenesveien 77, 8520 Ankenesstrand

Hammer, Andreas; Amalie Skramsvei 18, 5036 Bergen

Hatlevik, Caspar Wangensten; Einerhaugen 6 E, 5141 Fyllingsdalen

Hauge, Sigmund; Lysskar 3, 5535 Haugesund

Haugen, Lars; Indre Thukkebygd 92, 5700 Voss

Heer, Joël; Martin Barstads veg 52 B, 7530 Meråker

Heggstad, Jon Egil; Håkonsund, 5379 Steinland

Hellesøy, Andreas; Grønnestølsveien 29, 5073 Bergen

Helseth, Hans Lie; Gustav Wentzelsvei 10 B, 1383 Asker

Hjørnevik, Jon Olav; Skytterveien 26, 1605 Fredrikstad

Husebø, Jan; Drottningsvikvn. 96, 5179 Godvik

Hynne, Borgny; Løken 15, 6817 Naustdal

Jamroz, Piotr; Engebakken 20, 2330 Vallset

Josefsen, Roger; Bugården syd 7, 3133 Duken

Kamben, Robert; Blomliveien 38, 9100 Kvaløysletta

Landstad, Mona Methi; Persillesletta 72, 1621 Gressvik

Langelandsvik, Rannveig; Håvikvn. 151, 4265 Håvik

Larsen, Lars Arve; Skogaromvn. 13, 7350 Buvika

Larsen, Arild; Drottningborg vgs, 4885 Grimstad

Lie Marianne Kjøde; Skeielia 52, 5239 Rådal

Lysebo, Marius; Pilestredet 35, 0166 Oslo

Moreau, Francois; Skagveien 38 A, 9950 Vardø

Nordsveen, Ole Kristian; Nonnegata 11, 0656 Oslo

Nygaard, Christoffer; Storgata 11, 4319 Sandnes

Nylund, Jolanta H.; Lindboveien 5, 3050 MøIndalen

Olausen, Anita; Kråkenesdalen 243, 5153 Bønes

Olsen, Anke; Nedre Teinebakken 13, 4028 Stavanger

Omland, Karen; Mellomila 39 B, 7018 Trondheim

Ølfarnes, Per; Vågshagen, 5582 Ølensvåg

Salen, Eivind; Strandgaten 204, 5004 Bergen

Sandvei, Geir; Ole Rølvaaes vei 28 B, 8021 Bodø

Schakenda, Jeanette A.; Liavegen, 2686 Lom

Skålvik, Astrid Marie; Blokk A 325, Løbergsveien 85, 5055 Bergen

Sørby, Simen Andre; Hansteens gate 9 A, 0253 Oslo

Steffensen, Kristian J.; Baarsrudveien 32, 3478 Nærnes

Strømme, Magne; Pallaneveien 29, 4700 Vennesla

Sve, Rannveig Noraberg; Radarveien 73, 1152 Oslo

Trondsen, Karoline; Magnus Lagabøters gate 13, 4010 Stavanger

Tveiten, Silje Stakland; Olav Trygvasons vei 6, 4633 Kristiansand S

Ursin, Bjarte; c/o Karstein Ursin, Seimskleiva 2, 5260 Indre Arna

Vågå, Silje; Drag, 7900 Rørvik

Vassbotn, Per; Kusslia, 6800 Førde

Wang, Bodil Synnøve; Traneveien 12, 8516 Narvik

Williams, Gary; 5 The Holmes, Erwood Nr Builth Welles, Powys, Wales, UK. LD2 3E

Aagenæs, Knut Harald; Myraveien 22, 4885 Grimstad

Aanesland, Ina; Skavikveien 21, 9300 Finnsnes



Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon om aktuelle tema og hendinger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i videregående skoler og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for vanlige fysikkstudenter. Artiklene i FFV skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket tekstbehandlingsprogram som er brukt. Under alle omstendigheter må redaksjonen kunne forandre teksten direkte.

ARTIKLER bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggstoff.

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artiklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturturen.

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Per Osland

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

e-post: per.osland@ift.uib.no

Visepresident:

Professor Åshild Fredriksen

Inst. for fysikk og teknologi, UiT

e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:

Professor Jon Otto Fossum

Institutt for fysikk, NTNU

Professor Håvard Helstrup

Høgskolen i Bergen

Professor Ulf R. Kristiansen

Inst. for elektronikk og telekom., NTNU

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. Trine Wiborg Hagen

Fysisk institutt, UiO,

Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo.

e-post: nfs@fys.uio.no

Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn

Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Stipendiat Marit Sandstad

Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia

Institutt for fysikk, UiT

Professor Per Chr. Hemmer

Institutt for fysikk, NTNU

Førstelektor Ellen K. Henriksen,

Fysisk institutt, UiO

Professor Bjarne Stugu

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonsadresse:

Fra Fysikkens Verden

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.

Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68

Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

e-post: oyvind.gron@iu.hio.no

e-post: marit.sandstad@astro.uio.no

e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær.
Årsabonnement 120 kr. (Student 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.