Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 2008
70. årgang

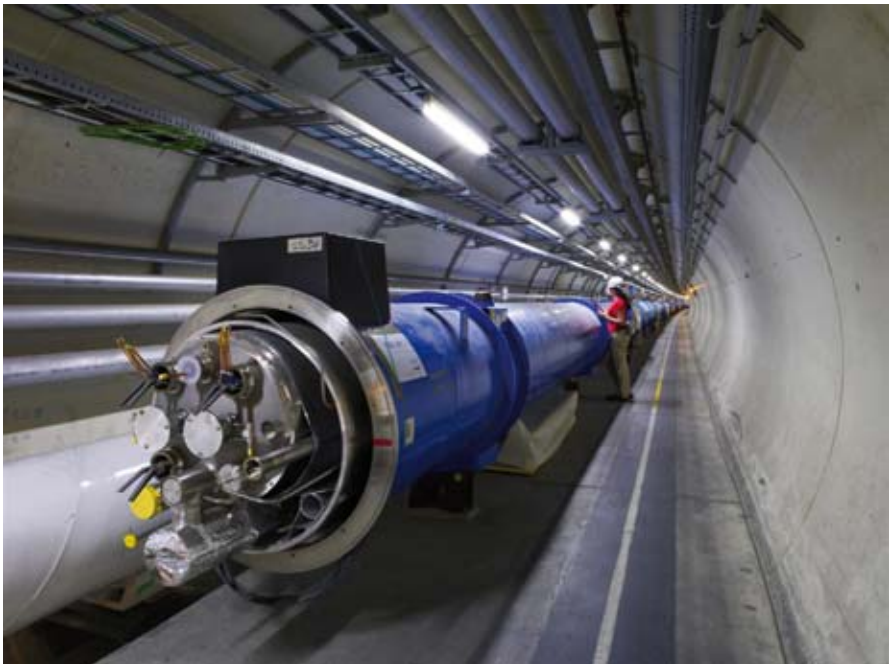
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øystein Elgarøy
Øyvind Grøn

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Bjørn H. Samset
Nobelprisen i fysikk 2008 116
Sven Oluf Sørensen:
Atombombespionene – Del I 120
Bugge, Grøn og Skjevling:
Hvordan oppsto materien?. 128
Fra Redaktørene 110
FFV Gratulerene. 110
Dag Rune Olsen
Jon Gjønnes
Hva skjer 111
Kavliprisen i nanovitenskap
Kavliprisen i astrtofysikk
Oppstart av LHC ved CERN
Fysikknytt 133
Grafén, meir enn ei skive grafitt
Supereigenskapar i materiale
Ny, lovende solcellekonstruksjon
Bokomtale 137
Egeland, Pedersen og Torstveit:
Lars Vegard
Nye Doktorer. 138
PhD Bjørn Askeland
Dr.scient. Thomas Bognø
PhD Martin A. Fernø
PhD Rolf Johannessen
PhD Ingrid Sundvor
PhD Eldrid Svåsand
PhD Marita Sørbø
Nytt fra NFS 142
Fysikermøtet 2009
Trim i FFV 143



LHC-akseleratoren ved CERN (copyright CERN)
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Nok et år går mot slutten, og en noenlunde nøktern oppsummering av året er at det har vært et år på det jevne, med noen høydepunkter og noen skuffelser.

Skuffelsene står som sedvanlig våre politikere for. Leser man statsbudsjettet på "riktig" måte, ser det ut til at det satses mer på forskning. Realiteten for universitetene er imidlertid nok et år med mindre penger å rutte med. Store tematiske satsinger er kanskje vel og bra, men det er trist at den frie grunnforskningen ser ut til å havne i bakleksa.

Rekrutteringen av unge mennesker til realfagene er stadig vekk en kilde til bekymring. Neste år er utpekt av FN til å være Det internasjonale astronomiåret, og burde være en gylden anledning til å vekke interessen for naturfagene blant landets skoleelever. En rekke tiltak og arrangementer er planlagt. Spesielt vil vi her nevne "Galileoskopet", et rimelig teleskop av kvalitet svarende til det Galileo brukte i 1609 til å oppdage, blant annet, fire av Jupiters måner. Teleskopet koster under hundrelappen, og målet er at alle skoler skal ha klassesett med slike. Vi håper at både private sponsorer og offentlige myndigheter bidrar til å realisere dette.

Et av lyspunktene i år var utdelingen av de første Kavliprisene i astrofysikk, nanovitenskap og neurovitenskap. Mannen bak prisene, Fred Kavli, setter med sitt store engasjement for grunnforskningen et eksempel til etterfølgelse. Disse prisene og arrangementene i tilknytning til dem, gir en flott anledning til å vise hvor spennende og viktige realfagene er. Årets arrangementer var vellykkede, og det er å håpe at disse prisene etter hvert får en større plass også i medienes bevissthet.

∞

Studér
fysikk!

FFV Gratulerer

Gullmedalje til Dag Rune Olsen

Professor Dag Rune Olsen er tildelt *The Klaas Breur Gold Medal* for sin forskning innen strålebehandling og kreft. Tildelingen skjedde 16. september ved Den 27. ESTRO-konferansen (European Society for Therapeutical Radiology and Oncology) i Göteborg. Prisforedraget hadde tittelen: *Adaptive radiation oncology based on molecular and functional imaging.* Klaas Breur-medaljen er den høyest rangerte pris for forskning innen strålebehandling og kreft i Europa. Den har vært delt ut 26 ganger tidligere. Dag Rune Olsen er den tredje nordiske forskeren som har mottatt medaljen.

Dag Rune Olsen er utdannet fra NTH i 1986, og arbeidet deretter som medisinsk fysiker ved Det Norske Radiumhospital. Han tok Dr.philos.-graden i 1999, og har siden 2004 vært forskningssjef for Avdeling for strålebiologi, Kreftklinikken, Rikshospitalet Radiumhospitalet HF. Siden 2000 har han vært professor II i medisinsk fysikk ved Fysisk institutt, UiO, tilknyttet Gruppen for biofysikk og medisinsk fysikk. Her har han hatt en sentral rolle i oppbygging og gjennomføring av et masterstudium innen medisinsk fysikk. Han underviser i stråleterapi og veileder en rekke MSc- og PhD-studenter innen dette fagområdet. Dag Rune er en meget aktiv og dynamisk forskningsleder, koordinator og forsker med et usedvanlig stort internasjonalt nettverk. Vi gratulerer!

Eirik Malinen og Einar Sagstuen

∞

Pris og medalje til Jon Gjønnes

For et par år siden tok *The International Union of Crystallography* (IUCr) initiativet til å opprette en pris, kalt *Gjønnes Medal*, for å markere den vitenskapelige innsatsen til professor emeritus Jon Gjønnes ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Prisen er nå blitt en realitet. Den vil bli utdelt hvert tredje år og skal gå til en forsker som en belønning for livslang innsats for elektronkrystallografi.

IUCr besluttet at den første av medaljene skulle tildeles Jon Gjønnes selv, for hans bidrag til elektrondiffraksjon og krystallografi. Prisen ble overrakt professor Jon Gjønnes på den internasjonale krystallografikonferansen i Osaka i Japan, i august i år. Disse krystallografikonferansene er store internasjonale møter med ca. 2000 deltagere.

I sin begrunnelse for å tildele den første gullmedaljen til personen som har gitt prisen navn, fremhever IUCr de vitenskapelige bidragene fra Jon Gjønnes for å bestemme krystallers symmetri ved hjelp av elektroner, hans bedrag til teori for dynamisk elektrondiffraksjon og hans arbeider for å forstå strukturen til intermetalliske faser og legeringer. Selv om Jon Gjønnes nå er pensjonist, har hans energi og entusiasme for forskning ikke avtatt med årene, og han spiller fremdeles en viktig rolle i etableringen av en ny teknikk for elektrondiffraksjon, den såkalte presesjonsteknikken som en kvantitativ metode for å løse krystallstrukturer.

Jon Gjønnes sine teoretiske studier av elektronspredning i krystaller har ført til nye metoder for å bestemme krystallers symmetri ved hjelp av konvergentstråle diffraksjon. I den internasjonale litteraturen innen feltet brukes bl.a. betegnelsen "Gjønnes–Moodie lines" (G-M linjer). Dette er trekk i elektrondiffraksjonsmønster som Gjønnes og medarbeidere har forutsagt og som nå brukes for å bestemme strukturen til svært små krystaller.

Gjønnes var ansatt ved Fysisk institutt, UiO, i mer enn 35 år og ble professor i 1982. I 1968 startet han et laboratorium for elektronmikroskopi ved instituttet og var leder av dette frem til 1988, bare avbrutt av forsknings opphold ved CSIRO i Melbourne, Australia, og flere perioder som gjesteprofessor ved Tohoku universitetet i Sendai, Japan, og ved Arizona State University i USA.

Ved siden av sin store innsats innen naturvitenskap og elektronkrystallografi og diffraksjon, har Jon Gjønnes også utfoldet et sterkt politisk engasjement. Han har hatt en rekke politiske verv innen Arbeiderpartiet, både kommunalt i Bærum og nasjonalt som boligpolitisk rådgiver. Ved Universitetet i Oslo har han bl.a. vært bestyrer av Fysisk institutt og har vært en av de drivende krefter innen utbyggingen av materialvitenskapen ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, opprettelsen av forskningsgruppen Strukturfysikk og Senter for materialforskning.

Elektronmikroskopimiljøet ved Strukturfysikkgruppen gratulerer Jon med en velfortjent pris!

Arne Olsen

∞

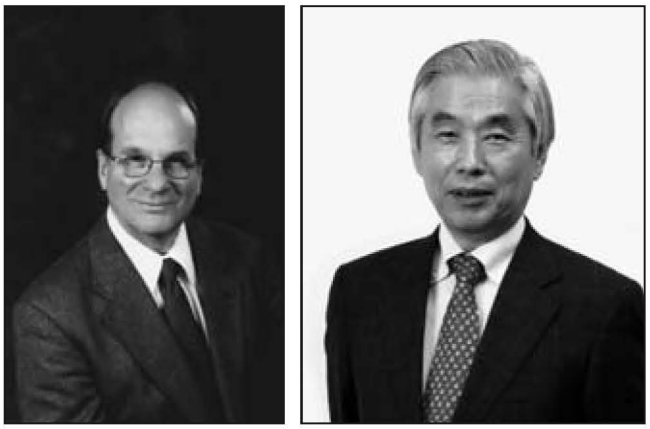
Hva skjer

Kavliprisen i nanovitenskap 2008

Kavliprisen i nanovitenskap 2008 ble tildelt
Louis E. Brus, *Columbia University, USA,*
og
Sumio Iijima, *Meijo University, Japan,*
for hver sin grensesprengende oppdagelse av kvanteprikker og karbon-nanorør. Disse oppdagelsene vil være viktige i fremtidens forskjellige anvendelser av nanovitenskap innenfor områder som energi, miljø, elektronikk, kjemi, kompositt materialer og biomedisin.

Bakgrunnen for Kavliprisen

Kavliprisen består av tre enkeltpriser og er knyttet til forskningsområdene astrofysikk, nanoviten-



Louis E. Brus og Sumio Iijima

skap og nevrovitenskap. Initiativet til prisen er tatt av norskamerikaneren *Fred Kavli.* Han bruker sin formue på å stimulere nysgjerrigdrevet naturvitenskaplig forskning. Prisene er finansiert og arrangert i et samarbeidsprosjekt mellom hans forskningsstiftelse *Kavli Foundation*, Den norske regjeringen representert ved Kunnskapsdepartementet og Det Norske Videnskaps-Akademi. Prisene skal deles ut hvert annet år til forskere som har gjort en særlig fremragende vitenskapelig innsats på sine respektive områder. Hver av prisene består av 1 million dollar, en medalje og et diplom. Det Norske Videnskaps-Akademi har det fulle ansvar for administrasjonen av prisarbeidet, slik at valget av prisvinnere skjer helt uavhengig av den økonomiske bidragsyter. Akademiet har opprettet tre internasjonalt sammensatte fagkomiteer bestående av de fremste forskere innenfor de respektive vitenskapsgrenene som prisene skal tildeles i. Fire av komitemedlemmene er nobelprisvinnere. Utvelgelsen av komitemedlemmene er skjedd i nært samarbeid med vitenskapsakademiene i USA, Kina, Frankrike, Storbritannia og Tyskland.

Kavliprisen har ikke bare til formål å ære den enkelte forsker, men også å gi anerkjennelse til grunnforskningsarbeid av den største betydning for menneskenes tilværelse, til å stimulere internasjonalt samarbeid mellom forskere og øke allmennhetens forståelse for forskningens betydning. Fred Kavli uttrykker det slik: "Grunnforskning er byggesteinene for samfunnets utvikling og bedre livskvalitet. Praktisk talt alt vi bruker i dagliglivet er forbedret eller utviklet gjennom grunnforskning. Næringslivet og politikerne har problemer med å støtte grunnforskning da det ofte er vanskelig å se nytteverdien, og det er en stor risiko for å mislykkes. Derfor mangler ofte pengene."

Generelt om nanovitenskap

Nanovitenskap er vitenskapen om ekstremt små ting. Det omfatter studier og manipulering av stoff på nanometerskalaen – en milliontedel av en millimeter, eller omtrent 100 000 ganger mindre enn tykkelsen på et menneskehår. Nanovitenskap er på mange måter ennå på "barnestadiet", men blir i vide kretser sett på å ha enorme potensialer for menneskehetens helse og velvære.

Når den elektroniske bevegelsen i et fast stoff er begrenset til null, eller én dimensjon på nanometerskalaen, kan de funksjonelle egenskapene bli endret dramatisk. Dette gjør nanostrukturer til gjenstand for både grunnleggende og praktisk interesse. På denne skalaen, som tilsvarer dimensjonen av noen få atomer, endrer kvanteeffektene seg og fører til uventede og teknisk interessante egenskaper. Blant de mange strukturene som er undersøkt de siste årtiene, har kvanteprikker og karbon-nanorør vist seg å være lovende kvantestrukturer i fysikk, kjemi og biologi, og blir utforsket i mange laboratorier over hele verden.

Fred Kavli holder tale om sine visjoner ved prisutdelingen i Oslo Konserthus 9. september 2008 (Foto Scanpix)

Kvanteprikker

Kjemikeren Louis E. Brus fra Columbia University i USA, gjorde en revolusjonerende oppdagelse for 25 år siden da han studerte de optiske egenskapene ved halvledere der atomene eller molekylene var blitt eksitert ved absorpsjon av lys. Brus laget vannbaserte suspensjoner av ørsmå halvlederpartikler, i motsetning til tradisjonelle halvledere som silisium, og la merke til at de fikk uvanlige egenskaper avhengig av størrelse og form. I samarbeid med kolleger fremstilte Brus mindre og mindre syntetiske partikler, og innen midten av 1980-årene var han blitt klar over at disse kolloidale halvledernanokrystallene, nå kalt kvanteprikker, kan vise seg å være svært anvendelige på forskjellige områder.

Som et resultat av pionerarbeidene til Brus, forskes det nå rundt hele verden på kvanteprikker som har en rekke interessante og potensielt nyttige egenskaper. Fargen på lyset de utstråler under UV-lys, varierer etter størrelsen. Dette kombinert med langtidsstabilitet, gjør kvanteprikkene ideelle til bruk som markører for å studere molekylær interaksjon og endringer i biologiske systemer.

Blant forskerne er det betydelig interesse på grunn av utviklingen den senere tiden med å binde kolloidale nanokrystaller til antistoffer som er målstyrt mot svulster, eller med å administrere medikamenter til målstyring mot, avbildning av og behandling av kreftceller. Arbeidet fokuseres i dag på å utforske kvanteprikkenes evne til "multipleksing" for å oppnå simultan deteksjon av flere kreftbiomarkører i blodprøver og kreftvevsbiopsier. Disse fremskrittene innenfor kvanteprikkteknologien har avdekket mye informasjon om molekylære prosesser i kreftceller. Andre bruker kvanteprikker til å utvikle datamaskindisplayer som er mer effektive og nøyaktige enn tradisjonelle modeller, samt avanserte, billige fotovoltaiske celler med økt fleksibilitet og effektivitet.

Karbon-nanorør

Fysikeren Sumio Iijima ved Meijo-universitetet i Japan, er viden kjent som den vitenskapsmannen som oppdaget karbon-nanorør. Disse strukturene og egenskapene ved dem var faktisk blitt studert før hans banebrytende publikasjon i *Nature* for 17 år siden, men hans arbeid utløste enestående interesse og videre forskning på dette området. Hans gjennombrudd kom 23. juni 1991 da han undersøkte pulverisert sot som var dannet i en lysbue mellom to karbonstaver.

Med sin store ekspertise i bruk av elektronmikroskoper, kunne han finne ut at karbonatomene dannet rør, omtrent som en opprullet hønsenetting, og hans detaljerte strukturanalyse av disse nanorørene bidro også til at han raskt ble klar over en rekke potensielle anvendelser. Nanorørene har således svært interessante mekaniske, elektriske og termiske egenskaper. De er mye sterkere enn stål, med bare en seksdel av vekten. Derfor benyttes de til forbedring av den mekaniske styrken i kompositt-materialer i alt fra dagligdagse ting som klær og sportsutstyr til byggematerialer som sement.

Nanorørenes elektriske og termiske egenskaper endres med diameteren, og er følsomme overfor måten nanorørene er formet på. Avhengig av den atomære strukturen, kan de ha halvlederegenskaper eller metalliske egenskaper. Derfor har de potensial til å brukes som elektroniske komponenter, som for eksempel dioder og transistorer, kabler, transparent og ledende film, elektroder for superkondensatorer samt feltemittere for displayer og sensorapplikasjoner. Funksjonsområdene for nanorør kan utvides ved å fylle dem med aktive atomer og molekyler for forskjellig fremtidig bruk.

Kavliprisen 2008 i større sammenheng

Nanovitenskap dreier seg om naturens egne byggesteiner. De biologiske systemene som omgir oss, er fulle av nanoskalasystemer og nanokomponenter. I evolusjonsprosessen har naturen i løpet av millioner av år utviklet tallrike løsninger for robusthet og tilpasning, blant annet avansert mobilitet og selvhelbredende mekanismer, svært følsomme sensorer, og komplekse informasjons- og kommunikasjonssystemer. Mange fremstående forskere mener at de presserende behovene vi står overfor innenfor energi, miljø, helse og teknologi, kan løses ved å lære av naturen. Brus og Iijima har utviklet prototype null- og endimensjonale byggekomponenter i nanoskala, som prikker og rør, på den kjemiske og fysiske arena. Begge var på leting etter, og fant, noe nytt på den lange veien mot å skape vår egen versjon av smarte biologiske løsninger.

Det kreves vitenskapsmenn som Brus og Iijima for å se og oppdage noe enkelt og å forstå betydningen av oppdagelsen. Dette er kjennemerket på nysgjerrigdrevet grunnforskning i Fred Kavlis ånd.

Referanser

1. Komiteens begrunnelse: *http://www.kavliprize.no/binfil/download.php?tid=27810*
2. R. Rossetti, S. Nakahara, og L.E. Brus (originalartikkel): *Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution.* J. Chemical Physics **79**, 1086 (1983)
3. Sumio Iijima (orginalartikkel): *Helical microtubules of graphitic carbon.* Nature **357**, 56 (1991)

Arne T. Skjeltorp
Institutt for Energiteknikk
og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Formann i Kavli priskomité for nanovitenskap.

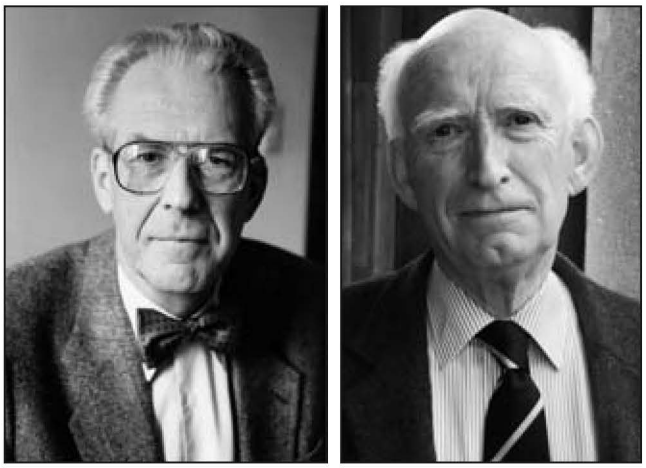
∞

Kavliprisen i astrofysikk 2008

Det Norske Videnskaps-Akademi, Kunnskapsdepartementet og Kavli Foundation har i fellesskap opprettet tre nye vitenskapelige priser innen astrofysikk, nanovitenskap og neurovitenskap som alle ble tildelt for første gang 9. september 2008. Prisvinnerne ble overrakt diplomer og medaljer av HKH kronprins Haakon.

Kavliprisen i astrofysikk 2008 ble tildelt

Maarten Schmidt, *professor emeritus, California Institute of Technology, USA,*
og
Donald Lynden-Bell, *professor emeritus, Institute of Astronomy, Cambridge University, UK,*
for deres svært betydningsfulle bidrag til forståelsen av kvasarer.



Maarten Schmidt og Donald Lynden-Bell

Radioastronomene oppdaget i årene like etter 1950 en rekke stjernelignende radiokilder. Disse ble kalt "quasi stellar radio sources" som i ettertid ble forkortet til *quasars* (kvasarer).

I 1963 fant Maarten Schmidt en nøkkel til studier av universets mest fjerntliggende områder ved at han lykkes å identifisere emisjonslinjene i det optiske spekteret til en "radiostjerne" med betegnelsen 3C273, som viste seg å være sterkt rødforskjøvet. Denne nye innsikten viste umiddelbart at 3C273 ikke kunne være en stjerne i vår egen galakse, men at den var et meget fjerntliggende objekt med ekstremt høy lysstyrke. Objekter som 3C273 kalles nå kvasarer. Schmidts banebrytende identifisering av spekteret til 3C273 kom etter viktige arbeider av radioastronomer som hadde påvist kvasarene ved deres radiostråling og gjort nøyaktige bestemmelser av deres posisjoner på himmelen. Schmidt videreførte sin oppdagelse ved å påvise mer fjerntliggende kvasarer enn 3C273, og han viste at det fantes langt flere kvasarer i universets barndom. Han utarbeidet også gode statistiske metoder for bestemmelser av kvasarenes lysstyrke og antallstetthet.

Den usedvanlig sterke strålingen fra kvasarene måtte kreve en spesielt kraftig energikilde. I årene etter at Maarten Schmidt gjorde sin oppdagelse ble det fremsatt forskjellige hypoteser om hva som kunne få kvasarene til å stråle så sterkt. Det store gjennombruddet i vår teoretiske forståelse av kvasarene kom med Donald Lynden-Bells studier i 1969, som viste at kvasarene får sin strålingsenergi ved at materie faller inn mot et gigantisk sort hull. Selv om andre hadde foreslått at kvasarene ble drevet ved innfall av materie mot sorte hull, argumenterte Lynden-Bell overbevisende for at lystyrken hovedsakelig skyldtes friksjonsvarme i en roterende gasskive som dannes av den innfallende materien (en såkalt akkresjonsskive). Han utviklet en forenklet modell for deres strålingsspektrum, og foreslo at disse sorte hullene befant seg i sentrum av galakser. Han pekte også på at mange nærliggende galakser antakelig har sorte hull i sitt sentrum, men som ikke stråler lenger ("døde kvasarer"). Lynden-Bell påpekte for øvrig at disse vil kunne påvises ved sin gravitasjonelle innvirkning på nærliggende stjernes bevegelse, hvilket er senere blitt bekreftet ved observasjoner.

Maarten Schmidts og Donald Lynden-Bells banebrytende arbeid har i meget stor grad utvidet skalaen for det observerbare univers, og har ført til den oppfatning at gigantiske sorte hull har spilt en nøkkelrolle ved dannelsen av galaksene.

Oddbjørn Engvold
Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO.
Formann i Kavli priskomité for astrofysikk.

∞

Oppstart av LHC, verdens største partikkelakselerator

Den 10. september 2008 ble CERNs nye partikkelakselerator, Large Hadron Collider (LHC), startet. Klokka 10:28 ble protoner for første gang sendt rundt i den 27 km lange superledende akseleratorringen (se forsidefiguren) til stor applaus fra forskere i hele verden. Få timer senere ble protoner også sendt rundt i den andre strålebanen, og LHC var i gang. Etter mer enn 20 år med forskning og utvikling av partikkelakseleratorer og detektorer, var dette en milepel og et stort skritt videre.

LHC-akseleratoren består av to strålerør som akselererer protoner (eller ioner) i hver sin retning rundt i ringen. På fire steder vil protonene kollidere med 14 TeV massesenterenergi og en luminositet på 10^{34} cm^{2}s^{-1}. Dette tilsvarer en protonstråle i hvert rør i form av bunter med 10^{11} protoner i en avstand på 7,5 m fra hverandre, som kolliderer hvert 25 ns.[1] Dette betyr en markant oppgradering i forhold til dagens akselerator, Tevatron i USA, hvor protoner og antiprotoner kolliderer med 1,96 TeV massesenterenergi og en luminositet på rundt $3 \cdot 10^{32}$ cm^{-2}s^{-1}.[2]

Byggingen av LHC har vært en lang prosess fra planleggingen startet offisielt i 1984. I slutten av juli i år var alle de åtte sektorene av LHC kjølt ned med superflytende helium til operasjonstemperaturen på 1,9 K. Etter dette er de superledende magnetene blitt testet både enkeltvis og sammen. Totalt består LHC av 9600 superledende magneter. I august ble de første protonbuntene sent inn i LHC fra Super-Proton Synchrotron (SPS), hvor protonene blir akselerert til 450 GeV, som test på synkroniseringen mellom de to akseleratorene.

Norske forskningsgrupper ved UiB og UiO, har vært involvert i to av disse eksperimentene, ATLAS[3] og ALICE[4], gjennom hele konstruksjonen og installasjonsprosessen. ALICE vil primært studere kvark-gluonplasma slik det oppstod like etter verdens begynnelse, mens ATLAS søker etter en lang rekke med fenomener, blant annet Higgspartikkelen og supersymmetriske partikler. Før oppstarten av LHC har en brukt kosmiske stråler til kalibrering, opplinjering og datataking ved ATLAS. Etter oppstarten er data fra protonstrålen blitt analysert. Noen kollisjoner ble også observert da strålen ble rettet mot kollimatorer i nærheten av detektorene, noe som skapte en skur av partikler gjennom eksperimentene.

Mye kunne gått galt 10. september, men et uhell skjedde først ti dager senere da en feil i en elektrisk kontakt mellom to magneter gjorde at man fikk mekaniske skader og utslipp av helium fra den kalde magnetmassen inn i tunellen. Rundt 5 kvadrupoler og 24 dipoler trenger reparasjon, og andre må bli rengjort og testet. Reparasjon av magnetene startet umiddelbart, og en ny LHC-start er forventet i 2009. Det jobbes hardt med å forbedre detektorene både teknisk og analytisk for å kunne være klar til å lete etter ny fysikk i 2009.

Tre uker etter oppstarten feiret det verdensomspennende "LHC data Grid" sin egen start med den første analysen av data fra LHC. Mer enn 15 millioner gigabytes av data må analyseres hvert år når LHC kommer i gang. For å klare dette kombinerer Grid IT-kraft fra mer enn 140 datasentre i 33 land. Både UiO og UiB er med som Grid-sentre, samt med forskningsgrupper for analyse av data. I tillegg til dette jobber norske forskere også med å utvikle en ny generasjon med detektorer for framtidig bruk, og med å overføre teknologi fra CERN til andre områder hvor den kan være til nytte.

Først og fremst er starten av LHC en stor prestasjon når det gjelder fysikk, forskning og teknologisk utvikling. I tillegg har interessen for forskning i forbindelse med LHC-starten vært overveldende. Blant annet var 300 journalister fra hele verden samlet på CERN for å følge oppstarten av LHC, 2000 TV-overføringer ble registrert og 100 millioner treff på CERN sine internettsider. Det ser ut til at selv i økonomisk vanskelige tider står naturvitenskapelig forskning i fokus som aldri før.

Referanser

1. Lyndon Evans and Philip Bryant (eds): *LHC Machine.* J. Instrumentation, **3,** S08001 (2008)
2. Tevatrons internettsider: *http://www-bdnew.fnal.gov/tevatron/*
3. The ATLAS collaboration: *The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider.* J. Instrumentation, **3,** S08003 (2008)
4. The ALICE collaboration: *The ALICE experiment at the CERN LHC.* J. Instrumentation, **3,** S08002 (2008)

H. Sandaker
Institutt for fysikk og teknologi,
Universitet i Bergen.

∞

Nobelprisen i fysikk 2008: Brutte symmetrier og små partikler

Bjørn H. Samset *

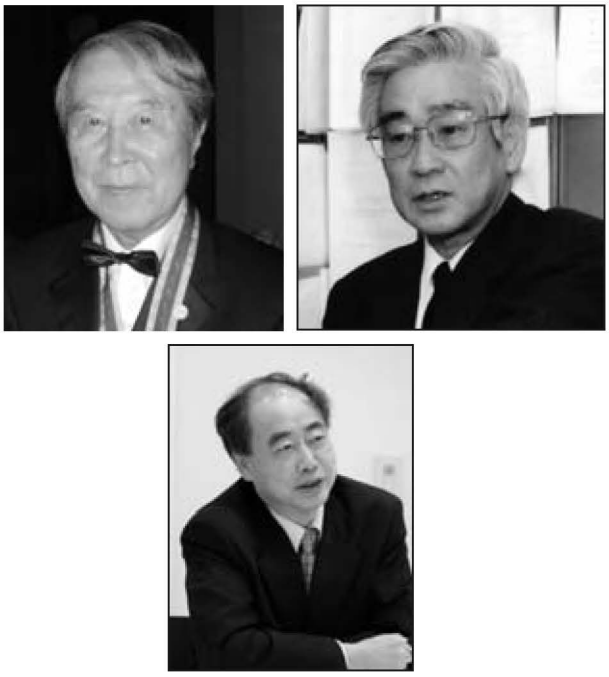
Nobelprisen i fysikk 2008 gikk til Yoichiro Nambu, professor emeritus ved Universitetet i Chicago, USA, "for oppdagelsen av mekanismen for spontant symmetribrudd i subatomisk fysikk", og til Makoto Kobayashi, professor emeritus ved KEK, Japan, og Toshihide Maskawa, professor emeritus ved Universitetet i Kyoto, Japan, for "oppdagelsen av opprinnelsen for den brutte symmetrien som forutsier eksistensen av minst tre kvarkfamilier i naturen.

Prisen er vel fortjent, og hedrer viktige fremskritt innen forståelsen av naturens minste byggestener elementærpartiklene. Men hva er egentlig et spontant symmetribrudd i subatomær fysikk, og hvorfor er det viktig med tre kvarkfamilier? I denne artikkelen ser vi på bakgrunnen for årets Nobelpris i fysikk, og forteller litt om de tre vinnerne.

Partikler, standardmodell og symmetrier

Symmetrier er veldig viktige i fysikken. Vi gjør uten å tenke over det mange antakelser om symmetri i dagliglivet: Det har ingenting å si om du leser denne artikkelen på kontoret eller i stua (translasjonssymmetri), om du leser den med hodet mot eller vekk fra inngangsdøren (rotasjonssymmetri), eller om du leser den i dag eller i morgen (tidssymmetri). Dersom vi skal beskrive naturen med matematiske lover, så er det viktig at disse tre, og eventuelle andre aktuelle symmetrier, er med i ligningene. Newtons lover har for eksempel alle de tre nevnte symmetriene i seg.

* Fysisk institutt, Universitet i Oslo



Yoichiro Nambu, Toshihide Maskawa Makoto Kobayashi

Symmetrier er også viktige av en annen grunn: Emmy Noether viste i 1918 at når naturen har en symmetri, så finnes det også en bevaringslov.[1] At vi har symmetrier for translasjon, posisjon og tid, kan, ved hjelp av Noeters teorem, vises å bety at naturen bevarer henholdsvis bevegelsesmengde, spinn og energi.

Partikkelfysikk er fagfeltet som handler om naturens aller minste byggestener. Disse er så små at vi ikke kan se dem direkte, og de oppfører seg annerledes enn vi er vant til at store ting gjør. Den eneste måten vi kan forstå dem på, er å prøve å bygge oss en god modell av den mikroskopiske verden. En slik modell må fortelle oss hvilke partikler som finnes i naturen, hvordan de reagerer med hverandre, og dessuten hvilke symmetrier og bevaringer vi forventer i naturen.

Den modellen vi bruker i dag kalles Standardmodellen for partikkelfysikk – blant venner kalt bare SM – og ble skrevet ned i sin nåværende form på 1970-tallet. Utviklingen av den har imidlertid foregått helt siden starten av 1900-tallet, og begynte egentlig med at Henri Poincaré oppdaget at noen av symmetriene til Maxwells ligninger, de såkalte Lorentz-transformasjonene, kunne beskrives som en matematisk gruppe. Dermed ble fysikk, feltteorier og matematisk gruppeteori knyttet sammen, og et kraftig rammeverk for å beskrive elementærpartiklene var oppdaget.

I tiårene som fulgte ble kvantemekanikken utviklet, og her ble feltligninger og gruppeteori sentrale verktøy. Man kom frem til at en modell for naturens minste byggestener bør følge både kvantemekanikken og spesiell relativitetsteori, og disse ble kombinert i det som ble hetende relativistisk kvantefeltteori. I tillegg til de kontinuerlige Lorentz-symmetriene ble det vist at naturen også kan oppfylle diskrete symmetrier. De tre viktigste eksemplene er paritet (P), eller speilsymmetri, ladningskonjugering (C), og tidsreversering (T). Det ble også for eksempel vist at den kombinerte symmetrien CPT vil være bevart for alle relativistiske kvantefeltteorier. Det vil si at hvis vi tar vår verden og ser på den i et speil (P) der stoff er blitt til antistoff (C) og tiden (T) går baklengs, så vil vi ikke se noen forskjell.

Brutte symmetrier og verdens eksistens

Symmetrier er altså viktige i naturen, men minst like viktig er det når en symmetri brytes. Det er ofte slik i naturen at fysikkens lover har en symmetri i seg, men at grunntilstanden som ligningene beskriver allikevel ikke har denne symmetrien. Dette kalles et spontant symmetribrudd. Et ofte brukt eksempel på dette fenomenet er en blyant som står og balanserer på spissen. Ligningene sier at den er i en ustabil likevekt, og det er ingenting som forteller hvilken vei den vil falle. Når den så faller, så velger den allikevel en eller annen retning, og symmetrien blir brutt. Et annet eksempel er et middagsbord der det ligger en serviett midt mellom hver tallerken. Skal du ta servietten til høyre eller venstre? Hva som velges betyr ingenting så lenge alle velger det samme, men noen må begynne og slik bryte symmetrien.

Men hvordan beskriver man spontane symmetribrudd matematisk? Og er dette relevant i Standardmodellen? Et hint om at symmetribrudd kan være interessante her får vi fra det faktum at vi i det hele tatt er her. Dersom C, P og T er bevart i naturen, så burde det etter Big Bang ha blitt laget like mye materie som antimaterie. Når en partikkel og dens antipartikkel møtes vil de som kjent annihilere, og i løpet av universets 13,7 milliarder år burde dette ha skjedd med stort sett alt stoff. Allikevel er vi her, og ser ikke snurten av antimaterie rundt oss. Kan det være at naturen ikke er helt symmetrisk allikevel, slik at den i noen tilfeller foretrekker materie fremfor antimaterie? Kan vi i så fall få dette inn i SM?

Nambu: Å bryte symmetrier i en kvantefeltteori

Yoichiro Nambu ble født i Tokyo i Japan, i 1927. Han studerte fysikk i hjembyen, og ble professor ved Universitetet i Osaka allerede som 29-åring. I 1952 ble han invitert til Princeton i USA, og dro videre derfra til et professorat i Chicago. Han er i dag amerikansk statsborger, og er fortsatt aktiv ved Universitetet i Chicago som emeritus.

På 50-tallet jobbet Nambu med matematikken i feltteorier, og hadde interesser innen både partikkelfysikk og superledning. Forståelsen av superledning gjorde et hopp i 1956 da Bardeen, Cooper og Shcrieffer forsto at overgangen til superledning var en slags faseovergang der to og to elektroner bandt seg sammen på en spesiell måte.[2] Nambu ville forsøke å beskrive denne tilstanden ved hjelp av feltligninger, og klarte dette ved hjelp av andre resultater som kom på samme tid. Han viste at han kunne beskrive overgangen fra superledende til ikke-superledende faser som et spontant symmetribrudd, uten å bryte noen av de andre grunnleggende symmetriene i teorien.

Det Nambu i år fikk nobelprisen for, var hva han så gjorde med denne innsikten. Siden han her hadde et eksempel på spontant symmetribrudd i en feltteori, kunne disse kanskje også forekomme i de relativistiske kvantefeltteoriene som beskriver elementærpartiklene? Han utviklet den nødvendige matematikken, og publiserte den i 1961 sammen med italieneren Giovanni Jona Lasinio.[3,4] Det viste seg raskt at dette var en veldig fruktbar tanke for forståelsen av partikkelfysikk, og særlig for forståelsen av hvorfor partikler har masse. Massen til partikler som er satt sammen av kvarker, er mye

større enn summen av kvarkmassene. Nambus arbeid gjør at dette kan forståes som en konsekvens av et spontant symmetribrudd innen sterk kjernekraft.

Nambu har også gitt mange andre viktige bidrag til utviklingen av SM og moderne teoretisk fysikk. Han regnes som en av fedrene til strengteori, og var også en av de første til å foreslå det som i dag kalles fargeladning innen kvante-kromodynamikk. Men årets nobelpris hedret altså primært det pionerarbeid han gjorde ved å beskrive fenomenet spontant symmetribrudd i en generell kvantefeltteori.

CP – en brutt symmetri

Partikkelfysikken kom med en stor overraskelse i 1956. Det var et kjent problem at partiklene θ og τ, som var godt studert, så ut til å være helt like – bortsett fra at de henfalt til tilstander med ulik paritet. For å holde på bevaring av P-symmetri måtte θ og τ tolkes som ulike partikler, til tross for likhetene. Men så foreslo teoretikerene Tsung Dao Lee og Chen Ning Yang at den svake kjernekraften kanskje ikke bevarte P-symmetri allikevel,[5] og de hadde ideer til eksperimenter som kunne teste dette. Eksperimentene ble raskt utført, og innen et par måneder var det etablert at naturen av og til bryter paritet. θ og τ ble forstått som samme partikkel som kan henfalle på to måter, partikkelen vi i dag kaller kaonet (K). Vi kan si at naturen i noen tilfeller vet forskjell på høyre og venstre. Lee og Yang antydet også at C- symmetri kunne være brutt, altså at en reaksjon med en partikkel med positiv ladning ikke alltid er lik den tilsvarende reaksjonen med negativ ladning.

Dette var et plagsomt resultat, siden C- og P-symmetri var en forutsetning for mange av ideene i datidens partikkelfysikk. Men russeren Lev Landau "reddet" teoriene ved å påpeke at selv om C og P er brutt, så kan den kombinerte symmetrien CP fortsatt være bevart. Dette holdt helt til 1964, da James Cronin, Val Fitch og kolleger oppdaget at det allerede nevnte kaonet kunne henfalle på enda flere uventede måter.[7] Disse henfallene brøt også CP-symmetri, og det ble tydelig at noe var galt med forståelsen av partiklene. På den annen side påpekte Andrej Sakharov, senere vinner av Nobels fredspris, i 1967 at et CP-brudd kan være nettopp en av tingene vi trenger for å forklare at materie vant over antimaterie i det tidlige univers.[8] Mange forsøk ble gjort på å putte CP-brudd inn i datidens kvantefeltteorier, men gjennombruddet skulle ikke komme for i 1973.

Kobayashi og Maskawa: CP-brudd, seks kvarker, tre familier

Makoto Kobayashi ble født i Japan i 1941. Han ble ansatt som forsker ved Universitetet i Kyoto i 1972, der han gjorde arbeidene som han senere er blitt mest berømt for. Karriren hans tok ham videre til KEK, Japans største laboratorium for høyenergifysikk, som han etter hvert ble direktor for. Han er i dag professor emeritus ved KEK.

Toshihide Maskawa ble født i Aichi i Japan i 1940, og studerte fysikk ved Universitetet i Nagoya. I likhet med Kobayashi ble han etter hvert ansatt ved Universitetet i Kyoto, og han er i dag professor emeritus ved samme institusjon.

Rundt 1970 samarbeidet Kobayashi og Maskawa ved Universitetet i Kyoto. De var interessert i CP-brudd, og kom med følgende revolusjonerende idé: I 1970 var kvarkmodellen kommet på banen, og man kjente til tre kvarker – opp, ned og sær. Man visste også at for å få CP-brudd inn i kvantefeltteorier trengte man noen komplekse parametre. En modell med tre kvarker har ingen plass for slike komplekse tall. Men hva om teorien utvides, slik at den blir seende slik ut:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_1 \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

Her er u, d og s de kjente kvarkene, og $q_{1,2,3}$ er hypotetiske nye kvarker. Naturen må altså ha minst seks kvarker, organisert i minst tre familier. I så fall kan man få inn ledd i kvantefeltteoriene der d, s og q_3 blandes sammen, og leddene kan rent matematisk ha en såkalt fri fase som kan være kompleks. De jobbet videre på et resultat som var blitt gjort kjent av italieneren Nicola Cabibbo, der det ble vist at d og s kan ha en slik blanding. Totalen ble kjent som Cabibbo Kobayashi–Maskawa-matrisen, og er en standard ingrediens i all innledende partikkelfysikk i dag.

Kobayashi og Maskawas publikasjon[9] kom i 1973. Muligheten for en fjerde kvark var alt blitt antydet i 1970, for å forklare et annet problem man hadde med den svake kjernekraften. c-kvarken ble funnet i 1974, og kunne identifiseres med q_1. Deretter fant man tegn på at kvarkenes slektninger, leptonene, også kom i tre "familier". Alt dette styrket Kobayashi og Maskawas antakelser; og da b-kvarken ble funnet i 1977 og passet utmerket inn som q_2, var bildet blitt veldig klart. Kobayashi og Maskawa hadde forutsagt nye kvarker, og disse var senere

blitt funnet. At t-kvarken så til slutt ble funnet i 1994 ble en fantastisk seier for ideene bak kvantefeltteori, symmetrier og symmetribrudd i naturen. Det banet også vei for årets nobelpris i fysikk til nett opp Kobayashi og Maskawa.

Standardmodellen nå og fremover

Dagens forståelse av elementærpartiklene og hvordan de oppfører seg, er altså samlet i Standardmodel len, formulert som en relativistisk kvantefeltteori. Nambu, Kobayashi og Maskawa føyer seg til rekken av fremragende fysikere som har fått en nobelpris på bakgrunn av arbeid gjort med nettopp SM. Men er den ferdig? Er dagens forståelse av partikler og krefter endelig? Nei, absolutt ikke! Her er det rom for både revolusjoner og nye nobelpriser i fremtiden.

Raskt etter at Nambu publisere sine resultater i 1960, kom flere andre på banen og jobbet videre med mekanismer for å gi masse til partiklene i teorien. Den mest kjente av disse er Peter Higgs, som er far til en variant av spontant symmetribrudd som til slutt ble brukt i forståelsen av elektrosvak teori – en forening av elektromagnetisme og svak kjernekraft. Dette symmetribruddet forutsier en ny partikkel, Higgs-bosonet, som enda ikke er funnet. Å lete etter Higgs-bosonet er en av de første oppgavene som fysikerene ved LHC, den nye partikkelakseleratoren ved CERN i Sveits, vil gå i gang med.

Kosmologene forteller oss også at det finnes store mengder av såkalt "mørk materie" rundt omkring i universet. Vi vet ikke hva denne mørke materien består av, men vi kan avlede nok om dens egenskaper til å si at den ikke befinner seg i dagens Standardmodell. Det finnes med andre ord sannsynligvis enda flere partikler der ute som vi enda ikke har oppdaget, og som må bakes inn i modellen vår. Nok en grunn til å ønske oss flere nye partikler er at selv om CP-bruddet beskrevet ovenfor, hjelper på forståelsen av hvorfor materie har vunnet over antimaterie, så later det til at det ikke er nok. Det trengs ytterligere CP-brudd hos andre partikler, partikler som muligens bare eksisterte like etter Big Bang, for å forklare alt vi ser rundt oss i dag.

Standardmodellen er altså ikke ferdig, selv om den er en fenomenalt suksessrik teori. Hva som oppdages videre må tiden få vise, men det vil uansett måtte komme på toppen av de oppdagelsene Nambu, Kobayashi og Maskawa har gjort.

Lesere som er interesserte i å vite mer om emnet anbefales å lese Nobelkomitens vitenskapelige redigjorelse for prisen.[10] Der finnes også en mer fullstendig referanseliste enn den som er gitt i denne artikkelen.

Referanser

1. Emmy Noether: *Invariante variationsprobleme.* Nachr. d. König. Gesellschaft d. Wis. zu Göttingen, 235 (1918)
2. John Bardeen, L.N. Cooper, and J.R. Schrieffer: *Theory of superconductivity.* Phys. Rev., **108,** 1175–1204 (1957)
3. Yoichiro Nambu and G. Jona-Lasinio: *Dynamical modal of elementary particles based on an analogy with superconductivity, I.* Phys. Rev., **122,** 345–358 (1961)
4. Yoichiro Nambu and G. Jona-Lasinio: *Dynamical modal of elementary particles based on an analogy with superconductivity, II.* Phys. Rev., **124,** 246–254 (1961)
5. T.D. Lee and Chen-Ning Yang: *Question of Parity Conservation in Weak Interactions.* Phys. Rev., **104** 254 258 (1956)
6. L.D. Landau: *On the conservation laws for weak interactions.* Nucl. Phys., **3,** 127–131 (1957)
7. J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch, and R. Turlay: *Evidence for the 2 pi Decay of the k(2)0 Meson.* Phys. Rev. Lett., **13,** 138–140 (1964)
8. A.D. Sakharov: *Violation of CP Invariance, c Asymmetry, and Baryon Asymmetry of the Universe.* Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz., **5,** 32–35 (1967)
9. Makoto Kobayashi and Toshihide Maskawa: *CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction.* Prog. Theor. Phys., **49,** 652–657 (1973)
10. Broken symmetries: *http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/sci.html* (2008)

∞

Atombombespionene – Del I

Sven Oluf Sørensen *

Gjennom hele historien har spionasje spilt en sentral rolle i spenningsfeltet mellom nasjoner. Med den høyteknologiske utviklingen av våpnene i moderne tid er spionasje og etterretning også blitt betydelig mer sofistikert. I det følgende skal vi skissere et begrenset, men ikke desto mindre politisk og psykologisk interessant aspekt av moderne historie og atomforskning. Det er den internasjonale spionasjevirksomhet som var rettet mot de angloamerikanske atombombeprojektene under den annen verdenskrig og i de første årene efter freden i 1945.

Utvikling av en atombombe

For å kunne redegjøre for den atombombespionasje som fant sted i Europa, Amerika og Sovjetunionen i tidsrummet 1939-1950, er det først nødvendig å beskrive den arena hvor dette drama utfoldet seg. Tysklands atombombeprosjekt er beskrevet i FFV tidligere.[1,2]

Uranfisjon

Historien startet i desember 1938 ved Keiser Wilhelm instituttet for kjemi i Berlin, med Otto Hahn og Fritz Strassmanns oppdagelse av uranfisjon.[3]

I årene efter Hitlers maktovertagelse i Tyskland i 1933, flyktet et betydelig antall tyske og østerrikske fysikere til England og Amerika. Efter oppdagelsen av uranfisjonen var fysikerne i England, Frankrike, USA og Russland opptatt av mulighetene for å konstruere en bombe basert på denne prosessen. Men fremfor alt var de fylt av frykt for at Nazi-Tyskland skulle klare å produsere en atombombe. Men det som i første rekke engasjerte de engelske fysikerne våren 1939, og enda sterkere efter krigsutbruddet i september 1939, var radar. Det viste seg å være et riktig valg under "Battle of Britain" sommeren og høsten 1940.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Denne prioritering førte til et paradoksalt forhold. Immigrantfysikerne i England var i 1940 og 1941 fremdeles klassifisert som "enemy alien" og fikk derfor ikke tilgang til den topphemmelige radarforskningen. De måtte holde seg til lavprioriterte virksomheter. Til denne kategorien hørte blant annet kjerneforskningen. Men immigrantfysikerne var spesielt motiverte for å undersøke muligheten for å konstruere en atombombe. De begynte allerede i 1939 teoretiske beregninger og eksperimenter med det formålet for øye.

Kritisk masse

Sommeren 1939 forsøkte Rudolf Peierls og Otto Frisch i Birmingham å beregne den "kritiske massen" for en bombe basert på rent uran, U(235). Franske fysikere hadde forsøkt det samme i Paris, og var kommet til at massen måtte være flere tonn. Tyskerne hadde også gjort noen meget løse overslag og var kommet til verdier på omkring 50 tonn. Det sies at disse masseverdiene dempet tyskernes interesse for å forsøke å konstruere en bombe, da å rendyrke U(235) i slike mengder var helt urealistisk.

Høsten 1939 begynte oppdageren av nøytronet, James Chadwick, en rekke eksperimenter i Liverpool med den første syklotronen som var bygget i England. Formålet var å måle en rekke kjernefysiske parametere som f.eks. forskjellige fisjonsvirkningstverrsnitt ved bombardement av uran med nøytroner. Ved å benytte disse data kunne Frisch og Peierls beregne den kritiske massen av U(235) til bare å være 5–10 kg. Dette resultatet virket oppmuntrende for det engelske atombombeprojektet.

"Tube alloys"

I april 1940 ble det i England dannet en hemmelig komité med kodenavnet MAUD. Den ble underlagt "Ministry of Aircraft Production" med det formål å undersøke om det var mulig å konstruere en atombombe. I 1940 leverte Peierls og Frisch et memorandum til MAUD-komiteen med tittelen: "On the Construction of a 'Super Bomb' based on a Nuclear

Chain Reaction in Uranium". Chadwick presenterte dette memorandumet for et panel i regjeringens "Scientific Advisery Commitee". Dette aksepterte MAUD-komiteens anbefalinger, men uttalte at en reaktor ikke kunne bidra til krigføringen. Derimot ble et bombeprosjekt meget høyt prioritert.

Som et resultat av dette ble det i oktober 1941 i London, dannet et nytt direktorat, "Tube Alloys", som skulle koordinere alle britiske bombeprosjektene. På dette tidspunktet var utveksling av informasjon med de amerikanske kjernefysikerne ansett som meget viktig. Kopier av MAUD-rapportene ble sendt over til Amerika, og på det første møtet i "Tube Alloys" var to amerikanske fysikere fra Columbia University, George Pegram og oppdageren av tungtvannet, Harold Urey, til stede. Under dette møtet sa Chadwick: "I wish I could tell you that the bomb is not going to work, but I am 90 percent certain it will."

Manhattanprosjektet

I slutten av 1942 begynte relasjonene mellom de britiske og de amerikanske fysikerne å bli mer problematiske. USA hadde da startet sin "all out effort" for konstruksjon av en atombombe. Formelt ble dette ledet av "Army Corps of Engineers" med dekknavnet "Manhattan District", under ledelse av general Leslie Groves. "Tube Alloys" fortsatte sin virksomhet, men det var usikkert om isotopseparasjon av uran i full skala skulle drives i England under landets vanskelige forhold. Samarbeidet om et atombombeprojekt mellom England og USA ble praktisk talt brakt til opphør inntil Quebec Conference i august 1943 mellom Churchill og Roosevelt, hvor det ble enighet om å gjenoppta forbindelsen.

Det ble nu bestemt at alle de "Tube Alloys"vitenskapsmennene som kunne gi et bidrag til Manhattanprojektet skulle overføres til dette. Det betød at det britiske arbeidet skulle bli avbrutt med unntagelse av noen få laboratorier i England som hadde utstyr som kunne løse essensielle problemer for amerikanerne. Det var en viss reservasjon hos engelskmennene for dette arrangementet, da de regnet som sikkert at britene efter krigen ville utvikle sin egne atomindustri. Men de innså at for å vinne krigen var det best å akseptere de amerikanske kravene. En "Combined Policy Committee" representerende USA, England og Canada, ble satt opp.

Konstruksjonen av den angloamerikanske atombomben som i august 1945 førte til bombingen av Hiroshima og Nagasaki, er i store trekk den følgende:

Den 2. desember 1942 lykkedes Fermi og hans medarbeidere i Chicago å konstruere historiens første selvregulerende, "kritiske" uranreaktor med grafitt som moderator. Manhattanprojektet fikk nu en bevilgning på 2 milliarder dollar og engasjerte til sammen ca. 120 000 personer. Gigantiske fabrikkanlegg ble etablert for å produsere materialer til en atombombe. En sentral administrativ leder av projektene var "Director of the Office of Scientific Research and Development", dr. Vannevar Bush.

Forberedende studier av elektromagnetisk massespektro grafisk separasjon av uranisotoper ble ut ført ved universitetene i Berkeley og Princeton. Arbeider ved Columbia University med separasjon av isotoper ved gassdiffusjon begynte i 1940, og i slutten av 1942 var man klar for "large-scale" separasjon av U(235) med denne metoden, og et anlegg ble bygget ved Clinton Engineer Works i Tennessee.

Sommeren 1944 ble det bygget et "thermal diffusion" separasjonsanlegg for å forsyne det elektromagnetiske separasjonsanlegget med anriket uran. I januar 1943 ble det bestemt at et større anlegg for produksjon av plutonium skulle bygges av Du Pont Company ved Columbia River ved Hanford, i staten Washington. Anlegget ble kalt "Hanford Engineer Works".

Los Alamos

Sommeren 1942 hadde J. Robert Oppenheimer ved University of California i Berkeley, samlet sammen en gruppe av Amerikas beste fysikere for å diskutere teorien for en atombombe og koordinere den eksperimentelle virksomheten. Det ble besluttet å bygge et helt nytt laboratorium på et isolert område i USA for å unngå unødvendig kontakt med den ytre verden. I november 1942 fant man et egnet sted, Los Alamos, i ørkenen i New Mexico, ca. 50 km fra Santa Fe. I mars 1943 var laboratoriet ferdig og ble fylt med en rekke av verdens beste teoretiske fysikere og eksperimentatorer. Formålet var å planlegge og å bygge en uran- og en plutoniumbombe. Videre ble målinger utført av kjernefysiske parametere til bruk for konstruksjon av bombene.

Det var en enorm oppgave å samle sammen den nødvendige apparatur, maskineri og det instrumentelle utstyr. Man skaffet en syklotron fra Harvard, to Van de Graaff-generatorer fra Wisconsin og et Cockcroft-Walton høyvoltanlegg fra Illinois. I årene 1943–1946 var titusener av personer engasjert i Los Alamos, derav mange nobelpristagere. Direktøren for Los Alamos var Oppenheimer, og lederen for den teoretiske avdelingen var den tyske im-

migrantfysikeren Hans Bethe.

De første atombombene

Den 16. juli 1945 ble den første atombomben basert på implosjon av plutonium, testet ved Alamogordo i ørkenen i New Mexico (Trinity-testen). Sprengkraften svarte til 20 000 tonn TNT (trinitrotoulen). Bombene som ble sluppet over Hiroshima (U235, 6. august 1945) og Nagasaki (plutonium, 9. august 1945) hadde sprengkraft av samme størrelsesorden.[4]

Los Alamos ble selve "hjernen" i Manhattanprosjektet. Det sier seg selv at dette kjempelaboratoriet måtte bli et sentralt mål for atombombespionasje. Men av åpenbare grunner vil vi aldri få vite den fulle sannhet om den spionasje som fant sted der under den annen verdenskrig. Spioner lever et hemmelig liv. Men av og til dukker deres virksomheter opp til "overflaten" som deler av et undersjøisk nettverk, og samfunnet får et glimt inn i spionens verden.

Atombombespionene kunne ofte, helt uvitende om hverandre, på samme tid og sted, arbeide med de samme problemene. Det er derfor vanskeig å gi et sammenhengende bilde av deres spionasjenettverk. Vi er derfor henvist til å illustrere kompleksiteten av denne virksomheten ved å skissere enkelte utvalgte spioners handlingsmønster. Vi vil starte med en av de mest berømte av den annen verdenskrigs spioner, tyskeren Klaus Fuchs, som i 1933 flyktet fra Hitlers Tyskland til England og USA.

Storspionen Klaus Fuchs

Familie og bakgrunn

Klaus Julius Fuchs ble født den 29. desember 1911 i den Vest-Tyske landsbyen Rüsselheim nær Darmstadt.[5] Hans far, Emil Fuchs, var av de første tyske prester som ble medlem av Sozialdemokratische Partei Deutschland (SPD). I begynnelsen av 1930-årene flyttet Fuchs-familien til Kiel.

Klaus studerte matematikk og fysikk ved Universitetet i Kiel. Han var, som sin far, til å begynne med tilhenger av SPD, men ble i 1932 medlem av Kommunistische Partei Deutschland (KPD) da han mente at det var det eneste partiet som aktivt motarbeidet nazistene. Disse årene var i Tyskland meget turbulente med uavbrutte voldelige konfrontasjoner mellom tilhengerne av de forskjellige politiske partiene. Klaus Fuchs' medlemskap av KPD var kjent av den nazistiske studentorganisasjonen ved Universitetet i Kiel, og ved flere anledninger ble han banket opp av "brunskjortene".

Den 30. januar 1933 utnevnte rikspresident Paul von Hindenburg Adolf Hitler til tysk rikskansler. Den 27. februar 1933, noen dager før valgene til Riksdagen, brøt en mystisk brann ut i Riksdagsbygningen. Nazistene beskyldte kommunistene for å ha satt ild på bygningen, og kommunistene måtte gå i dekning.

Klaus Fuchs (1911– 1988)

Flukt

Om morgenen den 28. februar 1933 tok Klaus Fuchs et tog til Berlin for å delta i en kongress for kommunistiske studenter. Da han så nyhetene om riksdagsbrannen, forstod han med en gang at han var i faresonen og gikk i dekning hos noen venner i Berlin. Her holdt han seg i skjul i fem måneder. Hans kommunistiske venner rådet ham til å forlate Tyskland.

I juni 1933 krysset Klaus Fuchs illegalt grensen til Frankrike og havnet i Paris, hvor han blant annet deltok i antinazistiske folkefrontdemonstrasjoner.

Fra Paris kom Fuchs til England ved at han hadde en fetter som var forlovet med en tysk pike som var "au pair" hos en kvekerfamilie i Summerset, ikke langt fra Bristol. Fuchs skrev til henne og forklarte situasjonen. Da familien hørte dette sendte de Fuchs tilbud om å komme og bo hos dem så han kunne fullføre sine studier. I september 1933 dro Klaus til England. Ved ankomsten sa han at han hadde kommet for å studere fysikk ved Universitetet i Bristol. Han oppga som referanse kvekerfamilien i Summerset som han sa var venner av hans far.

Fysikkstudier i England

Et par uker efter at Fuchs var ankommet Summerset, ble han tatt med til universitetet i Bristol hvor han møtte lederen for fysikkavdelingen, professor og senere nobelpristager, Nevill Mott. Denne var meget imøtekommende og arrangerte det slik at Fuchs kunne immatrikuleres gratis på universitetet. Mott hjalp ham også til økonomisk støtte. I oktober 1933 ble Fuchs Motts første "research student".

Fuchs viste seg som en mønsterstudent, og i 1937 fikk han sin PhD på et arbeid i teoretisk fysikk. På samme tid fikk han et stipendium for å studere under nobelpristageren, professor Max Born, ved universitetet i Edinburgh. Born var kommet til England som politisk flyktning fra Tyskland i 1934.

Fuchs' oppførsel i Edinburgh var både personlig og akademisk eksemplarisk, og han begynte nå å produsere selvstendige artikler i teoretisk fysikk. I 1939 ble han Dr.Sc. på avhandlingen: "Some Problems of Condensation Quantum Dynamics and Stability of Nuclei". Han ble også tildelt et Carnegie Research Scholarship og fortsatte sitt arbeid.

Fuchs fikk mange venner i Bristol som var kommunister, men han ble aldri selv medlem av det britiske kommunistpartiet. Den tyske konsul i Bristol informerte de engelske myndighetene om hans kommunistiske fortid, men det ble sett bort fra da han ikke hadde deltatt i kommunistiske aktiviteter i England. I november 1939, et par måneder efter krigsutbruddet, ble Fuchs forhørt av et britisk utlendingstribunal. Men her kom det heller ikke frem noe bevis for at han hadde deltatt i kommunistiske aktiviteter i England.

Efter at den engelsk-franske vestfronten brøt sammen i mai 1940, og England ble isolert, ble det en utstrakt frykt hos engelskmennene for tyske femtekolonnevirksomheter. Dette ledet til internering av tyske immigranter og krigsfanger. Sommeren 1940 ble Fuchs først internert på Isle of Man i Irskesjøen, og derefter transportert til Quebec i Canada, hvor han var internert til januar 1941. Derefter ble han satt fri, blant annet efter påtrykk fra Max Born. Han havnet igjen i Edinburgh hvor han gjenopptok sin forskning.

Atombomberelatert arbeid

Våren 1941 mottok Klaus Fuchs et brev fra professor Rudolf Peierls hvor denne spurte om han var interessert i å arbeide i Birmingham med noen problemer av "a spesial nature", dvs. "classified". Peierls hadde bare en overfladisk kjennskap til Fuchs, men hans kolleger, Mott og Born, hadde gitt ham en meget positiv omtale. Efter et intervju med Peierls begynte Fuchs å arbeide hos ham i mai 1941.

Fuchs' viktigste arbeid i Birmingham var beregninger over gassdiffusjonsprosessen for separering av uranisotopene U(238) og U(235). Hans arbeider ble sett på av Peierls som mønstergyldige.

I 1942 søkte Fuchs om britisk statsborgerskap. Søknaden ble støttet av direktoratet for "Tube Alloys". Den 7. august 1942 ble han britisk borger og måtte avlegge ed på troskap mot det britiske kongehus. Familien Peierls hadde et større hus i Birmingham, og lot Klaus Fuchs få bo der i halvannet år. Peierls russiskfødte hustru, Evgenia, fant Fuchs å være høflig, men ekstremt stille. Vanligvis snakket han bare til folk hvis han ble stilt et spørsmål. Fru Peierls kalte ham spøkefullt: "Penny in-the-Slot-Fuchs". Han var som en automat som bare virker når man putter en mynt i den.

Spionasje for Sovjetunionen

Den 22. juni 1941 angrep Tyskland Sovjetunionen, og England og Russland ble allierte. England hadde da ca. 80 000 antinazistiske immigranter, hvorav mange var erklærte kommunister. En av de ledende av disse var *Jürgen Kuczynski.*

Kuczynski var en bekjendt av Fuchs, og i slutten av 1941 kontaktet Fuchs Kuczynski og informerte ham om sitt ønske om å forsyne Sovjetunionen med opplysninger som kunne hjelpe russerne i deres krig mot Tyskland. Kuczynski brakte Fuchs i kontakt med en sekretær for militærattacheen ved Sovjetambassaden i London, *Simon Davidovich Kremer.* Fuchs lærte aldri å kjenne Kremers identitet da han alltid gikk under dekknavnet "Alexander".

Kremer hadde bodd i England med sin familie siden 1937. Han var sett på som medlem av det diplomatiske korps ved den sovjetiske ambassaden i London, men var i virkeligheten ansatt i Sovjets militære spionasje.

Fuchs hadde to eller tre møter med Kremer, ett av dem sogar i den russiske ambassaden. Fuchs sa i eftertid at han var nøye med å gi Kremer bare kopier av sine egne beregninger. Disse dreiet seg hovedsakelig om basisteori og matematisk behandling av gassdiffusjonsprosessene for å adskille uranisotopene U(238) og U(235).

Fuchs' arrangement med Kremer forandret seg imidlertid i løpet av sommeren 1942. For å reise fra Birmingham til London for å møte Kremer, måtte Fuchs simulere sykdommer og legebesøk. Dette

var tungvint, og for å gjøre møtene bekvemmere foreslo russerne en ny kurér, Ruth Kuczynski, med dekknavnet "Sonia".

"Sonia"

"Sonia" var en av de mest farverike personligheter i det tyvende århundredets spionhistorie. Hun var født i Berlin i 1907, og var søster av Jürgen Kuczynski. I 1985 bekreftet hun i russisk TV at hun i mange år hadde vært sovjetisk efterretningsoffiser, og hun har fortalt det meste om sitt liv i sine memoirer: "Sonia's Report". "Sonias" første "kontroll" var Simon Kremer, som er omtalt tidligere. Da Kremer sluttet i midten av 1942 som Fuchs' "kontroll", var det naturlig at "Sonia" overtok.

Fuchs' arbeid i Birmingham om gassdiffusjonsmetoder for anriking av uran, foregikk i nært samarbeid med amerikanske fysikere. Fuchs var derfor fullt informert om hvor langt disse var kommet, og disse resultater ble overført til Russland via "Sonia". Fuchs ga henne skriftelige rapporter som hun sendte per radio til Moskva. Hvis rapportene var matematiske, sendte "Sonia" dem til Kremer som hadde anledning til å bruke diplomatisk post og ambassadens egen radio. Fuchs og "Sonia" møttes med to til tre måneders mellomrom inntil desember 1943, da Fuchs reiste til New York.

Gassdiffusjonsstudier i USA

I september 1943 møtte Peierls general Groves i USA for å diskutere planleggingen av et større gassdiffusjonsanlegg i Oak Ridge. Fuchs' rapporter fra Birmingham var regelmessig blitt sendt til Robert Oppenheimer og James Conant i USA. Disse bidragene til teorien for gassdiffusjon var så verdifulle at amerikanerne bestemte at Fuchs og en gruppe engelske fysikere skulle komme over til USA. Dette krevde en klarering fra den amerikanske ambassaden i London, og den 18. november 1943 mottok Fuchs en visa fra US State Department.

Den 3. desember 1943 ankom Fuchs Newport News i Virginia sammen med femten britiske vitenskapsmenn, deriblandt Rudolf Peierls, Franz Simon og Otto Robert Frisch. De skulle delta i gassdiffusjonsutvikling i USA i samarbeid med ingeniører fra The Keller Corporation og et team av fysikere og kjemikere fra Columbia University, ledet av Harold Urey. Fuchs ble utpekt til å utføre beregninger for gassdiffusjonsanleggene i Oak Ridge for produksjon av fisjonabelt uran, dvs. U(235). Spesielt ble han engasjert til å utarbeide en matematisk teori for hydrodynamikken til strømmen av uranheksafluorid gjennom metallbarrierer.

I de ca. to årene Fuchs hadde forsynt Kremer og "Sonia" med sensitivt materiale relatert til atombombeproduksjon fra Birmingham, ble han et viktig ledd i et internasjonalt nettverk av spionasje, og han var fast bestemt på å fortsette med dette fra USA. Før han reiste fra Birmingham hadde "Sonia" instruert ham om hvordan han skulle kontakte russerne i USA. Han skulle ha det første møtet med sin kurér i februar eller mars 1944, på Manhattan. Kureren ville presentere seg som "Raymond". Fuchs skulle holde en tennisball i venstre hånd, og "Raymond" skulle holde et par hansker i den ene hånden og en bok med grønn innbinding i den andre.

Fuchs møtte mannen på det avtalte sted, og efter en kort spasertur tok de en taxi til en restaurant og spiste middag. Efterpå gikk de igjen en liten tur i gatene og ble enige om arrangementene for fremtidige møter.

Identifiseringen av "Raymond" måtte vente helt til FBI klarte det i 1950, flere måneder efter at Fuchs hadde tilstått sin spionasjevirksomhet. "Raymond", eller *Harry Gold* som var hans riktige navn, var også en eiendommelig skikkelse fra spionenes hemmelige verden.

Viktig oppdrag

Harry Gold var i flere år blitt påvirket av russiske agenter som overtalte ham til å foreta industriell spionasje for Sovjet-Russland. I desember 1943 informerte den russiske agenten *Semen Semenov*, med

Harry Gold, "Raymond" (1910–1962)

dekknavnet "Sam", Harry Gold om at han var valgt ut til et spesielt ærefult oppdrag, og han ville vite om Gold ville påta seg dette. Gold nølte ikke med å si, ja. "Sam" sa at det var et langt viktigere oppdrag enn han tidligere hadde vært borti, og omhandlet saker av verdenshistorisk betydning. "Sam" ga ikke Gold noen detaljert beskrivelse av hva det dreiet seg om, men sa bare at Gold skulle møte en mann på et bestemt sted på Manhattan til en bestemt tid, og han beskrev hvordan denne personen skulle gi seg til kjenne. – Denne mannen var Klaus Fuchs.

Fuchs hadde i løpet av våren og sommeren 1944 minst syv konspiratoriske møter med Harry Gold. Før det andre møtet med Fuchs hadde Gold et siste møte med Semen Semenov. Der fikk Gold den overraskende nyhet at "Sam" måtte overføre kontrollen til en annen mann som hadde dekknavnet "John".

"John" var dekknavnet for *Anatoli Antonovich Yatzkov*, som under sitt opphold i USA gikk under navnet "Anatoli Yakovlev". Han var født i Russland i 1911 og var som "Sam" ingeniør. Han kom til USA i 1941 og hadde tittel som visekonsul i den russiske ambassaden i New York. Derfra dirigerte han et stort Sovjet-Russisk spionnettverk rettet mot Manhattanprojektet. Han var "kontroll" for flere av de mest kjente atombombespionene, som Harry Gold, Julius og Ethel Rosenberg, og Morris og Lona Cohen.

Problemer i Los Alamos

Den 14. juli 1944 hadde Klaus Fuchs et møte i Washington med sjefen for den britiske misjonen innen Manhattanprojektet, James Chadwick. Chadwick informerte Fuchs om at hans tjenester var eftertraktet i Los Alamos, da de var i vanskeligheter og trengte hans hjelp.

Den opprinnelige plan var å skaffe tilstrekkelige mengder av U(235) fra Oak Ridge og plutonium Pu(239) fra Hanford-anleggene til å produsere et par atombomber. Hensikten var å benytte en "Gun-type"-bombe, "Little Boy", hvor to halvdeler av en "kritisk masse" skulle skytes sammen. Den ene delen skulle ligge i ro i enden av et kanonløp, mens den andre delen ble skutt som et projektil mot target-delen. Vanskeligheten ved en slik mekanisme var fenomenet "predetonasjon". Både uran og plutonium kan fisjonere spontant uten bombardement av nøytroner. Dette var vist for uran i 1940 av de russiske fysikerne Georgi Flerov og Konstantin Petrzhak. Sekundærnøytronene som blir frigjort i en slik tilfeldig spontan fisjon, kan starte en for tidlig kjedereaksjon inne i kanonløpet før de to halvdelene får tid til å smelte sammen. En eksplosjon med en effekt på over 10 000 tonn TNT, ville da utebli, og energien i eksplosjonen ville bare bli som i en vanlig høyenergibombe.

Det viste seg at "Gun-type"-bomben bare kunne brukes når den var basert på U(235). (Det var denne bomben som ble brukt på Hiroshima.)

Plutonium (239) var imidlertid kjent for å fisjonere spontant mer enn dobbelt så ofte som U(235). I august 1944 hadde Los Alamos nærmest tenkt å droppe en "plutonium-kanon". Men vanskelighetene ved å produsere tilstrekkelig med U(235) ved gassdiffusjon og elektromagnetisk separasjon, betød at Manhattanprojektet bare ville være i stand til å produsere en enkelt bombe i løpet av 1945.

Et alternativ til "Gun-type"-bomben var blitt foreslått kort tid efter at Los Alamos-laboratoriet var åpnet i april 1943. Det var kalt "implosjon", og var basert på at spørsmålet om en masse av fisjonabelt materiale er "kritisk" beror ikke bare på dens volum, men også på dens geometri. Seks kilo plutonium formet som to halvkuler vil begynne å reagere så fort de er brakt sammen. Men seks kilo plutonium formet som et hult kuleskall hvorfra sekundære nøytroner kan unnslippe uten å reagere, vil bare resultere i en moderat eksplosjon. Hvis høyeksplosivt materiale blir pakket rundt et slikt skall, og man kan finne en metode til å detonere eksplosivene samtidig fra en rekke punkter rundt skallet, vil plutoniumskallet kollapse til en fast kule som kan bli "kritisk" og eksplodere. Den kritiske komprimeringen av systemet må skje så hurtig at den spontane fisjonen av plutoniumet ikke får tid til å spolere kjedereaksjonen.

En hel rekke eksperimenter med høyeksplosive stoffer ble utført i Los Alamos fra 1943 til 1945 for å bestemme den gunstigste geometriske konfigurasjon for det høyeksplosive materialet og teste systemer for detonasjon av dette for å produsere en innadrettet implosjon.

Implosjonfenomenene var altfor kompliserte til bare å bli utforsket med noen enkle eksperimenter med dynamitt. Noen måtte ta fatt på å beregne hydrodynamikken i de komplekse, dynamiske eksplosjonsgassene i implosjonen. Sjefen for den teoretiske gruppen i Los Alamos, Hans Bethe, henvendte seg til Edward Teller, som var anerkjent som en meget fantasifull fysiker, og anmodet ham om å ta på seg denne oppgaven. I januar 1944 ble Teller leder for en liten implosjonsgruppe i Los Alamos. Men da våren kom, var Teller blitt mer interessert

i andre projekter som f.eks. hydrogenbomben "The Super", og implosjonsgruppen måtte få en annen leder.

Fuchs til Los Alamos

Bethe visste at Rudolf Peierls var i New York og arbeidet med Kellex Corporation på gassdiffusjonsproblemer. Bethe anmodet Peierls om å komme til Los Alamos og hjelpe til med implosjonsproblemene. Peierls sa seg villig under forutsetning av at han fikk med to av sine assistenter – en ung engelskmann Tony Skyrme og Klaus Fuchs. Senere er det blitt hevdet at hvis krigens Gud ønsket å forsyne russerne med en klar kanal rett inn i hjertet av det viktigste og mest hemmelige arbeidet i det angloamerikanske atombombeprojektet, kunne han ikke ha valgt en bedre "kanal" enn Klaus Fuchs.

Fra sommeren 1944 av var Fuchs fullt ut engasjert i alle aspekter av plutoniumbomben, spesielt matematiske beregninger for implosjonsmetoden. Han var til stede ved alle møter i Los Alamos mellom toppeksperimentatorer og teoretikere hvor implosjonsproblemene ble diskutert i detalj.

Den 11. februar 1945 reiste Fuchs fra Los Alamos for å besøke sin søster og hennes familie i Massachusetts. Et par dager senere ringte "John" til Gold og sa at Gold så fort som mulig måtte dra til Cambridge og møte Fuchs hos dennes søster. Gold reiste dit 16. februar, og fant Fuchs i søsterens hjem, hvor de hadde et møte som varte i flere timer. Fuchs overleverte til Gold en betydelig pakke med informasjon om atombombene hvor han hadde beskrevet prosessen med å sette bombene sammen, problemet predetonasjon på grunn av spontan fisjon, og fordelene ved implosjon og den "kritiske massen" for plutonium (5–15 kg). Fuchs rapporterte også de forskjellige ideene for å "tenne" de høyeksplosive linsene rundt plutoniumet for å få en uniform detonasjon. Fuchs sa også at han ikke ville være i stand til å forlate Los Alamos på ca. et år. De avtalte derfor å møtes igjen i Santa Fe til sommeren, og de ble enige om å møtes den 2. juni på Castillo Street Bridge. Gold tilbød Fuchs 1500 dollar for utgifter. Men Fuchs avviste pengene.

Den 2. juni kjørte Fuchs til Santa Fe og møtte Gold som avtalt. Fuchs overrakte Gold en pakke med dokumenter som inneholdt detaljerte beskrivelser av plutoniumbomben som skulle testes i Alamogordo den 16. juli, og av plutoniumbomben som skulle slippes over Nagasaki den 9. august 1945. Bombene skulle bringes til å eksplodere ved et komplisert system av høyeksplosive "linser" som skulle produsere implosjonen. "Polonium initiatorer" (nøytronkilder), sprengstoffene Baratol og Composition B etc., var også beskrevet sammen med beregninger over effektiviteten av bombene. Før de skiltes ble de enige om å møtes neste gang i Santa Fe den 19. september.

Fuchs sitt neste og siste møte med Gold fant sted som avtalt. På det tidspunktet hadde amerikanerne testet en plutoniumbombe ved Alamogordo. Dessuten hadde de sluppet en U(235)-bombe over Hiroshima og en plutoniumbombe over Nagasaki. Til dette møtet med Gold hadde Fuchs skrevet ned alt han visste om atomvåpnene. Det var vital informasjon om størrelsen på bombene, hva de inneholdt, selve konstruksjonen av dem og hvordan de ble brakt til å eksplodere.

Fuchs opplyste også at han regnet med å bli sendt tilbake til England i nærmeste fremtid. Dette bekymret ham, da han regnet med at hans far da ville komme over fra Tyskland for å besøke ham og kunne komme til å røpe noe til engelske myndigheter om sønnens kommunistiske fortid. Ikke desto mindre ytret Klaus Fuchs et ønske om å fortsette å gi vital informasjon til Sovjet-Russland.

Den 16. juni 1946 forlot Klaus Fuchs Los Alamos for siste gang, og 28. juni fløy han til England for å begynne i sin stilling som sjef for teoriavdelingen ved det nylig åpnede "Atomic Energy Establishment" ved Harwell.

Engelsk atombombeprosjekt

Et forhold som kom til å spille en rolle i Fuchsdramaet var at Storbritannia fra 1946 av begynte å konstruere sin egen atombombe. Av engelskmennenes mange begrunnelser for denne beslutning kan man sitere statsminister Clement Attlee, som i 1946 skrev: "If we decided not to have it, we would have put ourselves entirely in the hands of the Americans." Allerede i februar 1945 hadde Churchill informert Roosevelt om at Storbritannia hadde til hensikt å skaffe seg sine egne kjernefysiske våpen. Men det britiske atombombeprojektet ble holdt strengt hemmelig de første årene. Fra januar 1946 av var det startet opp i full skala, men Parlamentet var ikke informert.

Denne britiske beslutning brakte imidlertid de engelske fysikerne i et anstrengt forhold til sine amerikanske kollegaer. Det hemmelige "Agreement Relating to Atomic Energy", signert av Churchill og Roosevelt i Quebec 19. august 1943, hadde åpnet for gjensidig informasjon mellom England og USA om

våpentekniske data. Efter freden i 1945 begynte imidlertid amerikanerne å bli uvillige til å gi opplysninger om kjernefysiske data til England. De britiske fysikerne som hadde gitt avgjørende bidrag til Manhattanprojektet, følte dette som en urettferdighet. Særlig gjaldt dette for de engelske fysikerne som skulle bruke disse dataene i konstruksjon av sin egen bombe.

Avdelingssjef ved Harwell

Det britiske atomenergiprogrammet ble startet opp med en bevilgning på 100 millioner pund. En luftkjølt reaktor ble konstruert i Harwell, en plutoniumproduserende reaktor i Windscale, et gassdiffusjonsanlegg i Cheshire og et våpenproduksjonssenter i Aldermaston. Det intellektuelle og administrative sentret for hele prosjektet var Harwell, en nedlagt Royal Air Force base, noen kilometer syd for Oxford. Den kjente kjernefysikeren og nobelprisvinneren Sir John Cockcroft ble direktør for Harwell, og Klaus Fuchs ble sjef for teoriavdelingen.

Efter at Fuchs var ansatt på Harwell med full adgang til alle deler av virksomheten, forsøkte han å komme i forbindelse med sin gamle kontakt i den russiske ambassaden i London, Simon Kremer. Men denne var reist tilbake til Russland. Før Fuchs reiste fra USA hadde Harry Gold instruert ham om å kontakte sin tidligere KPD-venn Jürgen Kuczynski. Men denne var heller ikke lenger i England. Hans søster "Sonia" var også forsvunnet.

Da tok Fuchs et skritt som var imot alle regler i spionasje: Han oppsøkte et annet medlem av KPD i England, *Johanna Klopstech.* Johanna Klopstech satte Fuchs i forbindelse med en russisk agent, *Alexander Semonovich Feklisov*, som ble Fuchs' siste kontakt i England.

Fuchs' første møte med Feklisov var i Nags Head Pub i London. Agenten holdt i hånden en bok i rød innbinding, mens Fuchs bar på et nummer av "Tribune". Fuchs fikk en kraftig reprimande for at han hadde kontaktet Klopstech. Han hadde brudt den hovedregelen at alle agenter må holde seg unna medlemmer av kommunistiske partier og venstreorienterte organisasjoner. I sine memoirer skriver Feklisov i 1990: "På sitt eget initiativ leverte Fuchs på vårt første møte viktige tekniske opp lysninger om plutoniumproduksjonen, informasjon som Fuchs ikke hadde hatt i USA." Feklisov skriver at Fuchs' spionasjevirksomhet i Harwell fortsatte i perioden 19471949, og at han møtte Fuchs hver tredje eller fjerde måned, i alt 6 møter. De var alle omhyggelig planlagt, og Moskva godkjente hver plan.

Som en av toppfysikerne i Harwell var Fuchs i stand til å gi russerne informasjoner om en rekke viktige data i det britiske atombombeprojektet. Det dreide seg f.eks. om detaljer i konstruksjonen av plutoniumbomben, mengden av plutonium produsert i de engelske reaktorene i Harwell og Windscale, rapporter fra diskusjonene om luftkjølte versus vannkjølte reaktorer etc. En rekke andre sentrale våpentekniske spørsmål ved plutoniumbomben var Feklisov ikke interessert i. Av dette sluttet Fuchs at russerne måtte få informasjoner fra andre spionnettverk enn det han selv tilhørte.

Den 27. Januar 1950 ga Fuchs en skriftlig tilståelse til de engelske myndigheter om sin virksomhet. Et avsnitt i denne "bekjennelse" er som tatt ut av en roman av Dostojevskij:

I used my Marxist philosophy to establish in my mind two separated compartments. One compartment in which I allowed myself to make friendships and to be in all personal ways the kind of man I wanted to be. I could be free and easy and happy with other people without fear of disclosing myself because I knew that the other compartment would step in if I approached the danger point. It appeared to me at the time that I had become a "free man "because I had succeeded in the other compartment to establish myself completely independent of the surrounding forces of society. Looking back at it now the best way of expressing it seems to be to call it a controlled schizophrenia.

I en senere artikkel vil det bli redegjort for avsløringen av Fuchs, og vi vil gjøre et forsøk på å analysere hans motiver for spionasje.

Referanser

1. Sven Oluf Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt Del I.* FFV **69**, Nr. 4, 115–123 (2007)
2. Sven Oluf Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt Del II.* FFV **70**, Nr. 1, 6–22 (2008)
3. Otto Hahn: *The discovery of fission.* Scientific American, Febr. (1958)
4. Richard Rhodes: *The making of the Atomic Bomb.* Penguin Books (1986)
5. Robert Williams: *Klaus Fuchs: Atom Spy.* Harvard University Press, (1987)

∞

Hvordan oppsto materien?

Lars Bugge,[1] *Øyvind G. Grøn*[1,2] *og Geir Skjevling*[2]

Spørsmålet om hvordan det ble mer materie enn antimaterie i universet, den såkalte kosmiske baryogenesen, blir drøftet. Vi omtaler Zakharovs betingelser for at dette skulle kunne skje og de mest aktuelle teoriene for hvilke mekanismer som kan ha produsert mer materie enn antimaterie.

Er det symmetri mellom materie og antimaterie?

Materien består stort sett av protoner, nøytroner og elektroner. Protonene og nøytronene har størst masse og bidrar mest. De er partikler, kalt *baryoner*, som merker den sterke kjernekraften og består av 3 kvarker. Derfor kalles den vanlige materien ofte for baryonisk materie.

Antimaterie består av antipartikler. En antipartikkel har motsatt og like stor elektrisk ladning som sin tilsvarende partikkel. For eksempel har positronet, som er antipartikkelen til elektronet, en positiv elementærladning, men har ellers samme egenskaper som elektronet.

Når en partikkel og dens antipartikkel kommer i kontakt med hverandre går partiklene over til energi, og det oppstår et blaff av gammastråling.

Siden vi ikke kan se forskjell på materie og antimaterie på kosmisk avstand, kan man undres på om det finnes fjerne områder i universet som er dominert av antimaterie. Dette betraktes imidlertid som lite sannsynlig. Nye observasjoner tyder på at de intergalaktiske områdene er fylt av en hydrogen-heliumgass som utgjør omtrent 4 % av all materie og energi i universet. Hvis denne hadde bestått av materie noen steder og antimaterie andre steder, ville grenseområdene der materie og antimaterie kom i kontakt med hverandre blaffet opp i et inferno av stråling. Slike områder har ikke vært observert, så astrofysikerne regner med at så å si all den kosmiske materien virkelig er materie og ikke antimaterie.

Hvis naturlovene er symmetriske når det gjelder materie og antimaterie, burde det opprinnelig ha blitt skapt like mye antimaterie som materie.

Som nevnt vil materie og antimaterie som kommer i kontakt annihilere (utslette hverandre) og omdannes til elektromagnetisk stråling (fotoner). I vårt ekspanderende univers ville da forholdet mellom antall baryoner og fotoner vært mye mindre enn observert. Vi vil estimere størrelsen av dette forholdet på to måter: først et grovt overslag, så mer nøyaktig.

Observert forhold mellom antall baryoner og fotoner

Et overslag

Et enkelt overslag over forholdet mellom antall baryoner og fotoner i vårt univers kan gis på følgende måte.(1) Ifølge observasjoner med de største teleskopene finnes det rundt 10^{11} galakser i den observerbare delen av universet, og i hver av galaksene er det gjennomsnittlig 10^{11} stjerner. Massen til sola, som er en typisk stjerne, er rundt $2 \cdot 10^{30}$ kg, mens protonet har en masse på $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

Det dominerende grunnstoffet i de vanligste stjernene er hydrogen. Siden vi ikke er interessert i stor nøyaktighet her, men kun et røft anslag på nærmeste størrelsesorden (tierpotens), antar vi at all massen i stjernene kommer fra hydrogenatomenes kjerner, som bare består at ett proton. I så fall inneholder en middels stor stjerne som sola omtrent 10^{57} protoner. Det er med andre ord omtrent 10^{79} baryoner i den delen av universet vi kan observere. Radien til dette området kan settes lik lyshastigheten ganger universets alder, dvs. 13,7 milliarder lysår, eller omtrent $1,4 \cdot 10^{26}$ m. Det betyr at det observerbare universet har et volum av størrelsesorden 10^{79} m^3. Det er da omtrent ett baryon per kubikkmeter i universet.

På den annen side er det omtrent $4 \cdot 10^8$ fo-

toner per kubikkmeter i den kosmiske mikrobølge strålingen med temperatur 2,73 K. Følgelig er forholdet mellom antall baryoner og antall fotoner i universet litt over 10^{-9}. Det kan vises at det kosmiske bidraget fra strålingen til stjernene er neglisjerbart i forhold til bakgrunnsstrålingens tetthet.

Mer nøyaktig beregning

Forholdet mellom antall baryoner og fotoner i universet kan bestemmes mer nøyaktig ved å trekke inn andre observasjoner. Vi betegner den gjennomsnittlige antallstettheten av baryoner, antibaryoner og fotoner i universet med henholdsvis n_B, $n_{\bar{B}}$ og n_γ. Differansen mellom antallstettheten av baryoner og antibaryoner, $n_B - n_{\bar{B}}$, kalles universets baryonasymmetri. Disse tetthetene avtar omvendt proporsjonalt med volumet under universets utvidelse. Men forholdet

$$\eta = \frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \tag{1}$$

som kalles *asymmetriparameteren*, endres ikke under utvidelsen så lenge det ikke skjer reaksjoner som endrer antallstetthetene.

La oss nå estimere η. Den effektive kosmiske antallstettheten til baryonene er

$$n_B = \frac{\rho_B}{m_B} = \frac{\Omega_B}{m_B}\rho_C \tag{2}$$

der ρ_B er den effektive baryoniske massetettheten, $m_B = 1,6 \cdot 10^{-27}$ kg, er massen til et baryon (proton), og $\Omega \equiv \rho_B/\rho_C$ kalles *masseparameteren*. Den er tettheten i forhold til universets kritiske tetthet

$$\rho_C = \frac{3H^2}{8\pi G} = 1,8 \cdot 10^{-26} h^2 \ [\mathrm{kg/m^3}] \tag{3}$$

der $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ $\mathrm{Nm^2/kg^2}$ er Newtons gravitasjonskonstant, $h = H/H_1$, der H er *Hubbleparameteren* som beskriver hvor raskt universet utvider seg, og $H_1 = 30$ km/s per millioner lysår. Den *kritiske massetettheten* er tettheten i et såkalt "flatt univers" der 3-rommet er euklidsk, og hvor lyset beveger seg langs rette linjer. Målinger av universets ekspansjonshastighet viser at $h \approx 0,7$. (Ifølge Hubbles lov øker hastigheten vekk fra oss til systemer (galaksehoper) som deltar i universets ekspansjon, med $h \cdot 30\ km/s \approx 20$ km/s for hver million lysår avstanden øker.) Vi får følgende uttrykk for antallstetthet av baryoner

$$n_B = 11\Omega_B h^2 \ [\mathrm{m^{-3}}] \tag{4}$$

Ved termisk likevekt er antallstettheten av fotoner i bakgrunnsstrålingen proporsjonal med den absolutte temperaturen i tredje potens, (antallstettheten i en gass av relativistiske partikler),[2]

$$n_\gamma = 4,1 \cdot 10^8 \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \ [\mathrm{m^{-3}}] \tag{5}$$

der $T_0 = 2,73$ K (må angis i kelvin). Ved å sette inn fra (4) og (5) med $T = 2,73$ K i likning (1), finnes asymmetriparameteren

$$\eta = 2,7 \cdot 10^{-8} \Omega_B h^2 \tag{6}$$

De letteste grunnstoffene, hydrogen, helium og litium, ble produsert i *den kosmiske nukleosyntesen* i universets første kvarter. Teorien for disse prosessene er godt etablert, og man kan beregne mengdeforholdene mellom disse grunnstoffene ut fra den. Sammenlikning av de beregnete verdiene med de observerte mengdeforholdene gir $\Omega_B h^2 \cong 0,02$. Dermed finnes $\eta \cong 5,3 \cdot 10^{-10}$. Det er fysikernes oppgave å forklare dette forholdet.

Forventet forhold mellom antall baryoner og fotoner

Vi antar at universet oppsto med like mye materie og antimaterie. Baryonene hadde, selv så tidlig som et hundredels sekund etter Big Bang, mye mindre hastighet enn lyshastigheten. De utgjorde allerede da en ikkerelativistisk gass. Ved termisk likevekt er antallstettheten i en slik gass gitt ved boltzmannfordelingen,[3]

$$n_B = A\left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} e^{\frac{m_B c^2}{kT}}, \quad A = 4,1 \cdot 10^8 \left(\frac{m_B c^2}{kT_0}\right)^{3/2} \tag{7}$$

der k er boltzmannkonstanten.

La oss anslå antallstettheten av baryoner og antibaryoner som blir igjen etter at annihilasjon av protoner og antiprotoner tar slutt i et ekspanderende univers. Reaksjonshurtigheten avhenger av tettheten til materien og antimaterien. Den avtar med tiden i et ekspanderende univers. Dermed stopper etter hvert annihilasjonen av baryoner og antibaryoner opp før all materien og antimaterien er blitt gjort om til stråling.

Detaljerte beregninger[2] viser at annihilasjonen av baryoner og antibaryoner tok slutt da temperaturen i det kosmiske plasmaet sank under $T = 2,2 \cdot 10^{11}$ K, ca. $6 \cdot 10^{-5}$ s etter et tenkt starttidspunkt for Big Bang. Forholdet mellom antall baryoner (eller

antibaryoner) og antall fotoner per m^3 er da ifølge likningene (5) og (7)

$$\frac{n_B}{n_\gamma} \approx \frac{n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx \left(\frac{m_B c^2}{kT}\right)^{3/2} e^{\frac{m_B c^2}{kT}} \approx 10^{-18} \qquad (8)$$

Dette stemmer dårlig med estimatet ovenfor basert på universets observerte egenskaper. At beregningen gir lite antimaterie er ikke noe problem, men at den gir like lite materie stemmer ikke med hvordan verden er.

Det burde finnes en mekanisme som lager et ørlite overskudd av materie, gitt verdien av asymmetriparameteren, $\eta \cong 5,3 \cdot 10^{-10}$, bestemt ut fra observasjoner. Denne verdien innebærer at når det er dannet ti milliarder fotoner ved at ti milliarder baryoner og antibaryoner har annihilert, så er det igjen ett baryon. En eller annen prosess burde ha som resultat at for hver ti milliarder antibaryoner som dannes, så produseres det ti milliarder og én baryoner.

Sakharovs betingelser for overskudd av materie

I 1967 formulerte Andrei Sakharov 3 betingelser for at det skulle oppstå ubalanse i antall baryoner og antibaryoner:[4]

A. Det må eksistere prosesser som bryter med bevaring av baryontall

Nesten alle prosesser i naturen oppfyller regelen om bevaring av baryontall. Dette betyr at i de fleste prosesser er netto baryontall bevart. Hvis et baryon har baryontall 1, har den tilsvarende antipartikkel baryontall -1. Dette betyr at hvis en partikkel og dens antipartikkel annihilerer, endres ikke baryontallet. Dersom denne regelen gjaldt for alle prosesser i naturen kunne det ikke produseres flere baryoner enn antibaryoner.

Det er nødvendig med prosesser som bryter med bevaring av baryontall. Ifølge den store forente teorien for elektromagnetisme og den svake og den sterke kjernekraften, kan det eksistere en type kraft som formidles av et nøytralt X-boson og som kan omdanne energi til et proton elektronpar. Protonet har baryontall 1 og elektronet baryontall 0. Dermed har netto baryontall økt med én under prosessen. Slike prosesser har altså mulighet til å øke baryontallet i universet, dvs. til å produsere baryoner uten samtidig å produsere et tilsvarende antall antibaryoner.

Men dette er likevel ikke nok til å bygge opp det baryoniske overskuddet i universet. For det eksisterer også prosesser der et anti X-boson danner et antiproton-antielektronpar. I denne prosessen endres netto baryontall med -1. Dersom disse to prosessene er like hyppige, blir det alt i alt ikke produsert noen økning av netto baryontall.

Symmetrier og materiedannelse

Når vi skal diskutere spørsmålet om hva som skulle til for å danne et overskudd av materie i universet, er det viktig å merke seg at det eksisterer tre symmetrioperasjoner i naturen kalt *ladningsomvending*, *speiling* og *tidsreversjon*. Vi skal illustrere hver av disse transformasjonene med utgangspunkt i et nøytrino.

Ladningsomvending (engelsk, C-conjugation) betyr å skifte fortegn på alle de indre kvantetallene -ladning, baryontall, leptontall – til partiklene i et system uten at man endrer de "ytre" kvantetallene, energi (masse), impuls og spinn. Leptoner er partikler som ikke påvirkes av den sterke kjernekraften, slike som elektroner og nøytrinoer. Ved ladningsomvending endres et nøytrinos leptontall fra 1 til -1. Det betyr at et nøytrino omdannes til et antinøytrino.

Nøytrinoene har spinn. Et nøytrino som roterer slik at tommelen peker i bevegelsesretningen når høyre hånds fingre legges rundt spinnaksen i rotasjonsretningen, sies å være et høyrehendt nøytrino. Hvis bevegelsen er i motsatt retning, sies nøytrinoet å være venstrehendt. Ved ladnings omvending endres et venstrehendt nøytrino til et venstrehendt antinøytrino.

Hvis slike prosesser skjer burde man finne venstrehendte antinøytrinoer. Men det har man ikke observert. Følgelig er ikke universet C-symmetrisk.

Speiling (P-symmetri, dvs. paritetssymmetri) er en av de vanligste symmetrier i naturen. Speiling er en ytre symmetrioperasjon og endrer ikke på noen av de indre kvantetallene til partiklene i et system. Virkningen av speiling på et venstrehendt nøytrino er at det endres til et høyrehendt nøytrino. Men høyrehendte nøytrinoer er ikke observert. Dette betyr at ikke alle prosesser oppfyller P-symmetri.

En ladningsomvending fulgt av en speiling, dvs. en CP-operasjon, endrer et venstrehendt nøytrino til et høyrehendt antinøytrino (Figur 1). Alle observerte antinøytrinoer er høyrehendte. Naturen ser i første omgang ut til å være CP-symmetrisk. Det finnes imidlertid brudd på CP-symmetri. James

Cronin og Val Fitch fikk i 1980 Nobelprisen i fysikk for å ha oppdaget en prosess med brudd på CP-symmetri.[5] Dette ble observert i henfall av nøytrale K-mesoner. De kan henfalle på flere måter. I det opprinnelige eksperimentet ble det vist at et langlivet, nøytralt K_L^0-meson kunne henfalle til to ladde pi-mesoner, en prosess som bryter med CP-invarians. Et annet eksempel er at et K_L^0-meson kan henfalle enten i reaksjonen (a): $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}$, eller i reaksjonen (b): $K_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu$. Hvis man ladningsomvender og speiler reaksjonen (a) får man reaksjonen (b). Dersom naturen er CP-symmetrisk skal disse reaksjonene skje med samme hastighet. Målinger har imidlertid vist en liten forskjell på reaksjonshastighetene, noe som representerer et brudd på CP-symmetri.

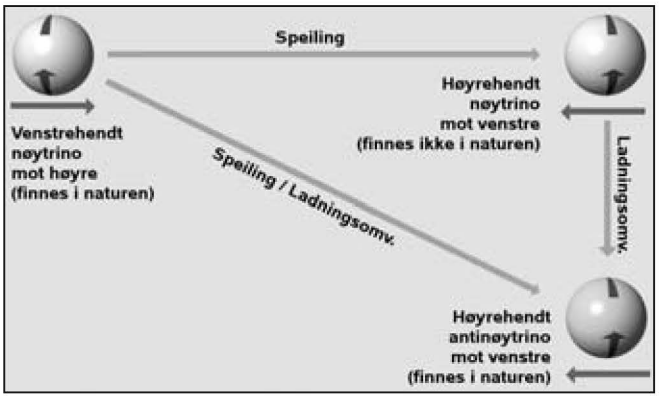
La oss nå gå tilbake til prosessen som var i stand til å generere overskudd av baryoner, nemlig at et X boson dannet et proton–elektronpar. Vi lurte på om den omvendte prosessen, at et anti X-boson danner et antiproton antielektronpar skjer med samme hastighet. Dette ville i så fall spolere oppbyggingen av et baryonoverskudd. Denne "antireaksjonen" er forbundet med den opprinnelige reaksjonen med en CP-operasjon. Når vi ønsker å undertrykke antireaksjonen betyr det derfor at vi ber om et brudd på CP-symmetri. Dette betyr at CP-brudd må ha spilt en rolle når det gjelder å bygge opp universets baryonoverskudd.

Sakharovs andre betingelse for dannelsen av universets baryonoverskudd er:

B. Det må eksistere prosesser som bryter med CP-symmetri

Man skulle tro at betingelsene A og B er tilstrekkelige for å få dannet baryonoverskudd. Men det eksisterer enda en hindring som må overvinnes. Denne har sammenheng med en konsekvens av kvantemekanikken, nemlig at alle prosesser er invariante overfor den kombinerte operasjonen som består av ladningsomvending, speiling og tidsreversering. Man kjenner ingen fysiske prosesser som bryter med CPT-symmetri.

Det kan vises at CPT-invarians av alle prosesser krever at enhver partikkel har samme levetid og masse som sin antipartikkel. Dette leder til et problem for produksjon av baryonoverskudd i en gass av partikler i termisk likevekt. I en slik gass går alle reaksjoner motsatte veier med samme hastighet. Ved termisk likevekt blir derfor reaksjoner som kan lage baryonoverskudd, hele tiden nøytralisert av



Figur 1. Hvordan speiling (parity, P), ladningsomvending (charge, C) samt kombinert speiling og ladningsomvending (charge-parity, CP) virker på et nøytrino.

motsatte reaksjoner.

Vi er dermed kommet frem til Sakharovs tredje betingelse for at det skal oppstå overskudd av baryoner.

C. Det må være avvik fra termisk likevekt

Vi skal nå se på noen forslag til hvordan baryonoverskuddet i universet kan ha oppstått.

GUT-baryogenese[3]

Man har prøvd å lage forente teorier for de fundamentale kreftene. En forent teori for den elektromagnetiske kraften samt den svake og sterke kjernekraften, kalles på engelsk for "*Grand Unified Theory*" og betegnes med GUT. Denne teorien er slik at disse kreftene har samme styrke og rekkevidde ved tilstrekkelig høy energi, dvs. ved høy nok temperatur. Universet gikk trolig gjennom en såkalt GUT-era i tiden før 10^{-35} s etter et tenkt starttidspunkt.

GUT-teorien inneholder en mekanisme for å produsere en netto endring av baryontall. Kvarker og leptoner kan omdannes til hverandre. Teorien inneholder også brudd på CP-symmetrien. Men i den enkleste versjonen av teorien er dette en effekt som er altfor liten til at den kan forklare det observerte overskuddet av baryoner. Man kan imidlertid bygge inn mer effektive mekanismer i GUT for å produsere brudd på CP-symmetrien. Vi kan for eksempel anta at prosessen omtalt ovenfor, der et X-boson produserer et proton–elektronpar, skjer med en større hastighet enn den tilsvarende antiprosessen.

Dette krever et avvik fra termisk likevekt. Et slikt avvik vil oppstå dersom universet ekspanderer

tilstrekkelig raskt. GUT-prosessene krever altså at det ved et visst tidspunkt tidlig i universets historie var høy nok temperatur og rask nok ekspansjon. Spørsmålet er om disse betingelsene inntraff samtidig.

Vi vet ikke så mye om hva som skjedde ekstremt tidlig i universets historie. Men med utgangspunkt i GUT-teorien har man utviklet scenarier kalt inflasjonskosmologi. Et mulig hendelsesforløp er det følgende:

Ved det såkalte GUT-tidspunktet, 10^{-35} s, som representerer avslutningen av GUT-epoken, skjedde en kosmisk faseovergang der universet gikk inn i en tilstand dominert av vakuumenergi.[6] Denne energien forårsaker frastøtende gravitasjon, og universet gikk inn i en kortvarig periode med en eksponentielt akselerert ekspansjon. I løpet av 10^{-33} s økte avstandene i universet med en faktor på mer enn 10^{25}. Dette kalles *universets inflasjonsperiode.*[7]

Eksponentiell ekspansjon begynner langsomt. Man regner med at det ble etablert termisk likevekt i begynnelsen av inflasjonsperioden. Dette er nå standardforklaringen på den observerte isotropien til den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Den hurtigste ekspansjonen fant sted da inflasjonsperioden tok slutt, ved et tidspunkt 10^{-33} s.

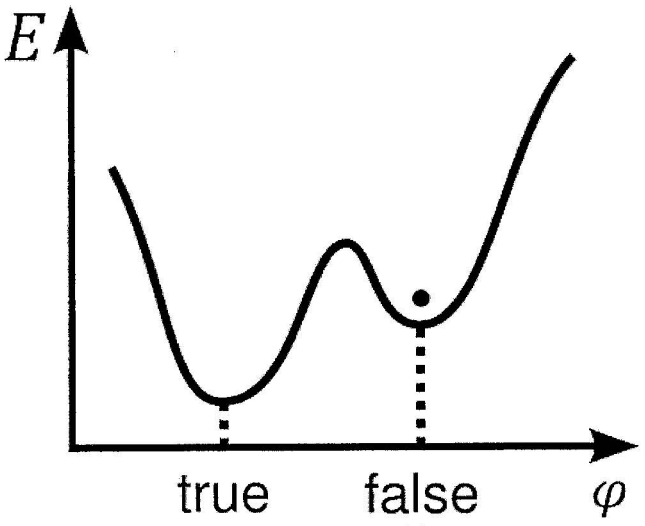
Dette utviklingsforløpet leder til problemer for GUT-baryogenesen. Disse prosessene krever så høy temperatur at om de har funnet sted, så har det skjedd ikke senere enn tidspunktet 10^{-35} s, og de krever dessuten et avvik fra termisk likevekt. Et slikt avvik vil oppstå dersom universet ekspanderer tilstrekkelig raskt. Men den hurtigste ekspansjonen fant sted da inflasjonsperioden tok slutt, ved et tidspunkt 10^{-33} s.

Ved tidspunktet 10^{-35} s da temperaturen var høy nok, var universet helt i starten av inflasjonsfasen med liten ekspansjonshastighet. På denne tiden var universet i en tilstand av termisk likevekt. Følgelig skjedde da partikkelreaksjonene begge veier med samme hastighet, og det oppsto ikke noe overskudd av baryoner.

Ved slutten av inflasjonsfasen, da ekspansjonshastigheten var stor nok til at det oppsto avvik fra termisk likevekt, var ikke temperaturen høy nok til at GUTprosessene som kunne produsere overskudd av baryoner, var virksomme. Selv om det skjedde en kraftig oppvarming da inflasjonsperioden tok slutt, og vakuumenergien gikk over til stråling og partikler, tyder beregninger på at oppvarmingen ikke var tilstrekkelig til å sette i gang GUT-prosessene.

Elektrosvak baryogenese[8]

En annen mulighet er at produksjonen av det observerte baryonoverskuddet har sammenheng med elektrosvake prosesser som fant sted omtrent 10^{-12} s etter Big Bang. Fortsatt krever produksjon av baryonoverskudd avvik fra termisk likevekt. Siden universet ikke lenger ekspanderte så raskt, må det ha eksistert en annen mekanisme for å danne avvik fra termisk likevekt. Mekanismen har sammenheng med at baryonoverskuddet nå ble produsert i prosesser knyttet til en faseovergang der det ble dannet bobler med såkalt "uekte vakuum" omgitt av områder med "ekte vakuum" (Figur 2).



Figur 2. I kosmologien beskrives vakuumenergien vanligvis i sammenheng med et skalarfelt.[6,7] Figuren viser energitetheten, E, som funksjon av feltstyrken, φ, i et felt med to stabile vakuumtilstander, et såkalt "uekte vakuum" med stor energitetthet og et "ekte vakuum" med en mindre tetthet. En overgang fra ekte til uekte vakuum kan sammenliknes med en faseovergang fra vann til damp. Den svarte sirkelen markerer at universet her er i en tilstand med uekte vakuum.

Tettheten av vakuum i det uekte vakuumet var større enn i det ekte vakuumet slik at boblene ekspanderte på grunn av frastøtende gravitasjon, og etter hvert slo de seg sammen. Dette var en slags annen inflasjonsfase, men med mye mindre tetthet av vakuumenergi og dermed ikke på langt nær så voldsom. Det observerbare univers representerer et område som en gang befant seg inni en slik boble.

Avviket fra termisk likevekt skjedde i de ekspanderende bobleveggene, som hadde endelig tykkelse. Det var kaldere i det uekte vakuumet inni boblene enn i det ekte vakuumet utenfor. Utenfor bob-

lene var det flere frie kvarker og antikvarker enn innenfor. Beregninger viser at vekselvirkninger ved bobleveggene gjorde det mer sannsynlig at kvarker passerte inn gjennom en boblevegg enn antikvarker. Som et resultat av disse prosessene ble det litt flere kvarker innenfor bobleveggene enn antikvarker. Dette er ifølge teorien for elektrosvak baryogenese årsaken til at det er overskudd av materie i universet.

Den detaljerte beskrivelsen av den elektrosvake baryonproduksjonen har imidlertid enda ikke fått sin endelige løsning. Og den har et stort problem. Den gir ikke riktig svar. Beregningene gir et mye mindre forhold mellom antall baryoner og fotoner enn det observerte.

Leptogenese[8]

Omkring år 2000 ble det gjort observasjoner som åpnet for den mulighet at hemmeligheten bak materieoverskuddet er skjult i nøytrinoenes egenskaper. Det ble oppdaget at nøytrinoene har hvilemasse.

Nøytrinoene er elektrisk nøytrale leptoner; de merker verken elektromagnetiske krefter eller den sterke kjernekraften. Elektroner er negativt ladde leptoner.

Ladningsbevaring innebærer en sammenheng mellom leptoner og baryoner. Det må dannes like mange elektroner og protoner i universet. Dette knytter baryogenese sammen med leptogenese.

Teorien for leptogenese er basert på antagelsen at det eksisterer en ukjent type tunge nøytrinoer, kalt singlettnøytrinoer. Det finnes også andre grunner til at de bør eksistere, for eksempel i modeller for hvordan nøytrinomassene genereres.

Singlettnøytrinoene reiser fritt gjennom universet inntil de henfaller til vanlige nøytrinoer eller antinøytrinoer. Ifølge teorien produseres litt flere antinøytrinoer enn nøytrinoer. Leptogenese lager derfor et lite overskudd av antinøytrinoer tidlig i universets historie. Det skjer så visse partikkelreaksjoner som via flere steg omdanner overskuddet av antinøytrinoer til protoner og nøytroner, og som ikke etterlater seg noe antimaterie.

Om leptogenese er den korrekte forklaringen på materiens eksistens, vet vi ikke enda. Prosessene innebærer brudd på bevaring av leptontall. En gruppe unders ledelse av Hans Klapdor-Kleingrothaus ved Max Planck Institute for Nuclear Physics i Heidelberg, hevder å ha observert brudd på leptonbevaring, men dette er ikke blitt bekreftet av andre grupper som har prøvd å reprodusere resultatet. Det er imidlertid ikke opplagt at eksistensen av leptogenesen avhenger av at K-K-eksperimentet bekreftes.

For tiden arbeides det intenst i flere forskningsgrupper for å oppnå en dypere innsikt i hvordan og når materien vi består av, oppsto. Men foreløpig har universet greid å holde på hemmeligheten om hvordan materien er blitt til.

Referanser

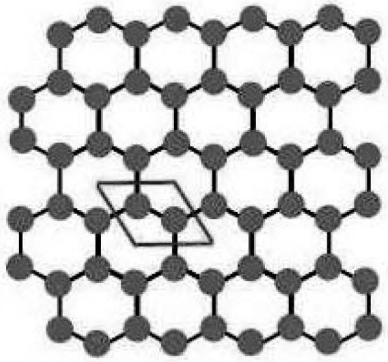
1. Wikipedia: *http://en.wikipedia.org/wiki/Baryogenesis*
2. Riazuddin: *Particle Aspects of Cosmology and Baryogenesis.* Preprint: hep-ph/0302020; Internett: *xxx.lanl.gov*
3. A. Riotto: *Theories of Baryogenesis.* Preprint: hep ph/9807454v2; Internett: *xxx.lanl.gov*
4. A. D. Sakharov: *Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe.* Soviet Physics Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP) **5**, 24-27 (1967)
5. J. W. Cronin, V. L. Fitch et al.: *Evidence for the 2d Decay of the K20 Meson.* Physical Review Letters **13.** 138–140 (1964)
6. Ø. Grøn: *Kvintessens – universets vakuumenergi.* Fra Fysikkens Verden **63,** nr. 1, 9–14 (2001)
7. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* Fra Fysikkens Verden **61,** nr. 3, 73–80 (1999)
8. H. Quinn and Y. Nir: *Why is there something rather than nothing.* New Scientist 12. april 2008, s. 26-29.

∞

Fysikknytt

Grafén, meir enn ei skive av grafitt

Grafitt består av lag av karbon (C). I laga er kvart karbonatom bunde til tre andre karbonatom med sterke, kovalente bindingar i lagplanet, og strukturen har eit bikubemønster, som illustrert i figur 1. Laga er vanlegvis stabla oppå kvarandre slik at det er eit C-atom rett over og rett under midten av sekskanten i mønstret. Det er veike bindingar mellom laga som kan gli sidevegs under ytre påverknad, og som forklarar at grafitt er eit bra smørjemiddel.



Figur 1. Utsnitt av enkeltlag av grafitt, også kalla grafén. Kvart karbonatom er omgitt av tre andre karbonatom i avstand 1,42 Å. Ei repetisjonscelle (rombe) er vist. Cella inneheld to karbonatom.

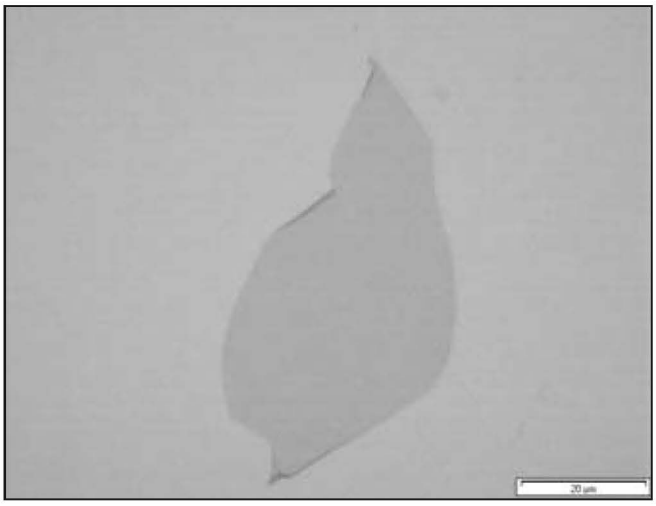
På grunn av lagstrukturen er mange av dei fysiske eigenskapane til grafitt sterkt anisotrope, dvs. i stor grad retningsavhengige. Til dømes har grafitt ei betydeleg elektrisk leiingsevne parallelt med laga, men leiingsevna er berre ein tusendel så stor loddrett på laga. Dei elastiske eigenskapane er likeeins ulike i planet og loddrett på. Grafitt er derfor eit eksempel på eit *kvasi-todimensjonalt* materiale (latin 'quasi' = 'nesten, liksom').

Grafitt har evna til å opne opp laga for framandmolekyl, såkalla interkalering, og ved interkalering blir dei todimensjonale eigenskapane endå meir framtredande. For eksempel om grafitt blir utsett for bromdamp, vil brommolekyl krype inn mellom karbonlaga på ein systematisk måte. Interkalanten (som brom) vil fylle mellomrommet heilt mellom kvart n-te lag, n = 1, 2, 3..., avhengig av konsentrasjonen. Slike system er blitt mykje studerte for sin todimensjonalitet.

Interkalering blir også nytta til å bryte grafitten opp i tynne flak, kalla "ex-foliation". Med n = 1 kan ein frigjere enkeltlag.

I 2004 lykkast det forskarar i Manchester å framskaffe og å studere slike enkeltlag av grafitt, kalla "*grafén*" (engelsk 'graphene'). Med grafén har forskarane skaffa seg eit genuint todimensjonalt materiale, og grafénforskinga har vakse seg stor og sterk på desse fire åra. Sjå figur 2 for bilde av ei grafénskive.

Teoriar for eigenskapar til todimensjonale materiale har funnest lenge. No kan dei settast på prøve. Til dømes var teoretikarane komne til at ordna todimensjonale materiale skulle vere ustabile for termiske rørsler og derfor ikkje skulle kunne eksistere, kjent som Mermin-Wagner-teoremet, så første steg var å bortforklare dette, og det har ein



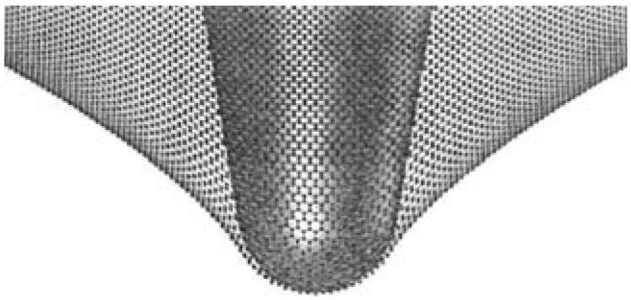
Figur 2. Mikroskopbilde av ein grafénbit, 0,07 mm lang. (Frå salskatalog for AMO, Köln. Gjengitt med løyve.)

greidd: Der må eksistere kopling mellom dei 'ordennedbrytande' gittersvingingane *loddrett* på planet (flagring) og dei sterke bindingane *i* planet, og dette held strukturen på plass. Faktisk observerer ein at grafénskivene er veldefinerte og plane, utan tendens til oppkrølling i ytterkantane.

Grafén har oppsiktsvekkande eigenskapar

Den mekaniske styrken er uovertruffen i feilfrie grafénlag: Elastisitetsmodulen (Youngs modul) i planet er på $5 \cdot 10^{11}$ Pa, omtrent den største som er observert for noko materiale; jf for eksempel med wolfram ($3,55 \cdot 10^{11}$ Pa). Mekanisk kraft for å presse ei nål gjennom oppspend grafén er målt til rundt $2 - 3 \cdot 10^{-6}$ N (jf figur 3). Forfattarane av arbeidet hevdar at sterkare monomolekylært nett ikkje finst.

Varmeleiingsevna i enkeltlag av grafén er nyleg blitt målt. Ein finn tal som er jamførbare med tilsvarande for grafitt og karbon-nanorør av storleik 5 kW/mK parallelt med karbonlaget. Til samanlikning: Leiingsevna for ein god varmeleiar som aluminium er 0,24 kW/mK ved 300 K.



Figur 3. Grafénnett deformert av ein nålespiss. Simulert illustrasjon. (Gjengitt med løyve frå James Hone, Columbia-universitetet, USA.)

Dei elektriske eigenskapane til grafén er omfatta med den aller største interessa, for her har ein å gjere med eit genuint todimensjonalt *elektronisk* materiale. Slike system er mykje studerte teoretisk, og dei første konduktivitetsberekningane for grafitt daterer seg tilbake til 1947. Utgangspunktet er det som går under nemninga "sp^2-hybridisering" av atom-orbitalane, som gir elektronlokalsering i kovalente sterke bindingar *i* molekylplanet, med atomavstandar 1,42 Å, og mindre lokaliserte π-elektron like over og under planet, som er dei som bestemmer den elektroniske oppførsla.

Bandstrukturen som ein bereknar, klassifiserer grafén som ein *2-dimensjonal halvleiar utan bandgap,* og med høge mobilitetar for elektron og hol. Målt mobilitet har synt verdiar høgre enn 2 m^2/Vs, som er langt over det ein t.d. finn i silisium. Det svarar til store verdiar for middelfrivegen mellom elektronkollisjonane.

Vi skal ikkje her gå inn på detaljane i teorien, men kan fastslå at den heksagonale symmetrien gir opphavet til at gapet mellom valenstilstand og leiingstilstand forsvinn, og at elektronfarten er konstant for låge eksitasjons-energiar ("linear dispersion", slik som for fotona, som jo er "masselause partiklar"). Ein slik geometri skulle gi eit materiale der konduktansen skulle gå mot null når temperaturen går mot null, men grafén har ein "restkonduktans", og den syner seg å vere uavhengig av dimensjonane på materialbiten ein måler på! Glupe teoretikarar har funne at den type elektrongeometri som grafén har, gjer at elektrona kan beskrivast som "masselause Dirac-fermion", der 'partikkel-antipartikkel-par' svarar til 'elektron og hol'. Slike partiklar har den eigenskapen at dei er sterkt delokaliserte. Argumentet fører til ein konklusjon at der eksisterer ein minimumskonduktans uavhengig av prøvedimensjonen, og den skal vere av storleik $e^2/\hbar$ (e er elementærladninga; $\hbar$ er planckkonstanten) $\sim 2,4 \cdot 10^{-4}\Omega^{-1}$, og er altså bestemt av berre fundamentalkonstantar! Observasjonane er i godt samsvar med dette.

Nær beslekta med denne effekten er den optiske absorpsjonsevna, absorptansen, til enkeltskiver av grafén: Det er muleg å sjå ei enkel grafénskive med auget! At berre eitt atomlag av karbon skal kunne stoppe mellom 2 og 3 % av lyset verkar utruleg, men slik er det, og det er også den direkte grunnen til at grafén kunne identifiserast i 2004, for det skjedde i eit optisk mikroskop, sjå figur 2. Teorien seier at også absorptansen kan uttrykkast med berre fundamentalkonstantar gitt ved produktet $\pi\alpha$, der α er finstrukturkonstanten, $e^2/\hbar \cdot (4\pi\varepsilon_0 c)^{-1}$. Produktet er 0,023, altså 2,3 % absorpsjon. Effekten er nesten uavhengig av lysbølgjelengda og av temperaturen.

Grafén har andre avanserte elektroneigenskapar: kvante-halleffekt, det vil seie at konduktiviteten i eit magnetfelt er kvantisert mot dopingsgrad, dvs. mot påtrykt spenning, med konduktivitetskvanta (Landau-nivå) på $2e^2/\pi\hbar$, altså fundamentalkonstantar igjen.

Forsking på grafén er svært *in* for tida, og på European Physical Society-Condensed Matter Division-konferansen i Roma i august 2008, hadde den ein brei plass. Ein av "oppfinnarane" frå Manchester, André Geim, gav eit breitt oversiktsforedrag, og han fekk tildelt EPS CMD Europhysics Prize 2008, saman med Kostya Novoselov.

Mange snakkar også om korleis ein skal kunne gjere seg nytte av grafén. Den høge ladningsmobiliteten tilseier bruk i mikroelektronikk, for eksempel i kvanteprikkløysingar, også ved romtemperatur. Spintronikk blir nemnt, for når middelfriveg-en for elektrona er i mikrometerområdet, kan elektrontransporten skje utan at spinnet blir særleg forstyrra. Andre bruksområde er spesifikke gassdetektorar ved at ulike gasstypar vil dope grafénet ulikt. Grafén-entusiastar antyder at "nanorør er *out*, grafén er *in*".

Populærartiklar

1. Andre K. Geim and Allan H. MacDonald: *Graphene: Exploring carbon flatland.* Physics Today, Aug. 2007, p 35- -41.
2. Mikhail I. Katsnelson: *Graphene: Carbon in two dimensions.* Materials Today **10,** no 1–2 Jan–Feb 2007, p 20–27.

Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU

∞

STUDÉR
FYSIKK!

Supereigenskapar i materiale

Nemninga "super" (eller "supra") blir nytta om enkelte eigenskapar ved materiale, helst slike som skil seg ut som ekstraordinære. Supereigenskapar er spesielt knytte til kvanteeffektar ved låge temperaturar, og det er slike vi skal halde oss til her. Men ein skal vere klar over at ordet "super" ofte også blir brukt litt mindre presist, slik som supersterke eller superioneleiande materiale. Velkjente kvantefysiskbaserte supereigenskapar er superfluiditet og elektrisk supraleiing. Nyoppdaga eigenskapar er supersoliditet og superresistivitet.

Superfluiditet er når ei væske (fluidum) kan strøyme utan motstand, det vil seie at viskositeten er lik null. Dette fenomenet er påvist i berre to typar væsker, nemleg ved svært låge temperaturar i flytande helium av isotopane ^{4}He og ^{3}He, muligens også i Li. I superflytande tilstand let dei seg ikkje sperre inne i vanlege behaldarar, men flyt utan vidare oppover karveggane og ut. Effekten er retteleg ein *supereigenskap*. Superfluiditet vart påvist første gong av Kapitsa, og av Allen og Misener, i 1937, i ^{4}He for temperaturar under 2,17 K. Over denne temperaturen er ^{4}He ei "normal" væske, som går over i gassfase ved koking. Superfluiditet blir teoretisk forstått som ein kvanteeffekt, eit *Bose–Einstein-kondensat*, ettersom ^{4}He er eit boson som har heiltalig spinn. I ^{3}He er det par av atom som deltar i superfluiditeten.

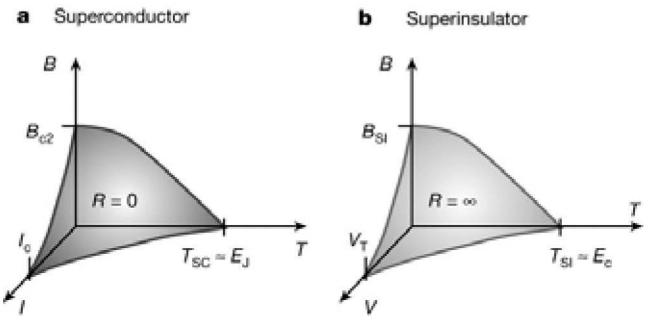
Supraleiing opptrer i mange metall og legeringar, men også i meir samansette stoff ved låge temperaturar. All elektrisk motstand forsvinn når stoffet blir kjølt under sin *supraleiande kritiske temperatur*, kalla T_C; leiingsevna blir då uendeleg stor, og nemninga *supraleiing* er på sin plass å nytte. Eigenskapen vart oppdaga av Kamerlingh Onnes i 1911, f.eks. i kvikksølv under 4,2 K og i bly under 7,2 K. Effekten har langt på veg vore forstått teoretisk som ein kvanteeffekt sidan 1960-åra, der elektrona opptrer i såkalla Cooper-par. Supraleiing i komplekse oksid, ved temperaturar opp til 140 K, vart oppdaga i 1986 og seinare. Denne effekten har enno ikkje funne si fulle teoretiske forklaring.

I det siste har to nye *supernemningar* dukka opp, *supersoliditet* og *superresistivitet*. Det er for tida enno uavklara om desse effektane er reelle.

Nemninga **supersoliditet** for den eigensksapen ho er meint å beskrive, er eigentleg sterkt misvisande, for det er ikkje snakk om materiale som er *supersolide* (f.eks. superharde), men tvert imot om materiale som er faste og krystallinske, men som har eit visst element av redusert viskositet i retning superfluiditet. Eigenskapen vart påvist i fast ^{4}He ved låge temperaturar av Chan og Kim i 2004. ^{4}He er fast ved trykk over 2,5 MPa og temperaturar under 2 K. Funnet vekte stor interesse ettersom teorien forutsa eksistensen av "kondensasjon av defektbølgjer" i materialet. Eksperimenta vart gjentatt andre stader med tilsvarande resultat.

Men nyare målingar har vist at om prøva blir varma opp og kjølt ned mange gonger forsvinn effekten, noko som tyder på at han har si årsak i defektar i det faste stoffet. Dette har fått mange til å tvile på om supersoliditet er ein reell effekt fordi defektar kan gi rom for små mengder flytande ^{4}He i sprekkar og holrom, og den observerte effekten kan skuldast dette.

I **superresistive materiale** (superisolatorar) kan ingen straum passere. Det er ikkje her berre tale om svært gode elektriske isolatorar, slike som kvarts eller glimmer, men om materiale med full blokkade av all elektrisk transport, altså ein slags motpol til supraleiande stoff. Effekten vart påstått observert i tynne lag av materialet titan-nitrid, TiN, av Vinokur og medarbeidarar i 2004 og utetter.



Figur 1. Figuren viser analogi mellom *supraleiing* og *superresistivitet* ved tilstandsdiagrammet i B-T-I-rommet for den supraleiande tilstanden, og tilsvarande for B-T-V-rommet for den superresistive tilstanden. (Etter Vinokur *et. al. Nature* **452,** 613 (April 2008)). B er magnetisk flukstettleik, T er absolutt temperatur, I er straumstyrke og V er elektrisk potensial.

TiN er kjent som eit hardt og sterkt kjeramisk materiale som blir supraleiande under 0,07 K. Vinokur og hans team fann at tynne, finkornige lag av materialet hadde ein merkeleg oppførsel i sterke magnetfelt: For temperaturar under ei viss grense, og ved tilstrekkeleg sterke magnetfelt, forsvinn ikkje

berre supraleiinga, men ingen straumtransport er muleg lenger. Dei kalla materialet i den tilstanden for *superisolator*. Berre tilstrekkeleg høge påtrykte elektriske spenningar gav leiing igjen. Forklaringa som blir fremja, er knytt til rolla til enkeltkorna i det todimensjonale laget. I den supraleiande tilstanden vil superstraum tunnellere frå korn til korn gjennom eit ikkje-leiande overflatelag (Josephson junctions), og danne straumvirvlar rundt det magnetiske feltet. Desse straumvirvlane slår seg saman med straumar i motsett retning, noko som opnar for resistansefri ladningstransport, altså supraleiing. Men ved sterke magnetfelt opptrer derimot ein tilstand der kvart korn blir berar av superladningar, $n \cdot 2e$, som slår seg saman i par, vekselvis med positive og negative verdiar, noko som blokkerer for ladningstransporten og gir ein *superisolator*. Som lesarane forstår, er denne supereigenskapen av utelukkande akademisk interesse og kan vel snautt tenkjast brukt til noko nyttig. Denne eigenskapen er begrensa til tynne sjikt, til kornformig stoff og til superlåge temperaturar. Interessa ligg i at han eventuelt representerer ein ny kvantetilstand i faste stoff.

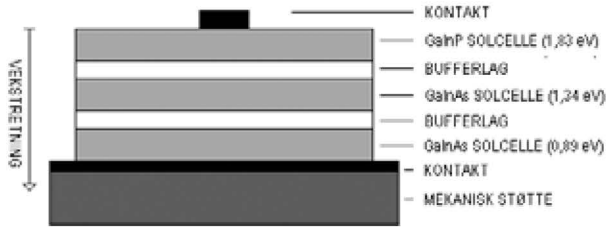
Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU

∞

Ny, lovende solcellekonstruksjon

Det amerikanske forskningslaboratoriet National Renewable Energy Laboratories (NREL) meldte tidligere i høst at de har satt ny rekord for en solcelles virkningsgrad. Den nye rekorden er på 40,8 %, dvs. 0,1 % over den gamle, og ble oppnådd med en tandemsolcelle under sterkt konsentrert sollys.[1]

Denne typen solceller baseres på at solspektret deles i like deler, her tre, som absorberes i like mange solceller montert oppå hverandre, se figur 1. De mest energirike fotonene absorberes i den øverste cellen. Her overføres fotonenergien til elektroner med høyt potensial. De øvrige fotonene slipper mer eller mindre uhindret gjennom denne cellen og absorberes enten i den mellomste eller i den nederste solcellen. Fotonenergiene i midten av solspekteret overføres til elektroner med mellomhøyt potensial, mens de laveste fotonenergiene overføres til elektroner med lavt potensial. På denne måten kan en tandemsolcelle nyttiggjøre seg en større del av sollyset enn en konvensjonell solcelle kan. Tandemsolceller er beskrevet mer detaljert tidligere i FFV.[2]



Figur 1. Skisse av den nye tandemsolcellen. De tre lagene er laget av galliumindiumfosfid (GaInP) og to ulike sammensetninger av galliumindiumarsenid (GaInAs).

Økningen i virkningsgrad på 0,1 % synes kanskje ikke spesielt merkverdig. Det som imidlertid gjør den nye solcellen spesiell, er at den er basert på en ny fremstillingsmåte. De forrige rekordholderne ble fremstilt ved å gro solcellelagene på et relativt tykt og dyrt substrat av germanium (Ge). I den nye solcellen er prosessen snudd opp ned. Hele stabelen av solceller gros i stedet fra en "wafer" av galliumarsenid (GaAs), fra den øverste og nedover. Denne strukturen festes til en mekanisk støtte og gir en svært tynn og lett solcelle som effektivt utnytter dyre materialer. NREL hevder at dette kan føre til store forbedringer både i fremstilling, virkningsgrad, kostnad og drift, og påpeker at det fortsatt er rom for forbedring. Spørsmålet er derfor kanskje ikke om, men heller når, noen fremstiller verdens første solcelle med en virkningsgrad over 50 %.

Referanser

1. *http://www.nrel.gov/news/press/2008/625.html*
2. E.S. Marstein, S.E. Foss og T.W. Reenaas: *Tredje generasjon solceller.* FFV **70**, nr. 2, 55–61 (2008)

Erik Stensrud Marstein
Avdeling for solenergi, IFE

∞

Bokomtale

Alv Egeland, Bjørn Pedersen og Johs G. Torstveit: Lars Vegard - Mennesket, forskeren og læreren. Bokbyen forlag AS, 2008. ISBN 978-82-92920-03-9 (158 sider) 198 kr.

Boken om Lars Vegard: "Mennesket, forskeren og læreren" av Alv Egeland, Bjørn Pedersen og Johannes G. Torstveit, handler om livet til Lars Vegard fra barndommen i Vegårshei til forsker og professor ved Universitetet i Oslo.

Lars Vegard ble født på Vegårshei i 1880. Han tok eksamen artium i 1899 og ble cand.real. i 1905. Boken gir et godt tidsbilde av Lars sin oppvekst i Aust-Agder og forholdene ved Universitetet i Oslo i første halvdel av forrige århundre. Vegard fikk i 1906 en ønskestart i nordlysforskning da han ble spurt av professor Kristian Birkeland, vår mest kjente fysiker, om han ville ta imot en assistentstilling for å arbeide med data fra Birkelands ekspedisjoner. Vegard takket ja, og han opparbeidet seg rasket et stort kontaktnett mot ledende europeiske forskere. Vi får her interessante møter med noen av den tids mest kjente forskere.

Lars Vegard var en aktiv vitenskapsmann. Han var en pioner i krystallografi i Norge, og han hadde kontakt med kjente forskere som Røntgen, Wien, Laue og Bragg, for å nevne noen fysikere som står sentralt i lærebøkene.

Vegards nordlysforskning var banebrytende, og det er her han har satt sine sterkeste spor. Han gjennomførte nøyaktige og tidskrevende spektrometriske observasjoner som resulterte i at han allerede i 1939 var inne på tanken at energetiske partikler gir opphav til nordlyset. Videre målinger av protonnordlyset av Vegard og andre forskere, førte til forståelsen av at hurtige protoner vekselvirket med den øvre atmosfæren, plukket opp et elektron og ble til nøytralt hydrogen som i stor fart sendte ut Dopplerskiftet lys, ga oss løsningen på en av nordlysets gåter. Fra slike målinger kunne protonenes fordeling i energi bestemmes. energetiske nøytrale atomer, ENA, blir i moderne romforskning nyttet til avbildning av prosesser i jordens og planeters magnetosfærer, så Vegard var også her forut for sin tid.

Boken gir et interessant bilde av Vegard som forskningspolitiker, og hans engasjement i prosessen med lokaliseringen av det nye universitetsområdet på Blindern er nøye beskrevet.

Boken gir et svært godt bilde av norsk og europeisk fysikk på begynnelsen av det 20. århundre. Den gir oss verdifulle glimt av berømte og banebrytende fysikere i første halvdel av forrige århundre, hvor Vegard var en del av dette miljøet og regnes som en av våre fremste fysikere.

Det er svært verdifullt at denne boken om Lars Vegard er skrevet slik at vi kan bli kjent med innsatsen til denne markante personen. Boken er lettlest og holder interessen fanget fra første til siste side. Den har mange fine figurer og historiske bilder, selv om noen kunne fått større plass, den har et greit format og prisen er rimelig, 198 kr.

Finn Søraas

∞

Nye Doktorer

Bjørn Askeland

Bjørn Askeland disputerte 5. mai for graden PhD ved Universitetet i Bergen med avhandlingen: *Marine seismics with a Low-level Acoustic Combustion Source and time-coded sequences.*

Resultater med en ny type marin lydkilde, kalt LACS, viser at pulser med lav energi kan brukes til seismiske undersøkelser hvis pulsene sendes raskt etter hverandre med en bestemt innbyrdes avstand. Ved en lang sekvens av pulser vil totalenergien bli stor selv om lydnivået er lavt. Støy fjernes fra lyttekabelen med den samme matematiske metoden som integrerer pulsenergien. Prinsippet er blitt demonstrert med en lyttekabel på bare 10 m i Byfjorden og i den 400 m dype Ålfjorden, hvor det ble sendt sekvenser med opp til 80 pulser i løpet av 10 s. Resultatene viser tydelig forskjellige sedimentlag fra istiden helt ned til grunnfjellet ca. 230 m under havbunnen, og regnes som svært lovende.

LACS vil trolig også kunne brukes til dypere seismikk i forbindelse med borehull, og vil være spesielt godt egnet i miljøsensitive områder på grunn av sitt lave lydnivå. Dypere penetrering kan oppnås ved å bruke flere pulser eller flere hydrofonelementer i lyttekabelen. Alternativt kan LACS bygges større, eller en kan bruke flere kilder. Metoden krever at signalet har gode korrelasjonsegenskaper som oppnås ved en innbyrdes posisjonering av pulsene.

Professorene Halvor Hobæk og Rolf Mjelde har vært veiledere, og arbeidet har vært støttet av Forskningsrådet. Askeland er nå ansatt hos Naxys og arbeider med akustisk overvåking av undervannsinstallasjoner.

∞

Thomas Bognø

Cand.scient. Thomas Bognø disputerte 2. juni for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen *Impacts on oil recovery from capillary pressure and capillary heterogeneities.*

I de sørlige delene av norsk kontinentalsokkel finnes oljefelt som utgjør en betydelig del av Norges oljeproduksjon. Reservoarene er oppsprukket, og vekselvirkninger mellom olje, vann og bergart gir sterke variasjoner i vætningsegenskapene til reservoarene. Sprekker i bergarten og variasjoner vætningsegenskaper er i stor grad styrende for oljeutvinningen. Utvinningsmekanismene i kalkfelt er styrt av kapillære krefter i samspill med gravitasjonskrefter. Derfor er det fundamentalt å forstå hvordan kapillartrykk og variasjoner i kapillære krefter påvirker strømningen i reservoaret, for å kunne oppnå en optimal oljeutvinning.

Doktorarbeidet har i stor grad vært fokusert på å bedre forståelsen av de kapillære kreftenes virkning på oljeutvinning i oppsprukket kalk. Måling av kapillartrykk i kalkstein med varierende vætningsegenskaper er utført med standard metoder. I tillegg er det utviklet en direkte og unik målemetode for kapillartrykk basert på en kjernefysisk avbildningsteknikk. Videre har en fokusert på å bedre forståelsen av utvinningsmekanismene og strømningsmønsteret for vann og olje i oppsprukne kalksteinsmodeller med varierende vætningsegenskaper ved laboratorieforsøk og simuleringer. Arbeidet viser at potensialet for oljeutvinning er stort.

Thomas Bognø arbeidet med doktorgraden ved Institutt for fysikk og teknologi, UiB, med professore Arne Graue som veileder. Han er nå ansatt i oljeselskapet Total, som leder for reservoarstyring i Pazflor-prosjektet, Blokk 17, i Angola.

∞

Martin A. Fernø

M.S. Martin A. Fernø disputerte 5. september for PhD-graden ved Universitet in Bergen med avhandlingen: *A study of capillary pressure and capillary continuity in fractured rocks.*

En stor del av gjenværende petroleumsreserver finner man i heterogene olje- og gassreservoarer. Disse reservoarene har ofte bruddsoner, eller sprekker, som har stor innvirkning på strømningsmønsteret til fluider og dermed på produksjonseffektiviteten. Et oppsprukket reservoar krever god innsikt både i bergartens egenskaper og i hvordan sprekker påvirker væskestrøm for å kunne produsere olje optimalt.

Doktorgraden omhandler produksjon av olje fra oppsprukne reservoarer, hvor sprekker og vekselvirkningen av bergartens vætningsegenskaper påvirker væskestrømninger. Doktorgradsarbeidet har vært eksperimentelt der vann- og oljestrømning over bruddsoner har vært studert. Resultatene viser hvordan utvinningsmekanismene er avhengig av vekselvirkningen mellom sprekker og bergartens fuktegenskaper. Det er vist at betydelig økt oljeutvinning kan oppnåes i oppsprukne reservoarer, både i oljefuktende karbonat og i vannfuktende kalksteinsreservoarer.

Arbeidet har vært finansiert av Forskningsrådet. Veileder har vært professor Arne Graue. Martin Fernø vil fortsette sin forskning som postdoktor ved Institutt for fysikk og teknologi ved Universitetet i Bergen.

∞

Rolf Johannessen

Bachelor of Engineering Rolf Johannessen forsvarte si avhandling *Reliable Michroelectronics for Harsh Environment Applications – Effects of Thermal Stress and High Pressure,* for graden PhD ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, den 29. august 2008.

I denne oppgåva har forskjellige metodar for samankopling av elektriske komponentar vorte studert eksperimentelt. Vidare har passive komponentar sine eigenskapar vorte studert. Testar har vorte utført ved temperaturar opp til 250 °C og trykk opp til 1000 bar, saman med syklisk temperatur og trykkstress. Ei vid rekkje av destruktive og ikkje destruktive eksperimentelle metodar har vore nytta for analyse av eigenskapar og studie av aldring og feilmekanismar.

Professor Per Øhlckers og dr. Frøydis Oldervoll har vore rettleiarar.

PhD-prosjektet har vore del av det strategiske prosjektet "μPEK" ved SINTEF i Oslo, finansiert av Forskningsrådet og seks industrielle bedrifter: Infineon Technologies Sensonor, Roxar Production Management, Presens AS, Kitron Michroelectronics AS, Aker Kværner Well Services AS and Read ASA. Delar av denne PhD-studien har vorte utført i det EU-finansierte prosjektet "eCube" ved SINTEF i Oslo. Rolf Johannessen er no tilsett som forskar ved SINTEF IKT i Oslo.

∞

Ingrid Sundvor

Ingrid Sundvor disputerte 14. mars for PhD-graden ved UiB med avhandlinga: *Studies of the Dynamics of Small Molecules in Strong Fields.*

Ved å la to partikler kollidere, eller sende laserlys mot en partikkel, kan man få informasjon om hvordan kvanteverdenen fungerer. Med dagens teknologi har man store muligheter til å variere laserpulser i styrke, frekvens og lengde, noe som gir utsikter til å kunne manipulere og kontrollere atomer og molekyler på et fundamentalt nytt plan. Teoretiske modeller trengs for å kunne forutse og forstå hvordan atomer og molekyler reagerer og beveger seg i slike situasjoner.

I doktorarbeidet er det brukt flere metoder for å beregne molekylers vekselvirkning ved kollisjoner og i laserlys. Teoretiske beregninger av partikkelbevegelse og prosesser er komplekse, og man må foreta tilnærminger og antakelser. En atomkjerne er i størreselesorden tusen ganger tyngre enn et elektron og vil reagere ulikt på ytre krefter. Derfor kan man for H_2^+ oftest anta at kjernene ligger tilnærmet i ro og konsentrere seg om å beregne bevegelsen til elektronet. Men det er funnet at kjernenes bevegelser i H_2^+ allikevel har effekt på ionisasjonsprosessen i visse tilfeller og må inkluderes i beregningene. Orienteringen av molekylet H_2^+ i forhold til en kolliderende partikkel har vært studert, og man har sett at farten til den innkommende partikkelen kan avgjøre hvilken orientering som gir mest ionisering. Oppførselen til to kjerner som holdes sammen ved hjelp av sterke lasere er også studert.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk og teknologi, UiB, i samarbeid med Laboratoire de Chimie Physique, Matière et Rayonnement, Paris. Veiledere har vært Jan Petter Hansen og Richard Taïeb.

∞

Eldrid Svåsand

Cand.scient. Eldrid Svåsand forsvarte 13. juni 2008 sin avhandling *Nanoparticle complex fluids* for PhD-graden ved Universitetet i Oslo.

Avhandlingen omhandler studier av vekselvirkningene til nanopartikler i væsker i elektriske og magnetiske felt. Hovedfokuset var å utforske en ny type karbonmateriale og se hvordan suspensjoner av dette oppfører seg i et elektrisk felt. Karbonmaterialet som ble brukt bestod av nano- til mikrometerstore partikler formet som flate skiver og kjegler som var elektrisk ledende. Ved å manipulere partiklene med et eksternt elektrisk felt kan man lage ledende strukturer i et kompositttmateriale. Bruk av eksterne felt for å manipulere partikler i væsker er en kjent teknologi med mange muligheter. Med mikroskop ble det observert at partiklene formet kjeder etter noen minutter, avhengig av konsentrasjonen og styrken på det elektriske feltet. Dannelsen av kjeder førte til en økning av viskositeten til væsken.

Den andre delen av avhandlingen omhandlet vekselvirkningen mellom ikke-magnetiske mikropartikler i en magnetisk væske, såkalte magnetiske hull. Forståelse av samspillet og kreftene som virker mellom mikropartikler er viktig på mange felt fra biologi til romfart, og er et aktivt forskningsfelt ved JEEP II-reaktoren på Kjeller. I dette arbeidet ble vekselvirkningene mellom to mikropartikler brukt til å måle viskositeten i en magnetisk væske. Fordelene med denne metoden er de ørsmå mengdene med væskeprøve som er nødvendig, og informasjonen som oppnås om de lokale forholdene.

Arbeidet ble utført ved Institutt for energiteknikk, Kjeller, og Fysisk institutt, UiO, med professor Arne T. Skjeltorp og seniorforsker Geir Helgesen som veiledere.

∞

Marita Sørbø

Cand.scient. Marita Sørbø forsvarte si avhandling *Energetic particles at low altitudes in the equatorial region. Temporal/spatial variations and implications for the source region,* for PhD-graden den 12. september 2008, ved Universitetet i Bergen.

Avhandlinga gjev ny kunnskap om geomagnetiske stormar og ringstraumen, begge ein manifestasjon av vekselverkinga mellom solvinden og jordas nære verdsrom. Ringstraumen ligg i ekvatorplanet i ei høgd på ca. 3–6 jordradier, og er ein elektrisk straum sett opp av elektron og positive ion/proton som kretser rundt jorda. Protona og dei positive iona har energiar rundt 10–100 keV, og me kaller dei energetiske partiklar, eller ringstraumpartiklar. Ein lågbanesatellitt (< 1500 km) i polar bane, vil detektere ringstraumpartiklar i nord- og sørlysområda der partiklane kjem ned mot atmosfæren langs magnetfeltlinene. På lågare breidder vil lågbanesatellitten normalt ikkje observere desse partiklane, men under geomagnetiske stormer, når det nære verdsrommet rundt jorda er sterkt magnetisk forstyrra, måler satellitten partiklane også ved breidder ved den magnetiske ekvator. Denne partikkelpopulasjonen er studert, og avhandlinga drøfter m.a. eigenskapar til partiklane, og romlege og tidsmessige variasjonar i geomagnetiske stormar.

Arbeidet har vore finansiert av Forskningsrådet, og er utført ved Institutt for fysikk og teknologi, UiB, med Finn Søraas som rettleiar. Sørbø har også hatt eit seks månader langt gjesteopphold ved Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, USA. Ho arbeider no som geofysikar og handsamar seismiske data hjå Bergen Oilfield Services.

∞

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2009

Vi har gleden av å invitere FFVs lesere til Fysiker møtet 2009 som holdes på Quality Hotell & Resort i Røros, 12. til 14. august. Bergstaden Røros ble skapt rundt aktiviteten ved koppergruvene i 1644 og er med sin egenartede trehusbebyggelse en internasjonal severdighet som står på UNESCOs liste over Verdens kulturarv. Fysikermøtets program starter onsdag 12. august kl. 14.00 og slutter fredag 14. kl. 12.00.

Fysikermøtet arrangeres annethvert år, og har som formål å bringe sammen og stimulere alle som arbeider innen fysikk eller underviser og formidler fysikk i Norge. Fysikermøtet 2009 arrangeres av Institutt for fysikk, NTNU, i samarbeid med Norsk Fysisk Selskap.

Vi håper å ha satt sammen et spennende og variert program. Plenumsforedragene i år er:

- John Barrow, Cambridge: *The Constants of Nature - - Are They Changing?*
- Åke Ingerman, Göteborg U.: *Fysikproblem i grupp – om lärandemöjligheter.*
- Tom Henning Johansen, UiO: *Magneto-Optical Imaging of Flux Avalanches in Superconductors.*
- Nils Gunnar Kvamstø, UiB: *Hvordan dagens klimamodeller er bygget opp.*
- Ana Marin, CERN: *The Quest for Quark Gluon Plasma with ALICE at LHC.*
- Martin M. Nielsen, København U.: *Towards the Molecular Movie: Ultrafast X-ray snapshots reveal atomic and molecular rearrangements in nanophysical and chemical reactions.*
- Jerker Widengren, KTH: *Ultrasensitive fluo rescence spectroscopy – concepts and possible applications for fundamental biomolecular studies, biomolecular diagnostics and screening.*

Det vil også være årsmøter i Norsk Fysisk Selskap og i Norsk Fysikklærerforening under møtet, og det vil være mulighet for å melde på bidrag til parallellsesjoner som ved tidligere fysikermøter. Nærmere detaljer om det faglige og sosiale programmet blir fortløpende lagt ut på web-sidene til møtet: *http://www.ntnu.no/fysikk/aktuelt/fysikermote2009*

Quality Hotel & Resort ligger 500 meter fra Røros sentrum. Overnatting med frokost, lunsj og tre retters middag koster 1390 kr per døgn i enkeltrom og 1100 kr i dobbeltrom.

Registrering kan gjøres på web-siden fra 1. mars til 1. mai 2009. Registreringsavgiften er normalt 1600 kr, men er redusert til 800 kr for studenter og pensjonister. Etter 1. mai kan vi ikke lenger garantere hotellplass eller den oppgitte hotellprisen, og registreringsavgiften vil øke til 2000 kr. Studenter kan søke Norsk Fysisk Selskap direkte om stipend til reise og opphold ved Fysikermøtet. Mer informasjon vil bli lagt ut på web-siden til møtet.

Vi ønsker alle velkommen til et spennende fysiker møte!

Arne Brataas

Institutt for fysikk, NTNU
Leder av arrangementskomiteen

∞

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Simrad Optronics pris i elektro-optikk

Simrad Optronics A/S vil i 2009 gi 15 000 kr til en fagpris i elektro-optikk.

Prisen kan gis til én eller flere norske forskere som har sitt arbeidssted i tilknytning til norske institusjoner. Prisen gis for forskningsarbeid av høy faglig kvalitet innenfor elektro-optikk eller innenfor et fagområde der elektro-optiske metoder er anvendt. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodeses. Arbeidet bør være av nyere dato, fortrinnsvis innenfor de fem siste år.

Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris

Norsk Fysisk Selskap, med støtte fra Aschehoug, Cappelens Forlag, NKI-forlaget, Norsk Undervisningsforbund og Statoil, vil i 2009 dele ut Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris på 15 000 kr.

Prisen deles ut til én eller flere som gjennom sitt arbeid har gitt et konkret bidrag til utvikling av fysikkundervisningen i skolen (grunnskole og videregående skole). Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet. Innsatsen må kunne dokumenteres i form av artikler, rapporter, bøker eller andre læremidler. Det arbeid som fører til en pris bør helst være av nyere dato (gjerne innenfor de siste fem år).

Vi oppfordrer våre medlemmer til å sende inn begrunnede forslag til kandidater til Norsk Fysisk Selskap, Institutt for fysikk og teknologi, UiB, Allégaten 55, 5007 Bergen.

∞

Ny Birkelandpris

Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk ble utdelt fem ganger fra 1999 til 2007. Prisen som var finansiert i en avtale mellom Norsk Hydro ASA og Norsk Fysisk Selskap, ble gitt for fremragende norsk forskning innen fagområdet fysikk. Denne avtalen med Norsk Hydro var nå kommet til sin avslutning.

En ny prisavtale er imidlertid inngått med Yara International, gjødseldivisjonen i det "gamle Hydro". Den nye avtalen er forhandlet frem i et samarbeid mellom Yara, Norsk Fysisk Selskap, Norsk Kjemisk Selskap og Birkelandkomiteen. Yara vil hvert år gi NOK 25 000 til utdeling av en pris for beste doktorarbeide i fysikk eller kjemi. Prisen alternerer mellom fysikk og kjemi og kalles "Yaras Birkelandpris i fysikk og kjemi". Prisen skal gis til det doktorarbeide som best møter Birkelands forskerånd. Det skal legges vekt på at oppgavens faglige innhold kan bidra til ny teknologi og innovasjon.

Prisvinneren skal velges ut av en komite på fem medlemmer, inkludert en representant fra Yara, en representant fra Norsk Fysisk Selskap og en representant fra Norsk Kjemisk Selskap. Komiteen skal velge fra doktorarbeider fra norske universiteter fra de to siste år. Første pris deles ut blant kjemioppgaver for de to akademiske år 2007/2008 og 2008/2009. Neste utdeling går til en fysikkoppgave for 2008/2009 og 2009/2010.

Birkelandkomiteen er overordnet instans for administrasjon av prisen. Norsk Fysisk Selskap og Norsk Kjemisk Selskap er ansvarlig for publisering og invitasjon av et begrenset antall avhandlinger fra hvert universitet til utvalgskomiteen. Nomineringen gjøres av de inviterte universitetene.

Gunnar Løvhøiden

∞

Trim i FFV

FFVT 4/08

Urvisere

En klokke har analog visning med time-, minutt og sekundviser. Alle tre viserne er festet i midten av urskiven. Alle viserne går fremover med jevn fart, og ingen "hakker" i forbindelse med tikking eller andre måter tiden kunne ha blitt målt på.

Det er lett å være enig i at klokken 1200 om dagen og 2400 om natten, vil de tre viserne teoretisk sett dekke hverandre. Men finnes det også andre tidspunkter hvor viserne dekker hverandre nøyaktig?

Løsning FFVT 3/08

Hvor gamle var barna?

For å tilfredsstille kravet om et produkt på 36, er det åtte mulige tripletter. De er oppført med summen i parentes: 1, 1, 36 (38); 1, 2, 18 (21); 1, 3, 12 (16); 1, 4, 9 (14); 1, 6, 6 (13); 2, 2, 9 (13); 2, 3, 6 (11) og 3, 3, 4 (10).

Vi forutsetter at A kjenner sitt eget husnummer, og derfor ville ha funnet riktige aldere hvis husnummeret hadde passet med bare en av triplettene. Siden A trengte mer informasjon, må husnummeret ha vært 13, som er den eneste tvetydige summen. Mulige tripletter er her (1, 6, 6) og (2, 2, 9).

Opplysningen om at eldste barn er eldre enn de to andre, gjør tripletten 1, 6, 6 umulig. Barna til B er derfor 2, 2 og 9 år gamle.

∞

God Jul og
Godt Nytt År!

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis studenter fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og bibliotek 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 trends og bransjer 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 ofte 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. Ellers kan redaksjonen komme 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 tilleggsstoff.

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1-2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktorgradsomtaler 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 rasterete 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 korrekturene.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Gunnar Løvhøiden
Fysisk institutt, UiO.
e-post: gunnar.lovhoiden@fys.uio.no

Visepresident:
Førsteaman. Øyvind Frette
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
e-post: oyvind.frette@ift.uib.no

Styremedlemmer:
Professor Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Ulf Kristiansen
Inst. for elekronikkk og telekom. NTNU
Forsker Ole Martin Løvvik
Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, UiO
Førsteaman. Kjartan Olafsson
Inst. for fysikk og teknologi, UiB
Professor Einar Sagstuen
Fysisk institutt, UiO
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Akershus, Lillestrøm
Lektor Morten Trudeng
Asker videregående skole

Selskapets sekretær:
Cand.scient. Øyvind Svensen
Inst. for fysikk og teknologi, UiB,
Allégaten 55, 5007 Bergen.
Tlf: 55 58 28 78, Faks: 55 58 94 40
e-post: oyvind. svensen@ift.uib.no
Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Øyvind Grøn
Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:
Professor Åshild Fredriksen
Institutt for fysikk, UiT
Professor Per Chr. Hemmer
Institutt for fysikk, NTNU
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk institutt, UiO
Professor Per Osland
Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonens adresse:
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: oystein.elgaroy@astro.uio.no
e-post: oyvind.gron@iu.hio.no
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.