Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 2010
72. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Sven Oluf Sørensen:
J. Robert Oppenheimer – Del II . . 99
Gausa, Blindheim og Thrane:
Målinger av vulkanaske
ved ALOMAR på Andøya. 106
Øyvind Grøn:
Universets ekspansjon – Del II . 112
Asle Sudbø og Jacob Linder:
Nobelprisen i fysikk 2010 117
Oddbjørn Engvold:
Kavliprisen i astrofysikk 120
Arne T. Skjeltorp:
Kavliprisen i nanofysikk 123
Fra Redaktørene 94
FFV Gratulerer 94
Sven Oluf Sørensen
NTNU
Jacob Linder
In Memoriam. 97
Haakon A. Olsen
Hva skjer 125
Gammadetektor for Romstasjonen
bygges ved UiB
Fra Fysikkens Historie 125
Ulugh Beg
Ny Doktor
Glen Tørå 127
Trim i FFV 127

ALOMAR-Observatoriet med laserstråler og nordlys
(Foto: Kolbjørn Dahle, ARS)
(Se artikkel: Målinger av vulkanaske ved ALOMAR)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Høsten er høysesong for tildeling av internasjonale priser i de nordiske landene, og utvalget er ekstra stort innen de fysiske fagområdene i år, i og med at det igjen var tid for utdeling av Kavliprisene. Nobelprisen i fysikk og Kavliprisene både i astronomi og nanoteknologi, er alle omtalt i dette nummeret av Fra Fysikkens Verden.

Selv om Raftoprisen og nobelprisene for fred og litteratur får adskillig bredere omtale i media, er det å håpe at prisene innen de fysiske vitenskaper ikke går helt upåaktet hen hos politikere og allmennhet. I år er det nemlig gode muligheter for å lære noe om forskning og teknologiutvikling i sin alminnelighet fra de ulike tildelingene. De viser alle tydelig at ny teknologi og samfunnsnyttige fremskritt kan skapes i vel så stort mon fra grunnforskning som fra direkte anvendt teknologiutvikling.

At grafen, som Nobelprisen i fysikk ble gitt for utviklingen av, er et materiale med spennende egenskaper som kan komme til stor nytte for oss i fremtiden, er vel neppe så vanskelig å skjønne. Utvikling av DNA-basert nanoteknologi og presisjonsflytting av enkeltatomer åpner også for nye muligheter på det teknologiske plan.

Men hva da med astrofysikken? Nettopp Kavliprisen i astrofysikk illustrerer kanskje aller best hvordan intens søken etter, og ønske om, å besvare grunnleggende spørsmål om universet kan gi uante teknologiske ringvirkninger. Det var astronomenes behov og ønsker om bedre og mer presise observasjoner av alt fra supernovaer til eksoplaneter og miljøet på planetene og objektene i vårt eget solsystem, som tvang fram nye løsninger for bedre teleskoper, som de tre prisvinnerene har utviklet. Utviklingen av disse, og observasjonene de muliggjorde, har blant annet åpnet for den revolusjonen innen kosmologi som førte til at mørk energi, som beskrevet av Øyvind Grøn i dette og forrige nummer av FFV, nå er en del av standardmodellen for universet. Samtidig har disse behovene fått de nye, nå prisvinnende teleskopmakerne til å utvikle teknologi blant annet for datastyring av speil og teknologi for forstørrelse av speil som kan utnyttes til mange andre formål. Betegnende nok har den ene prisvinneren, Roger Angel, allerede startet sitt eget firma der han vil utvikle en billigere versjon av speilteknologien for å utnytte solenergi på en god og effektiv måte.

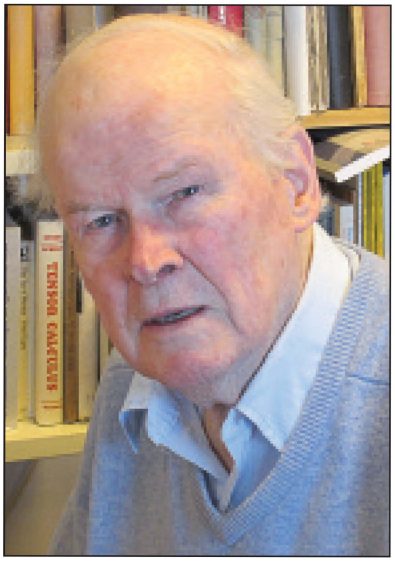
Dermed kan man kanskje se at det å rangere forskningens nytteverdi ut fra hva man på forhånd kan tenke seg at den kan brukes til, og å satse tungt på forskning som bare ser direkte på anvendte problemer som man ønsker å løse, kanskje ikke gir de beste og mest innovative løsningene. Å gi grunnforskningen en sjanse til å svare på de mest grunnleggende spørsmålene, kan kanskje gi vel så mange løsninger på de mer jordnære spørsmålene vi også stiller oss.

Marit Sandstad

∞

FFV Gratulerer

Sven Oluf Sørensen 90 år



Professor emeritus ved Universitetet i Oslo, dr.philos. Sven Oluf Sørensen, fylte 90 år 26. november.

Sørensen er nestor i norsk partikkelfysikk, og med rette, siden han var den som introduserte eksperimentell høyenergi kjernefysikk og elementærpartikkelfysikk ved Universitetet i Oslo for om lag 60 år siden. Han kom da tilbake fra noen års forskningsopphold ved Bristol University, som var et ledende senter for partikkelfysikk. Den rådende eksperimentalteknikk var den gang basert på fotografiske emulsjoner, der sølv- og bromkjerner ble

eksponert for kosmisk stråling eller partikler fra akseleratorer. Sørensens studier av tunge fragmenter som ble produsert i slike reaksjoner, dannet basis for hans doktoravhandling i 1952 og hans forskning i flere år deretter.

Etter hvert orienterte Sørensen og hans gruppe seg mot CERN. På 1960-tallet begynte gruppen å studere reaksjoner mellom protoner fra CERNs protonsynkroton (PS) og protoner i et 30 cm boblekammer fylt med hydrogen. Litt etter ble et 2 m boblekammer plassert i protonstrålen fra PS, og Sørensens gruppe fikk installert teknisk avansert utstyr til å studere proton-proton reaksjoner i dette kammeret. Dette initierte dannelsen av det nordiske pp-eksperimentet ved 19 GeV/c (The Scandinavian Bubble Chamber Collaboration), som ga opphav til et fruktbart samarbeid mellom nordiske universitetsgrupper i en lang årrekke.

Boblekammerteknikken ebbet ut på 1960-tallet, og deteksjon av partikkelreaksjoner ved hjelp av sensorer koblet til elektronisk utstyr tok over. Sørensen var tidlig klar over at dette åpnet nye perspektiver, og hans gruppe var med på Arne Lundbys eksperimenter ved CERNs superprotonsynkrotron (SPS) som startet opp på 1970-tallet. For første gang ble et diffraksjonsmønster observert i proton-antiprotonreaksjoner.

Under Sørensens nennsomme ledelse vokste hans gruppe ved Fysisk institutt i størrelse og respekt. Sørensen har alltid oppmuntret de yngre i gruppen til å engasjere seg i nye prosjekter. Da LEP-akseleratoren var under konstruksjon ved CERN på 1980-tallet, så han klart betydningen av at gruppen engasjerte seg i DELPHI-eksperimentet.

Sven Oluf Sørensen har en enestående forståelse av de grunnleggende sider ved fysikken. Hans tidlige formidling av naturens symmetriegenskaper har tent mange studenter, likeså hans inspirerende forelesninger over moderne fysikk i fullsatt Store fysiske auditorium. Forelesningene hans var både en estetisk og en retorisk nytelse. Sørensen var også en usedvanlig populær veileder for sine mange hovedfagsstudenter. Han hadde stor kontaktflate og introduserte sine studenter for internasjonalt ledende fysikere. Sørensens fysikkforståelse omfatter også fysikkens historie. Fremdeles i sitt 90. år skriver han populære artikler om skjellsettende begivenheter i denne.

Sørensen har fått anerkjennelse for sin innsats for partikkelfysikken gjennom innvalgt medlemskap i Det Norske Videnskaps-Akademi (1965) og i Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (1990). I 1991 ble han utnevnt til Ridder av 1. klasse av St. Olavs Orden.

For Sørensen eksisterer ikke C.P. Snows "to kulturer" – for ham er naturvitenskapen en integrert del av åndslivet. Dette kommer bl.a. til uttrykk gjennom hans store interesse for, og kunnskap om, 1900-tallets åndsliv og historie. Ikke minst har han gjort en utrettelig innsats for å gjøre sin fars, maleren Henrik Sørensens, kunstverker tilgjengelig for allmennheten ved å reise Holmsbu Billedgalleri (1973) og Vinje Biletgalleri (1991). For innsatsen med Holmsbu mottok Sven Oluf Sørensen Buskerud Fylkeskommunes Kulturpris i 1978. Han har også skrevet en stor biografi om sin far.

Nittiåringen Sven Oluf Sørensen er å se på Fysisk institutt nesten daglig. Hans vennlige vesen, gode humør og vidd, samt hans omfattende kunnskaper, er høyt verdsatt overalt hvor han ferdes. – *Våre hjertelige lykkeønskninger med 90-årsmilepelen!*

Lars Bugge, Torleiv Buran, Kjell Martin Danielsen, Tor Jacobsen og Eivind Osnes

∞

Til vår mentor

Kjære Sven Oluf!

Vi er noen av dine tidligere hovedfagsstudenter som har "snakket sammen", og bedt Fra Fysikkens Verden om å ta inn en hilsen i anledning din 90-årsdag. Det er ikke bursdagen din som er hovedsaken, men vi benytter den som et påskudd til å fortelle noe vi har på hjertet.

Du ble vår veileder i hovedfagsstudiet. I tillegg til å være vår fremste fagperson, var du en varm menneskekjenner. Du så oss, du hjalp oss og du ga oss selvtillit i arbeidet med et krevende fagfelt. Du var pedagogen som når alt "stoppet opp", brakte alt over i en fase der vi så sammenhengen og fikk oversikt.

Kunstneren og estetikeren kom til syne gjennom dine forelesninger der alt var disponert og ordnet på forhånd. Tavlene var små kunstverk. Dette var en ganske annen og langt bedre formidling enn dagens ferdige bilder på Power Point.

Du ble venn med oss, du lyttet til oss og kom med små og humørfylte betraktninger. Vi jobbet til tider hardt, kjørte nattskift for å utnytte måleapparaturen. Og når behovene meldte seg for

å avreagere litt, så forsto du dette og tok gjerne en liten fest sammen med oss.

I din tid gjennomgikk elementærpartikkelfysikken en enorm utvikling. Fra studier av reaksjoner i fotografiske plater, skapt av høyenergetiske partikler i kosmisk stråling, til studier av reaksjoner i de enorme akseleratorene i CERN. Mange studenter på første avdeling ble inspirert av dine forelesninger til å velge hovedfagsstudier i fysikk. Selv tok du imot mange hovedfagsstudenter og bygget et sterkt miljø innen fagfeltet. Med ditt store og personlige kontaktnett sikret du også mange av dine kandidater internasjonale forbindelser.

Noen av oss opplevde et laboratorium som inneholdt en målemaskin for filmene fra CERN, og samtidig en leiremodell av det fantastiske Holmsbu Billedgalleri som du den gang hadde under utforming. Her smeltet naturens kunst og den menneskeskapte kunst sammen.

Du er fortsatt med oss gjennom dine grundige og detaljrike artikler i Fra Fysikkens Verden. Når vi leser disse, hører vi stemmen din og føler oss hensatt til tiden vi lyttet til dine forelesninger. Vi takker deg for all faglighet og menneskelighet og ser fram til nye artikler fra deg i Fra Fysikkens Verden. Og til slutt, selv om du i din beskjedenhet ikke ønsker personlig oppmerksomhet: *Gratulerer med 90-årsdagen den 26. november!*

Med takknemlig hilsen fra tidligere hovedfagsstudenter

∞

NTNU – NTH 100 år

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU – tidligere NTH) feirer 100 år. Etter et stortingsvedtak i 1900 ble NTH offisielt innviet av kong Haakon i 1910, som Norges første institusjon for høyere utdanning innen teknologi. I 1968 kom samlingen av akademiske miljø til Universitetet i Trondheim, og i 1996 fikk dette sin endelige form i NTNU.

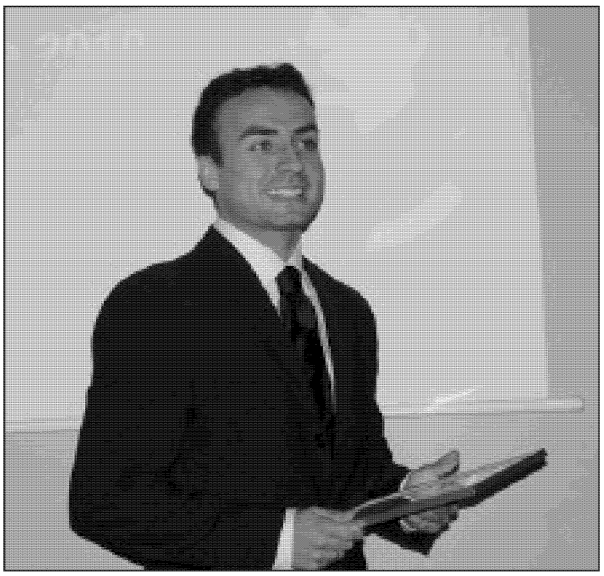
Vi registrerer at fysikere har spilt en synlig rolle i institusjonens historie. Den første rektor var fysikeren Sem Sæland, mens Eivind Hiis Hauge og Torbjørn Digernes har vært rektorer det siste tiåret.

Norsk Fysisk Selskap gratulerer jubilanten!

Per Osland
president i NFS

∞

Birkelandprisen til Jacob Linder



Vinneren av Yaras Birkelandpris i fysikk for 2010 er PhD Jacob Linder, NTNU. Prisen tildeles for det beste doktorgradsarbeidet i fysikk ved et norsk universitet i de to siste årene. Linder mottok prisen i stilfulle omgivelser i forbindelse med Birkelandforelesningen i Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, 23. september. Prisbeløpet er på 25 000 kr, og betales av Yara International ASA.

Det var nominert i alt åtte kandidater til årets Birkelandpris. Syv av de nominerte har levert solide arbeider som det ville ha vært en meget krevende oppgave å vurdere opp mot hverandre. Dette ble komiteen spart for, fordi den åttende avhandlingen var helt utenom det vanlige, både hva angår kvalitet og omfang. Den inneholdt i alt 25 artikler, 21 publisert i *Physical Review B* og 4 i *Physical Review Letters*, i løpet av en fireårsperiode.

Jakob Linder forsvarte sin avhandling *"Quantum transport and proximity effects in unconventional superconducting hybrid systems"* ved NTNU 3. april 2009 (se FFV nr. 2/09). Trass i det formidable omfanget av doktorgradsarbeidet er det ingen tvil om at det er kandidaten og hans veileder, Asle Sudbø, som har vært de drivende kreftene i dette forskningsprogrammet: Linder er førsteforfatter på 20 av arbeidene, og han har i gjennomsnitt kun to medforfattere, veileder iberegnet.

Avhandlingen fokuserer på teoretisk beskrivelse og numerisk modellering av elektron- og hulledning gjennom grenseflater mellom en superleder og et annet materiale, ofte en ferromagnet. På slike grenseflater opptrer nye interessante og uventede effekter som kan være svært følsomme for materialenes og

grenseflatenes natur. Noen slike effekter er først forutsagt av Linder og hans samarbeidspartnere.

Linders arbeid kan ha betydning utover det å være meget aktuell og spennende grunnforskning. Den eksplosive utviklingen i hastighet og lagringskapasitet for computere, lagringsmedier og kommunikasjonsnettverk, er gjort mulig av stadige fremskritt i design av materialer og grenseflater i de elektroniske komponentene. Hvis det kan finnes praktiske løsninger som inkluderer bruk av superledende materialer, er det ingen tvil om at det vil komme nye store sprang i hastighet og kapasitet. Den mest spennende muligheten er å lage komponenter som beholder sin kvantekoherens lenge nok til at kvantecomputere blir en praktisk realitet.

Det er ingen tvil om at Jacob Linders doktorgradsarbeid oppfyller kravet om å samsvare med Birkelands forskerånd: Det representerer grunnforskning på sitt beste som også kan bane veien for teknologiske gjennombrudd og innovasjon i en ikke for fjern fremtid. – *Vi gratulerer!*

Per Amund Amundsen

∞

In Memoriam

Haakon A. Olsen (1923–2010)

En nestor i norsk fysikk er gått bort. Professor Haakon Andreas Olsen døde den 22. august 2010 etter et langt liv og en meget aktiv innsats på mange områder, særlig innenfor vårt fagfelt og i universitetspolitikk. Han var født i Tromsø i 1923 og ble 87 år gammel. Familien hadde ikke god økonomi og han tok examen artium som privatist i 1944. Han fikk stipendium og begynte på NTH. Etter å ha studert arkitektur i ett år, gikk han over på linjen for teknisk fysikk. Han var påvirket av Harald Wergeland som hadde etablert teoretisk fysikk på et høyt nivå og hadde et sterkt internasjonalt nettverk.

Haakon Olsen ble sivilingeniør i 1950 og ble straks vitenskapelig assistent. I 1951 publiserte han sammen med Wergeland et arbeid om synkrotronstråling *"On the Light from Synchrotron Beams"*, da et meget aktuelt område. Han fortsatte med en kvantemekanisk undersøkelse av synkrotronstråling, og videreførte derved klassiske beregninger som var foretatt tidligere av Julian Schwinger. Resultatet, som påviser gyldigheten av Schwingers klassiske beregninger opp til svært høye energier, ble publisert i *The Physical Review, Letters to the Editor*, i 1952, samtidig med en lignende beregning fra en gruppe ved Berkeley. Målinger fra både Berkeley og Cornell var helt i samsvar med de teoretiske resultatene. Hans dr.techn.-avhandling, *"Studies on the Radiation from Electrons in Circular Accelerators"*, kom i 1953 og var basert på disse beregningene. Avhandlingen ble publisert i Det Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter.

Et sentralt fagområde for Haakon Olsen ble kvanteelektrodynamikken (QED). Hans studieopphold i 1954–55 ved California Institute of Technology og ved Cornell University i miljøet rundt Hans Bethe, betød en befestet posisjon innen QED. Et mangeårig samarbeid med Leonard Maximon ble også startet opp. Olsen bidrog til studier av bremsestråling og par-produksjon, samt polarisasjonsavhengige fenomener. Mange av disse resultatene er samlet i hans bok *Applications of Quantum Electrodynamics* som kom ut i 1968 i serien *Springer Tracts in Modern Physics*, vol. 44.

Haakon Olsen hadde flere utenlandsopphold: Han ble tidlig stipendiat ved Niels Bohr Institutet i København, hadde et langvarig NORDITA-opphold og et langt arbeidsopphold ved National Bureau of Standards (nå NIST) i Washington DC, hvor han ledet avdelingen for strålingsteori.

På slutten av 70-tallet, da Weinberg-Salam-teorien og kvantekromodynamikk (QCD) ble "standardmodell", kom Haakon Olsen raskt med i denne nye fysikken med arbeider innen elektron-positron-annihilasjoner. Temaer som her ble tatt opp var gluon-jetpolarisasjonen og elektrosvake effekter som

skyldes elektron- og positronstrålenes polarisasjon. Senere bidrog han på mange andre områder, som binding av atomkjerner og magnetiske monopoler, dannelse av aksioner og glueballs, og supersymmetri. Han hadde stor evne til å ta opp og bearbeide nye problemstillinger – denne fleksibilitet tillot ham f.eks. tidlig å publisere viktige og ofte refererte bidrag om lydtrykk og akustikk.

Haakon Olsen ble i 1956 utnevnt til dosent ved NTH, og han ble personlig professor samme sted i 1962. I 1965 ble han professor ved NTH med "plikt til å forestå undervisningen ved Norges Lærerhøgskole, Trondheim". Denne stillingen ble senere flyttet over til AVH, som var ny betegnelse på Norges Lærerhøgskole, NLHT. Ved NLHT hadde han en meget sentral rolle i oppbyggingen av Fysisk institutt, særlig de første ti årene. Vesentlige momenter var oppbyggingen av et godt miljø i teoretisk fysikk, særlig partikkelfysikk, og hans initiativ til et eksperimentelt miljø i biofysikk.

Haakon fikk også mange betydningsfulle verv. Han var rektor ved Norges Lærerhøgskole, Trondheim, fra 1969 til 1975, de siste tre årene også formann i Interimstyret for Universitetet i Trondheim. Dette var like etter at universitetet var opprettet med NLHT som en av universitetets tre delenheter. Han var en sentral aktør i forhandlingene om universitetsstrukturen, og han ledet planleggingen av den første utbyggingen av universitetssentret på Dragvoll. Den store arbeidsinnsatsen som krevdes i disse vervene, både strategisk og rent praktisk, forhindret ikke en viktig arbeidsinnsats innenfor teoretisk fysikk i senere år. Han var styremedlem i NORDITA fra 1974 til 1989, og var formann i styret i perioden 1977–81.

Haakon Olsen var en dedikert teoretisk fysiker, men hadde den viktige evnen å se at fysikk er en eksperimentell vitenskap hvor basis er eksperimentelle resultater. Han nevnte ofte dette at teorien må konfronteres med eksperimenter. Så arbeidet han også for opprettelsen av en "utvekslingsavtale" mellom NORDITA og DESY.

Haakon var medlem av CERN-utvalget under NAVF fra 1976, og etter 1977 som utvalgets formann. Der var han også en dynamisk leder og gjorde en betydelig innsats for å øke støtten til norsk partikkelfysikk, spesielt til det store LEP-DELPHI-eksperimentet ved CERN. Han ble en nøkkelperson i utviklingen av teoretisk partikkelfysikk i Norge.

Flere vitenskapelige selskaper hadde glede av Haakons medlemsskap. Spesielt skal nevnes at han har vært medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab siden 1958, og at han har ledet dette selskapet som preses fra 1990 til 1995.

Han ble æresmedlem av Norsk Fysisk Selskap fra 1992, og har vært styremedlem i selskapet fra 1987 til 1993. Han var i mange år formann for faggruppen for generell teoretisk fysikk. Fra 1962 til 1976 var han også redaktør for Fra Fysikkens Verden.

Han var en av skaperne av Fysikkrådet på slutten av 60-tallet, og var mangeårig formann der.

Haakon var en god miljøskaper og hadde et meget stort antall studenter både fra inn- og utland. Av studentene hans er tolv i dag ansatt ved universiteter i Norge: Kjell Mork, Thorvald Engh (metallurgi), Hans Kolbenstvedt, Helge Engan (fysikalsk elektronikk), Martin Landrø (petroleumsteknologi), Ingve Simonsen, Sigmund Waldenstrøm og Ingjald Øverbø i Trondheim, Finn Ravndal og Olav Syljuåsen i Oslo, Per Osland i Bergen og Paul Papatzacos (anvendt matematikk) i Stavanger.

Det er ingen tvil om at det er en sentral person i norsk fysikk og universitetspolitikk som nå er gått bort. Haakon bevarte sin arbeidskraft og interesse for fysikk lenge etter han ble pensjonist. Hans siste vitenskapelige publikasjon ble trykt i *Physical Review* i 2003. Hans arbeidsinnsats gjenspeiler også hans brede interesseområder, ikke bare faglig, men også universitetspolitisk og menneskelig. Han forente humanistiske interesser med de naturvitenskapelige – noe som var viktig for hans brede innsats som rektor, universitetspolitiker og lærer. Han var sterk og uredd i sitt virke og vil etterlate et stort tomrum.

Haakon giftet seg tidlig med Betty, og de holdt sammen til hun døde i 2009. De fikk to døtre, Hanne og Guri. Vi forener oss med familien i savnet etter Haakon Andreas Olsen.

Anders Johnsson, Kjell Mork, Kåre Olaussen og Per Osland

∞

J. Robert Oppenheimer (1904–67) – Del 2
Fra respektert leder til spionmistenkt

Sven Oluf Sørensen *

Den amerikanske fysikeren J. Robert Oppenheimer kom med viktige bidrag til kjernefysikken og relativistisk astrofysikk. Han er likevel mest kjent for å ha ledet arbeidet med å konstruere den første atombomben under den andre verdenskrigen. I de første årene etter krigen ble Oppenheimer en meget innflytelsesrik person og leder av flere amerikanske komiteer som behandlet atomteknologi. Dette ble omtalt i første delen av denne artikkelen. Fra midten av 1950-årene ble imidlertid den politisk radikale Oppenheimer utsatt for en nedverdigende "høring" av amerikanske myndigheter og ble fratatt all innflytelse i amerikansk atomvåpenvirksomhet. Dette er hovedtema i denne delen av artikkelen.

Opptakten

Oppenheimer hadde lenge båret på en anelse om at noe mørkt og skjebnesvangert lå foran ham. Denne angsten ble en realitet. Fra å være nærmest en halvgud i slutten av 1940-årene ble Oppenheimer i 1950-årene gradvis detronisert og til slutt utsatt for dypt urettferdige og nedverdigende forhør. Årsakene til dette var mange. En av de mest avgjørende var hans holdning til USAs hydrogenbombeprosjekt. Bakgrunnen for dette går tilbake til Los Alamos i begynnelsen av 1940-årene.

Da Los Alamos ble etablert i 1942, med Oppenheimer som direktør, ble det nødvendig med en sjef for teoriavdelingen. *Edward Teller* hadde et sterkt ønske om denne stillingen. Men Oppenheimer mente, av mange grunner, at *Hans Bethe* var bedre kvalifisert, og Bethe ble valgt. Dette medførte en viss kjølighet i forholdet mellom Robert Oppenheimer og Edward Teller.

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

En av grunnene til valget av Bethe var at Teller ikke hadde vist tilstrekkelig konformitet med den vedtatte målsetting i Los Alamos som var å kon-

Robert Oppenheimer (i 1960-årene)

struere en uran- eller plutoniumbombe basert på fisjonsprosessen alene. Teller hadde nemlig tidlig anbefalt å gå direkte på en hydrogenbombe basert på fusjon. Ledelsen i Los Alamos vedtok likevel å etablere en liten gruppe under ledelse av Teller som skulle undersøke mulighetene for en "Super", som hydrogenbomben ble kalt.

I de første årene etter Hiroshima ble hydrogenbomben mer eller mindre lagt på is. Men etter prøvesprengningen av den første sovjetrussiske atombomben i september 1949, kom hydrogenbomben igjen i fokus. Mange mente at Amerikas svar på Sovjet-bomben var å gjøre et sprang i våpenutviklingen. Det betød å konstruere en hydrogenbombe hvor den frigjorte energien var over

tusen ganger større enn i de eksisterende atombombene.

Oppenheimer var, som formann i den rådgivende komiteen *General Advisory Commitee* (GAC), en sentral skikkelse i denne debatten. I oktober 1949 ledet han et møte i GAC hvor det ble avholdt en avstemning om man skulle starte på et *"crash"*-program for å utvikle hydrogenbomben. Alle de 8 medlemmene av GAC stemte imot.

Lewis Strauss

Denne debatten skaffet Oppenheimer mange fiender. En av hans sterkeste motstandere var den politisk innflytelsesrike finansmannen *Lewis Strauss*. Han var i meget sterk favør av å utvikle en hydrogenbombe. Strauss klarte ved hjelp av sine forbindelser å tilegne seg en rekke stillinger med makt i etterkrigstidens amerikanske establishment, blant annet som medlem av *Atomic Energy Commision* (AEC) i 1947–1950, og ble formann der fra 1953. Dette benyttet han til å utøve en ødeleggende innflytelse på Oppenheimers liv.

Fra høsten 1953 ble Oppenheimer utsatt for en planmessig intrige, til en stor grad regissert av Strauss, med det formål å fjerne ham fra hans sentrale posisjon i amerikansk atomenergipolitikk.

I 1953 utarbeidet *William Borden* et langt anklageskrift mot Robert Oppenheimer basert på informasjon som Strauss hadde tatt fra AECs arkiver. Brevet ble sendt til FBI-direktøren *Edgar Hoover* den 7. november 1953. Dette, sammen med ytterligere data fra FBIs overvåking av Oppenheimer, ble den 27. november oversendt forsvarsminister *Charles Wilson* og president *Eisenhower*. Tidlig neste morgen hadde presidenten et møte med sin nasjonale sikkerhetsrådgiver, *Rober Cutler*, og ba ham ta øyeblikkelige forhåndsregler mot Oppenheimer. Eisenhower innkalte Strauss til et møte i Washington. Etter en kort diskusjon beordret presidenten at det skulle settes opp *"a blank wall"* mellom Oppenheimer og all informasjon av sensitiv eller klassifisert karakter.

Oppenheimers situasjon i desember 1953 var at hans medlemskap i det rådgivende organ GAC gikk ut ved nyåret 1954. Hvis dette skulle fornyes, måtte hans sikkerhetsklarering opprettholdes. Det var på dette punkt at Strauss og hans allierte satte inn sine angrep. Ved å så tvil om Oppenheimers lojalitet til USA kunne man forhindre sikkerhetsklareringen og dermed umuliggjøre hans fortsatte medlemskap i GAC. Strauss hadde i flere måneder forsøkt å forberede opinionen på denne aksjonen, blant annet ved å få innflytelsesrike journalister til å skrive artikler mot Oppenheimer i magasiner som TIME, LIFE og FORTUNE. I mai 1953-utgaven av FORTUNE var det for eksempel en anonym artikkel med tittel: *"The Hidden Struggle for the H-Bomb. The Story of Dr. Oppenheimers Persistent Campaign to Reverse U.S. Military Strategy."*

Den 21. desember 1953 ble Oppenheimer innkalt til Strauss' kontor i Washington, og Strauss informerte ham om følgende:

Myndighetene var konfrontert med et vanskelig problem angående Oppenheimers fortsatte sikkerhetsklarering og medlemskap i GAC. President Eisenhower hadde utstedt en ordre som krevet en revurdering av alle personer hvis "filer" inneholdt politisk sensitiv informasjon. Strauss sa at han hadde oppdaget at dataene om Oppenheimer innholdt meget av dette, og at hans klarering derfor måtte revurderes. Deretter refererte Strauss til Bordens brev. Etter en del diskusjon frem og tilbake presenterte Strauss Oppenheimer for to valg: Enten kunne han frivillig trekke seg fra sitt medlemskap i GAC. Det ville umiddelbart ha den virkning at han ville miste sin sikkerhetsklarering. Det annet alternativ var at Oppenheimer utsatte seg for en undersøkelse av sin lojalitet til USA. Det skulle strengt tatt ikke bli en rettssak, men en "høring".

Etter et par dagers betenkningstid valgte Oppenheimer å la seg forhøre av en kommisjon satt opp av AEC og dens formann, Lewis Strauss. Etter å ha vært i, hva hans venner senere fortalte, *"an almost despairing state of mind"*, forfattet Oppenheimer, etter konsultering med sine rådgivere,

et kort brev til Strauss etter at denne meget sterkt hadde oppmuntret ham til i stillhet å trekke seg fra sitt medlemskap i GAC. Oppenheimer skriver: "Jeg har meget alvorlig overveid Deres forslag om at jeg skulle trekke meg fra GAC. Men under de nåværende omstendigheter ville dette bety at jeg aksepterer og er enig i det syn at jeg ikke er skikket til å tjene vår regjering som jeg har tjent i over tolv år. Det kan jeg ikke gjøre. Jeg ville blant annet vært en uverdig direktør for "Institute for Advanced Studies" i Princeton."

Da Strauss mottok Oppenheimers brev begynte han straks å organisere rammene omkring en "sikkerhetsklarering" for Oppenheimer. Strauss' første skritt var å få en av avdelingslederne i AEC, en offiser i den amerikanske hæren, *Kenneth Nichols*, til å forfatte et brev med de formelle anklagepunktene mot Oppenheimer. Julaften 1953 kom to FBI-agenter til Oppenheimers kontor "Olden Manor" i Princeton og tok med seg alle hans klassifiserte papirer. Samme dag mottok Oppenheimer et brev fra Nichols, hvor det sto at AEC stilte spørsmål ved om hans fortsatte arbeid i *Atomic Energy Commission* ville sette nasjonens sikkerhet og forsvar i fare.

Etter at Oppenheimer hadde mottatt Nichols' anklageskrift, ble han opptatt av å forberede forsvaret sitt. Etter en del konsultasjoner med sin rådgiver og venn, *Herb Marks*, bestemte han seg for å engasjere som sin forsvarsadvokat *Lloyd K. Garrison.* Den 5. mars 1954 ble Oppenheimers forsvarsskrift overlevert til AEC i form av en flere sider lang selvbiografi.

Høringene

Mandag 12. april 1954 startet forhandlingene i en bygning i Washington som hadde vært brukt til kontorer for forskningsdirektøren i AEC. Allerede i starten av møtene presiserte juryformannen *Gordon Gray,* at dette ikke dreide seg om en rettssak, men om en etterforskning. Dette viste seg i løpet av høringene ikke å være tilfelle. Mange har i ettertid sagt at møtene nærmest fikk karakter av en "inkvisisjonsprosess".

Allerede på den første dagen av høringene bemerket en av Oppenheimers forsvarere en uregelmessighet som gjorde at hele prosessen kom skjevt ut fra starten av. I en rettssak skal alle parter ha adgang til alle relevante data i saken. Foran hver av de tre jurymedlemmene var det stablet opp en rekke med 3000 sider av dokumenter, som bl.a. inneholdt klassifiserte FBI-data, samlet opp etter over ti års avlytting og overvåking av Oppenheimer. De tre jurymedlemmene, Kenneth Nichols og anklageren Roger Robb hadde i flere uker hatt adgang til disse dokumentene og visste hva som sto i dem. Garrison hadde forsøkt å få innsyn i de samme dataene, men ble nektet dette av Strauss med den begrunnelse at han ikke var sikkerhetsklarert. Garrisons forsøk på å oppnå sikkerhetsklarering ble avslått av Strauss. Denne situasjonen viste seg flere ganger å være en ulempe for forsvarerne.

Alle aktørenes innlegg i den ca. to måneder lange prosessen, ble stenografert og publisert i et 1000-siders dokument: *"In the Matter of J.R. Oppenheimer. Transcript of Hearing before Personnel Security Board and Texts of Principal Documents and Letters. MIT Press 1971."*

Den første dagen av høringene benyttet juryformannen, *Gordon Gray*, til å lese opp AECs anklageskrift (Nichols' brev), og deretter leste han opp Oppenheimers forsvarsskrift. Gray hadde delt Nichols' brev i 25 mindre avsnitt. De første 23 punktene omhandlet Oppenheimers forbindelser med kommunistiske og venstreradikale organisasjoner. De gir et bilde av den sterkt venstreorienterte Oppenheimer, blant annet ble hans økonomiske støtte til radikale amerikanske fagforeninger og regjeringssiden i den spanske borgerkrigen, nevnt. Punkt 24 behandlet Haakon Chevalier-affæren (se nedenfor), og punkt 25 omhandlet Oppenheimer og hydrogenbombeproblematikken.

Hovedanklageren, *Roger Robb*, startet med en krysseksaminasjon av Oppenheimer om hans forbindelser med kommunistpartiet. Ordene falt som følger:

Robb: "Doktor, jeg har merket meg at De i Deres svar på anklageskriftet benyttet uttrykket *"fellow travellers"*. Hva er Deres definisjon av *fellow traveller*?"

Oppenheimer: "Det er et nedsettende ord som jeg en gang brukte om meg selv i et intervju med FBI. Jeg mente det betød en person som aksepterte deler av det offisielle programmet til kommunistpartiet, og som var villig til å arbeide med, og å være assosiert med, kommunister, men som ikke var medlem av partiet."

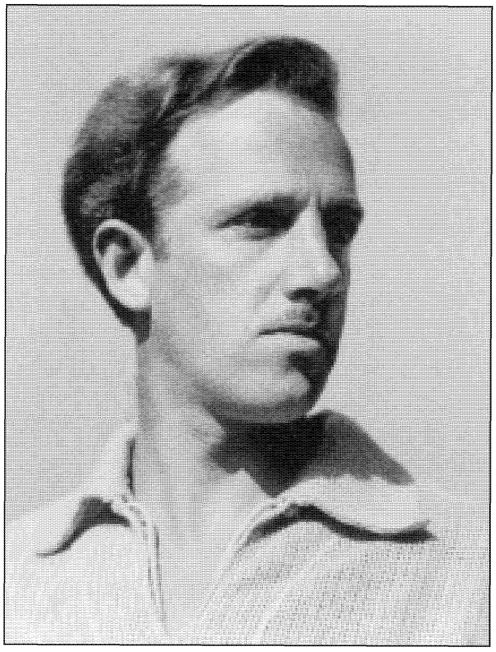
Robb: "Var De selv noen gang en *fellow traveller*?"

Oppenheimer: "Jeg var en *fellow traveller* i slutten av 1936 og tidlig i 1937, og etter det dabbet det av."

Chevalier-affæren

Onsdag den 14. april 1954 ble kanskje den mest ydmykende dag i Oppenheimers liv. Gordon Gray tok da opp det nest siste punktet i Nichols' anklageskrift, nemlig Chevalier-affæren. Hvis ikke Oppenheimer selv hadde komplisert saken, ville den neppe ha skapt noen problemer. Men under høringene ble hele historien så overdimensjonert at det skapte vanskeligheter både for Roberts venner og hans fiender.

Chevalier-affæren har vært gjenstand for mange bøker, TV-serier, filmer og teaterforestillinger. Om vi filtrerer ut de sikre fakta, får vi følgende hendelsesforløp:



Haakon Chevalier

Haakon Chevalier ble født i 1901 i New Jersey i USA. Hans far var fransk og hans mor norsk. Sin barndom tilbrakte han i Paris og i Oslo. Etter studier i Frankrike og USA endte han i 1930-årene opp som professor i fransk litteratur ved Universitetet i Berkeley. Chevalier var også politisk aktiv, og i 1937 ble han og hans kone, Barbara, medlemmer av det amerikanske kommunistpartiet. På denne tiden ble Chevalier presentert for Oppenheimer på et av møtene i de venstreradikale frontorganisasjonene. De to radikale universitetslærerne ble umiddelbart tiltrukket av hverandre, og i løpet av kort tid ble ekteparet Chevalier noen av Kitty og Robert Oppenheimers nærmeste venner.

George Eltenton var en engelsk petroleumsingeniør som arbeidet for *The Shell Oil Company* i San Francisco. Han og hans kone, Dorothea, var overbeviste kommunister og hadde i midten av 1930-årene vært i Leningrad og personlig opplevd sovjets "kommunistiske eksperiment". George Eltenton var venn av Haakon Chevalier og hadde flere ganger møtt Oppenheimer.

En dag i april 1943, ringte George Eltenton til Haakon Chevalier og ba om en samtale med ham. Et par dager senere kom Chevalier til Eltentons bolig i Berkeley. Der nevnte Eltenton behovet for et nærmere samarbeid mellom russiske og amerikanske vitenskapsmenn. Han var blitt kontaktet av *Peter Ivanov*, som han trodde var en sekretær i det russiske generalkonsulatet i San Francisco, men som i virkeligheten var sovjetrussisk etterretningsagent. Eltenton sa at han ikke visste noe om hva som foregikk *"up the hill"*, dvs. i *Berkeley Radiation Laboratory*. Ivanov hadde spurt Eltenton om han kjente Ernest Lawrence, Luis Alvarez eller Robert Oppenheimer, og om det var mulig å få noen opplysninger gjennom dem. Eltenton svarte at han bare kjente Oppenheimer, og den eneste han kunne tenke seg som et forbindelsesledd var Haakon Chevalier som var en nær venn av Oppenheimer. Ivanov hadde spurt om Eltenton var villig til å kontakte Chevalier. Etter å ha tenkt over situasjonen og funnet ut at der ikke var noen legale kanaler til å oppnå tekniske informasjoner om arbeidet i "Radiation Laboratory", besluttet Eltenton å kontakte Chevalier. Under høringene den 14. april 1954, ba forhørsleder Robb om at Oppenheimer måtte fortelle helt eksakt hva som hadde foregått. Oppenheimer sa ordrett:

One day ... in the winter of 1942–43, Haakon Chevalier came to our home. It was for dinner, but possibly for a drink. When I went out into the pantry, Chevalier followed me or came with me to help me. He said: "I saw George Eltenton recently." Maybe he asked me if I remembered him. That Eltenton had told him that he had a method, he had means of getting technical information to Soviet scientists. He didn't describe the means. I thought I said "But that is treason", but I am not sure. I said anyway something. "This is a terrible thing to do". Chevalier said or expressed complete agreement. That was the end of it. It was a very brief conversation.

Oppenheimer og Chevalier droppet saken, og Robert forsøkte å glemme samtalen. Men under den etterfølgende krysseksaminasjonen av Oppenheimer kunne Robb fortelle følgende:

Ca. et halvt år etter møtet mellom Oppenheimer og Chevalier i 1942–43, under en visitt til Berkeley fra Los Alamos, hørte Oppenheimer at hærens sikkerhetstjeneste var bekymret for spionasje mot Berkeley-laboratoriet. Oppenheimer gikk derfor, 25. august 1943, inn til vakthavende løytnant *Lyall Johnson* i hærens sikkerhetstjeneste og sa at en av de ansatte i *Shell Development Company* i San Francisco-området burde holdes under oppsikt. Johnson rapporterte dette til sin overordnede, oberst *Boris Pash*, som var sjef for kontraspionasjen på den amerikanske vestkysten. Pash ble meget forbauset og beordret Johnson til å innkalle Oppenheimer dagen etter på sitt kontor. I løpet av natten hadde sikkerhetstjenesten i all hast montert en skjult båndopptaker i forhørsrommet forbundet med en overvåkningsmikrofon som registrerte alle samtaler i rommet.

Dagen etter, den 26. august 1943, fant en samtale sted mellom Pash, Oppenheimer og Johnson. Oberst Pash førte diskusjonen inn på Chevalier-affæren med en gang. Oppenheimer startet med å si: *To put it quite frankly, I would feel friendly to the idea of the Commander-in-Chief (Amerikas president) informing the Russians that we were working on this problem. At least I can see there might be some arguments for doing that, but I do not feel friendly to the idea of having it moved out the back door.*

Under dette møtet kom Oppenheimer med et par andre utsagn som ti år senere kom til å gi ham ubehageligheter. Han sa: *Eltenton's contact had approached three people in all, two at Los Alamos contacted within a week of each other, and a third at Berkeley. Eltenton was then to arrange a contact with a reliable man from the Sovjet Consulate who had "a lot of experience in microfilm work, or whatever the hell".*

Pash forsøkte å presse Oppenheimer til å si navnet på Eltentons kontaktmann til Berkeley-laboratoriet og Los Alamos, men det nyttet ikke. Det eneste Oppenheimer gikk med på å opplyse om var at kontaktmannen, som hadde nærmet seg to av hans Los Alamos-kollegaer, var vitenskapelig ansatt i fakultetet ved Berkeley universitet.

Da Oppenheimer returnerte til Los Alamos forsøkte general *Groves* og hans sikkerhetssjef *John Lansdale*, den 12. september 1943, å få mer ut av Oppenheimer, men uten resultat. Først etter et møte i Los Alamos den 12. desember 1943, ga general Groves Oppenheimer en militær ordre om å oppgi kontaktmannens navn. Det må ha vært i ytterste fortvilelse at Robert da oppga navnet på sin nærmeste venn – Haakon Chevalier.

Oppenheimers korte redegjørelse under høringene i 1954, for sitt møte med Chevalier i sitt hjem i Berkeley i 1943, var helt forskjellig fra hva han hadde fortalt oberst Pash i august i 1943. Under de fortsatte høringene forsøkte hovedanklageren, Robb, å få Oppenheimer til å komme med selvmotsigelser. Under Robbs krysseksaminasjon måtte Oppenheimer innrømme at han i 1943 hadde løyet overfor Pash, og med sine egne ord *"invented a cock and bull story"*. Ordene falt som følger:

Robb: *Did you tell that X had approached three people?*

Oppenheimer: *Probably.*

Robb: *Why did you do that, Doctor?*

Oppenheimer: *Because I was an idiot.*

Robb: *Is that your only explanation, Doctor?*

Oppenheimer: *I was reluctant to mention Chevalier.*

Robb fortsatte å lese opp fra båndopptakene fra 1943. Det ble klart at meget av det Oppenheimer hadde sagt til Pash da var galt. Robb konkluderte med å si: *Isn't a fair statement, that you told not one lie to Col. Pash, but a whole fabrication and tissue of lies?*

Oppenheimer svarte: *Right.*

Da Robb kom hjem til sin kone om aftenen etter forhørene sa han: "I dag har jeg sett en mann ødelegge seg selv."

Hydrogenbomben

Siste akt av høringene handlet om Oppenheimers holdning til hydrogenbomben. (En beskrivelse av dette våpenet er gitt av Heidi Toft i FFV, nr. 4, 2009.) I det siste avsnittet i Nichols' anklageskrift mot Oppenheimer ble han beskyldt for å ha hatt en negativ holdning til hydrogenbomben. Nichols skriver blant annet: "Det er rapportert at De i 1945 mente at det var en rimelig sannsynlighet for at hydrogenbomben kunne bli konstruert. Men av teoretiske grunner var dette ikke like sikkert som det hadde vært for byggingen av fisjonsbomben i Los Alamos.

Høsten 1949 uttalte General Advisory Committee, hvor De var formann, at med en tilstrekkelig konsentrert innsats kunne det være en 50 prosent sjanse for å produsere en hydrogenbombe innen 5 år. Men det er rapportert at De motsatte Dem byggingen av bomben av følgende grunner:

Moralske grunner.
Usikkerheter ved fusjonsprosessene.
Utilstrekkelig med personell og fasiliteter.
Hydrogenbomben er ikke politisk ønskelig.

Det er videre rapportert at De, selv etter at det ble politisk besluttet å utvikle hydrogenbomben, fortsatte å opponere mot prosjektet. Blant annet motsatte De Dem etableringen av et nytt laboratorium, Livermore, spesielt beregnet for fusjonsforskning."

I sitt svar på Nichols' angrep understreket Oppenheimer meget sterkt at hans holdninger til hydrogenbomben hele tiden var tatt etter konsultasjoner med GAC. En objektiv gjennomlesing av Oppenheimers redegjørelse gir inntrykk av at han i stedet for et "crash-program" anbefalte en balansert utvikling av forskjellige typer av atomvåpen, herunder også hydrogenbomben. Det er vel i ettertid riktig å si at dette var i overensstemmelse med USAs interesser.

Det videre forløp av høringene artet seg som en parade av erklæringer fra en lang rekke fysikere og forskningspolitikere.

Et overveiende flertall av aktive amerikanske vitenskapsmenn avga vitnesbyrd i favør av Oppenheimer, og anbefalte sikkerhetsklarering av ham. Blant dem var nobelsprisvinnere som *Enrico Fermi*, *Isidor Rabi* og *Hans Bethe*. En rekke av Oppenheimers tilhengere mente at høringene burde avlyses. *Albert Einstein*, som ikke var blitt innkalt til møtene, uttalte spøkefullt at Oppenheimer burde reist ned til Washington, åpnet dørene til alle politikerne og brølt: "Idioter!". Det samme anbefalte den franske kulturminister *André Malraux*, som Oppenheimer var blitt kjent med gjennom Haakon Chevalier. Han mente Oppenheimer skulle slått seg for brystet og ropt: *"La bombe atomique, c'est moi!"*

Det var imidlertid en rekke andre vitner som valgte ikke å anbefale en sikkerhetsklarering av Oppenheimer. Det mest alvorlige vitnesbyrd ble gitt av "hydrogenbombens far", *Edward Teller*. Da Teller kom i vitneboksen spurte Robb ham direkte om han anså Oppenheimer som illojal. Teller svarte at han alltid hadde ansett Oppenheimer som lojal mot USA. Robb stilte så spørsmålet: "Tror De, eller tror De ikke, at Oppenheimer er en sikkerhetsrisiko?" Teller ga da følgende svar:

In a great number of cases I have seen Dr. Oppenheimer act – I understood that Dr. Oppenheimer acted in a way which for me was exceedingly hard to understand. I thoroughly disagreed with him in numerous issues, and his actions, frankly, appeared to me confused and complicated. To this extent, I feel that I would like to see the vital interests of this country in hands which I understand better and therefore trust more.

Edward Teller

Under en videre krysseksaminasjon forsterket Teller sitt utsagn ved å si:

If it is a question of wisdom and judgment, as demonstrated by actions since 1945, then I would say one would be wise not to grant clearance. I must say that I am myself a little bit confused on this issue, particularly as it refers to a person of Oppenheimers prestige and influence. May I limit myself to these comments?

Dette vitnemålet ble dyrt for Teller. Han ble nærmest utelukket og forvist fra store deler av det internasjonale fysikermiljøet. Man demonstrerte mot ham på hans forelesninger. På fysikerkonferanser vendte mange av hans gamle venner ham ryggen og sjikanerte ham åpent. Han forlot av og til møter storgråtende. Han ble hengt ut og karikert i pressen, og den berømte filmen *"Doctor Strangelove"* skal være inspirert av Edward Teller.

Dommen

Av de tre medlemmene av "sikkerhetspanelet" stemte formannen *Gordon Gray og Thomas Morgan* imot å gi Oppenheimer sikkerhetsklarering. Det tredje medlemmet, *Ward Evans*, stemte for.

Den endelige dommen kom fra *US Atomic Energy Commission* som hadde *Lewis Strauss* som formann. Der stemte alle medlemmene unntagen Henry Smyth, mot å gi Oppennheimer sikkerhetsklarering.

Etter dommen ble Oppenheimer avvist fra de offisielle amerikanske regjeringskretsene. *Isidor Rabi* uttalte at høringene oppnådde det Oppenheimers motstandere hadde ønsket, nemlig å ødelegge ham. Oppenheimers venner sa at etter høringene var hans vitalitet og karisma redusert. Men samtidig viste han en større omsorg og medmenneskelighet. Han fikk store mengder brev fra sympatisører og støttespillere.

Det er alminnelig enighet om at Robert Oppenheimer var en ytterst komplisert person. Et spørsmål som naturlig må melde seg er: Hvilken moral kan man tilskrive en gruppe forskere som oppfinner en bombe som dreper hundretusener av mennesker i et enkelt skudd? Dette spørsmålet forsterkes i forbindelse med hydrogenbomben hvor den ødeleggende virkning er tusener ganger større enn virkningen av bombene som ble sluppet over Hiroshima og Nagasaki.

Det er ingen tvil om at Oppenheimer, av moralske grunner, var reservert overfor utviklingen av hydrogenbomben. Det var nettopp denne holdningen som var en av hovedgrunnene til prosessen mot ham. Oppenheimer må ha vært klar over den dødbringende fare som hydrogenbomben representerer for sivilisasjonen.

Etter høringene

I de siste årene av sitt liv var Oppenheimer *seniorprofessor ved* Institute for advanced study *i Princeton.* Han reiste meget og holdt forelesninger i Amerika, Europa og Japan. I 1962 ble han *Fellow of The Royal Society i London.*

En av Robert Oppenheimers største beundrere, Amerikas president John F. Kennedy, beæret ham med den prestisjefylte *Enrico Fermi-prisen* i 1963 for hans *"contribution to theoretical physics as a teacher and originator of ideas, and for leadership of the Los Alamos Laboratory and the atomic energy program during critical years".*

Fra sin tidligste ungdom hadde Oppenheimer vært en kjederøker, og den 18. februar 1967 døde han, 62 år gammel av strupekreft, i sitt hjem i Princeton. Han ble kremert, og asken ble senket i havet ved Virgin Islands nær et landsted Oppenheimer hadde kjøpt mange år tidligere, et sted familien var svært glad i.

Etterskrift

I 1990-årene ble det publisert en rekke dokumenter fra de åpnede sovjetrussiske arkivene som tilsynelatende satte et spørsmålstegn ved det bilde vi har skissert av Oppenheimer. Det dreier seg spesielt om en selvbiografi skrevet av den tidligere KGB-offiseren *Pavel Sudoplatov: "Special Tasks."* I innledningen skriver han: *The most vital information for developing the first Soviet atomic bomb came from scientists designing the American atomic bomb at Los Alamos, New Mexico - Robert Oppenheimer, Enrico Fermi and Leo Szilard. - It is in the recent record that on several occations they agreed to share information on nuclear weapons with Soviet Scientists.*

Sudoplatovs selvbiografi har vært utsatt for sterk kritikk. I denne forbindelse kan det være viktig å nevne følgende: I et seminar ved Woodrow Wilson-instituttet 20. mai 2009, la John Earl Haynes, Harvey Klehr og Alexander Vassiliev (tidligere KGB-offiser) frem omfattende dokumentasjon basert på Vassilievs notatbøker som viser at Oppenheimer ikke var involvert i spionasje for Sovjetunion. KGB prøvde gjentatte ganger å rekruttere ham, men lyktes aldri.

Litteratur

1. Wikipedia: *J. Robert Oppenheimer.*
2. Priscilla I. Mc Millan: *The Ruin of J. Robert Oppenheimer.* Viking (2005)
3. Hans Bethe: *Rewriting the history of the H-bomb.* Science, **218**, side 1270 (1982)
4. Haakon Chevalier: *The Story of a Friendship.* Braziller (1965)
5. Edward Teller: *Memoirs.* Perseus Publishing (2001)
6. Peter Goodshild: *Edward Teller. The Real Dr. Strangelove.* Weidenfeld and Niicolson (2004)
7. Pavel Sudoplatov: *Special Tasks. The Memoirs of an Unwanted Witness – a Soviet Spymaster.* Little Brown (1994)
8. Jerrold and Leona Schester: *Sacred Secrets.* Brassey's (2002)

∞

Målinger av vulkanaske ved ALOMAR-observatoriet på Andøya

Michael Gausa, Sandra Blindheim og Eivind Thrane *

Den 21. mars i år våknet Eyjafjallajökul på Island til live etter 187 år. Utbruddene var små til å begynne med, men fra 14. april førte utbruddene til store askeutslipp som i flere uker lammet store deler av flytrafikken i Nord-Europa. Askeskyen ble observert med lidar fra ALOMAR, og i denne artikkelen spør vi bl.a. om hva vi kan gjøre for å redusere virkningene av fremtidige utslipp.

Vulkanaske og flytrafikk

At vulkanaske i luften kan skade flymotorer har lenge vært kjent. I tidsrommet 1983–2000 ble det, ifølge US Geological Survey, registrert rundt 100 tilfeller der fly fløy inn i skyer av vulkanaske. I flere tilfeller førte dette til motorstans, men ingen ble skadet. Jetmotorer stopper fordi de suger inn ørsmå glassbiter som finnes i asken. Disse kan da smelte og ødelegge turbinbladene, og i tillegg kan partiklene tette igjen kanaler og føre til overoppheting. Det kanskje mest kjente tilfellet er fra 1982 da et British Airways-fly på vei fra London til Auckland, fløy inn i en askesky over Indonesia. Motorene stoppet og asken sandblåste vinduene på flyet så det ble umulig å se ut. Pilotene fikk motorene i gang igjen og klarte å lande. Vulkanutbrudd har menneskeheten alltid måttet leve med, og det er forbausende at vårt moderne, sårbare, høyteknologiske samfunn ikke har gjort mer for å forberede seg på slike begivenheter.

At vi ikke var forberedt, ble tindrende klart etter askeutslippet fra Eyjafjallajökul den 14. april 2010. Fordi man hadde lite informasjon om hvor mye aske som skal til for å skade en flymotor og intet operativt system for å observere eller måle askeinnholdet i luften, ble luftrommet stengt etter føre-var-prinsippet på grunnlag av meteorologiske modellberegninger av spredning av asken. Dette førte til enorme utgifter for flyselskapene og tilsvarende ulemper for passasjer- og godstrafikken. Bare SAS har tapt en kvart milliard kroner på driftstansen. Det er derfor en viktig oppgave å minimalisere ulempene ved fremtidige utbrudd av samme type. At slike utbrudd vil komme, kan vi regne som helt sikkert!

Finnes det effektive og rimelige måter å overvåke spredning av vulkanaske på? Kan forskningsinfrastruktur og forskeres erfaring brukes til å gi råd under slike hendelser?

Vi skal se på vulkanaskehendelsen ut fra våre erfaringer ved ALOMAR-observatoriet på Andenes.

Forskning på Andøya

Nord på Andøya finner vi *Andøya Rakettskytefelt* (ARS)[1,2] med atmosfæreobservatoriet ALOMAR.[3] ARS ble opprettet i 1962 og er i dag organisert som et aksjeselskap. Skytefeltet stiller avansert infrastruktur til rådighet for forskere fra inn- og utland som vil studere atmosfæren og vårt nære verdensrom i Arktis. I denne artikkelen skal vi vise at metoder som brukes innen denne atmosfæreforskningen også kan gi viktig informasjon til myndigheter og samfunn under vulkanutbrudd.

I mange år var forskningen på Andøya konsentrert om studier av nordlyset og ionosfæren ved hjelp av vitenskapelige raketter, og ARS har i dag baser for rakettoppskytning og slipp av vitenskapelige ballonger både på Andøya og Svalbard. For å imøtekomme forskernes behov for nye observasjoner, ble ALOMAR (*Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research*) i 1994 åpnet som et observatorium for målinger i den midlere atmosfære (10–100 km høyde). ALOMAR ble videreutviklet som et internasjonalt observatorium, instrumentert av forskningsinstitusjoner i mange land, og ble beskrevet første gang i *Fra Fysikkens Verden 4/94*.[3] Siden den gang har observatoriet utvidet instrumentparken betydelig, og i dag dekker

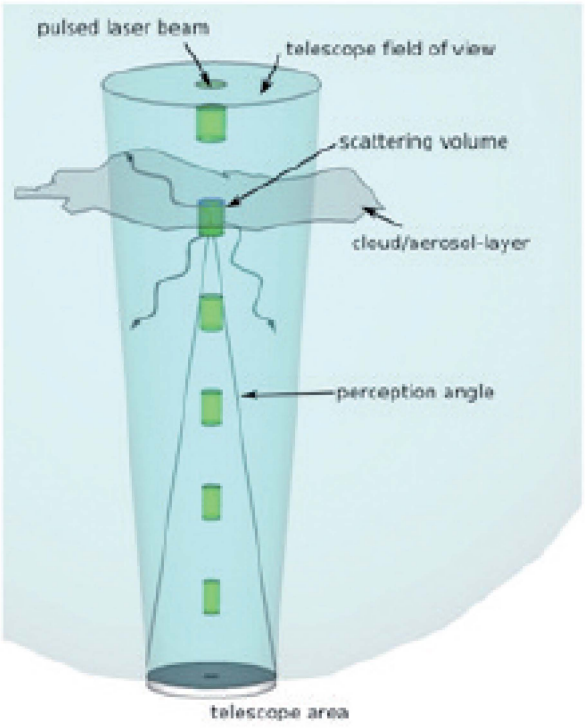
* Andøya Rakettskytefelt, Andenes

observasjonene hele atmosfæren fra bakken og ut i ionosfæren.[4,5]

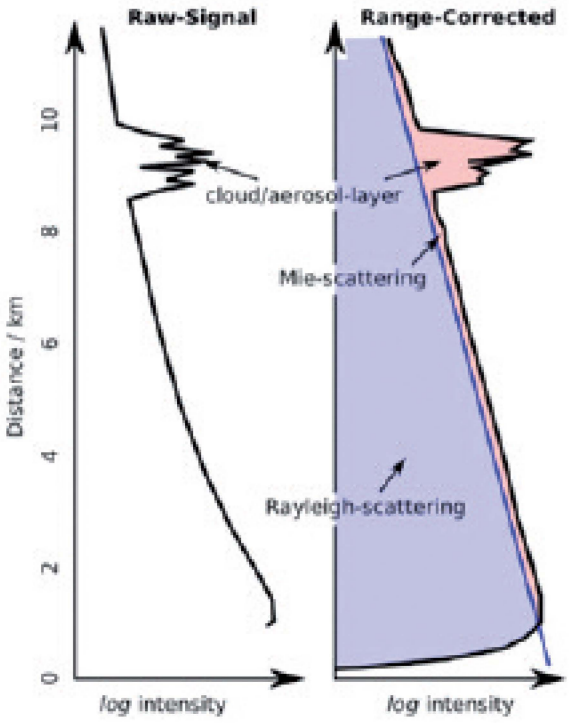
Det foretas hovedsakelig grunnforskning ved ALOMAR og ARS, men i dag brukes infrastrukturen også til avansert miljøovervåkning på oppdrag fra Miljøverndepartementet, Statens strålevern og Klima- og forurensningsdirektoratet. ALOMAR omfatter i første rekke avanserte lidar- og radarinstrumenter som måler atmosfærens tilstand fra bakken og opp til ca. 120 km. Forsidefiguren (figur 1) viser ALOMAR med laserstråler fra tre av lidarene og nordlys på himmelen.

Lidar

Når det gjelder målinger av partikler/aerosoler i luften, er lidarteknikken sentral, og vi skal kort nevne prinsippene for slike målinger. Analogt med begrepet radar står *lidar* for *Light Detection and Ranging*. Lyskilden er en laser som sender korte lyspulser opp i atmosfæren. Laserstrålen er ekstremt sterk, nesten monokromatisk og konsentrert i en stråle med meget liten divergens. Laserfotoner spres tilbake fra molekyler, atomer og partikler i atmosfæren til en mottaker, og ved å måle *tiden* fra signalet sendes ut til det mottas, kan *avstanden* til sprederne bestemmes. (se figurene 2a og 2b)



Figur 2a. Prinsippet for lidarmåling i atmosfæren. Pulset laserlys sendes vertikalt opp i atmosfæren og spres fra luftmolekyler og lag med skyer eller aerosoler/støv.



Figur 2b. Rådatasignal som funksjon av høyde. Aerosoler, i dette tilfelle cirruspartikler, gir sterk spredning og økt signal i 10 km høyde. Lengst til høyre: Første dataprodukt er kalt "Range Corrected Signal". Her er signalstyrken korrigert for den geometriske spredningen $(1/h)^2$, der h er høyden av de spredende partiklene.

Vi antar lineære spredningsprosesser slik at styrken av det mottatte signalet vil være proporsjonal med *spredningstversnittet* σ, med *konsentrasjonen* av de partiklene som sprer lyset og antall fotoner som sendes ut. Spredningen skjer ved flere mekanismer, og de viktigste er:

- *Rayleigh-spredning* får vi når lysets bølgelengde λ er meget større enn de spredende partiklene (luftmolekylene). Da vil elektronene i alle molekylene vibrere med laserlysets frekvens, og et svakt signal vil bli spredt tilbake til mottakeren. Den spredte energien er proporsjonal med $1/\lambda^4$, slik at kortbølget lys spres meget sterkere enn langbølget lys. (Dette er grunnen til at himmelen er blå når sollyset spres i luften.) Videre vil styrken av det spredte laserlyset være direkte proporsjonal med lufttettheten. Rayleigh-spredning vil derfor kunne gi høydevariasjonen av tettheten når lidarstrålen peker vertikalt.
- *Mie-spredning* skjer når lysets bølgelengde er mindre eller omtrent av samme størrelse som de spredende partiklene. I atmosfæren vil

støv, aerosoler og skydråper gi slik spredning, og det er derfor denne type spredning som kan gi lidardeteksjon av vulkanaske. I det følgende vil vi bruke ordet partikkel om spredere som er større enn luftmolekylene. Strengt tatt gjelder klassisk Mie-teori[6] kun for sfæriske partikler, men i atmosfæresammenheng brukes ofte begrepet Mie-spredning når de spredende partikler, uansett form, er større enn lysets bølgelengde. Lyset som lidaren sender ut i atmosfæren er nesten 100 % planpolarisert. Ved klassisk Mie-spredning og Rayleigh-spredning fra molekyler forandres lysets polarisasjon lite. Partikler (støv og aerosoler) i atmosfæren er imidlertid ofte usymmetriske, som for eksempel iskrystaller i cirrusskyer. Lysspredning fra slike partikler vil forandre polarisasjonen, og ved å måle forandringen (graden av depolarisasjon) i det spredte lidarsignalet kan man få informasjon om partiklenes form.

- *For Mie- og Rayleigh-spredning brukes ofte begrepet "elastisk spredning" som betyr at lysets bølgelengde ikke forandres i spredningsprosessen.*

Spredningsprosesser i atmosfæren har ganske små virkningstverrsnitt, og mottakersystemet må være meget følsomt og kunne filtrere ut den ønskede bølgelengden fra den generelle bakgrunnen av spredt himmellys. Lufttettheten avtar tilnærmet eksponentielt med høyden, og den geometriske spredningen gjør i tillegg at signalstyrken avtar med $1/h^2$, der h er høyden til sprederne. I høydeområdet 0,4–12 km varierer den observerte signalstyrken med en faktor på 10^4, noe som stiller store krav til dynamikk og linearitet i mottakersystemet. På ALOMAR brukes flere lidarsystemer som baserer seg på disse spredningsmekanismene i studiene av atmosfæren. For målinger av vulkanaske er det viktig å kunne dekke troposfæren (0–10 km) og stratosfæren (10–50 km), og her er det to av de nyeste lidarene som kan hjelpe oss.

Troposfærelidar og ceilometer

Troposfærelidaren på ALOMAR[7] brukes for å observere aerosoler og sender ut tre bølgelengder laserlys (1064 nm, 532 nm og 355 nm). Lidaren mottar elastisk-spredt lys fra atmosfæren på disse tre bølgelengdene. Lyskilden er et lasersystem som genererer 10 ns lyspulser ved 1064 nm. Lyset blir så direkte frekvensdoblet og tredoblet, slik at ved utgangen av lasersystemet foreligger de ovennevnte tre bølgelengdene. Det sendes ca. 10^{19} fotoner ut i atmosfæren pr. laserpuls. Dette tilsvarer 1 J, eller en ytelse på 100 GW. Mottakerenheten består av et 18 cm Newton-teleskop som samler lyset i et fokalpunkt. Etter fokalpunktet separeres lyset i tre bølgelengdeområder: infrarødt/rødt, synlig og UV, samt et polarisasjonssignal fra 532 nm-kanalen. Hvert område ledes gjennom en lysfiber til en detektorboks i laboratoriet der lyset fra atmosfæren filtreres og detekteres i tre kanaler. Kanalen med bølgelengden 532 nm er en depolarisasjonskanal, dvs. det skilles i mottakeren mellom det spredte lyset som har samme polarisasjon som det utsendte laserlyset, og lyset som er polarisert loddrett på denne retningen. Luft som inneholder kun sfæriske partikler, vil spre lys uten å forandre polarisajonen (nær null depolarisasjon), mens den naturlige Rayleigh-depolarisasjonen er på 0,009. (Naturlig depolarisasjon er avhengig av båndbredden til interferensfiltrene.) Luftmolekylene oppfører seg altså som tilnærmet sfæriske spredere. Ispartikler og støv kan ha en depolarisasjonsfaktor som er betydelig større enn 0,5.

Ceilometret er en enkel, rimelig og kommersielt tilgjengelig lidar som primært ble utviklet for å måle skyhøyder. En nyere versjon egner seg imidlertid også utmerket til å måle aerosoler i troposfæren. Aerosoler er et fellesnavn på faste partikler (støv) og væskedråper som svever i luften. Ved ARS finnes et slikt instrument som blir brukt i undervisningssammenheng. I Tyskland har meteorologitjenesten nylig etablert et nettverk av ceilometre ved 36 meteorologiske stasjoner. Dette nettverket ble brukt til å overvåke utbredelsen av askeskyen etter utbruddet på Island.

Det nye ceilometret bruker en faststofflaser med bølgelengde 1064 nm, altså i det infrarøde området. Målinger kan utføres fra 30 m til 15 km med god høydeoppløsning (15 m). Instrumentet er kompakt, driftsikkert og opererer automatisk. Det kan måle kontinuerlig, og på grunn av lav intensitet i laserstrålen er det "øyesikkert" og kan brukes ved flyplasser. Bølgelengden på 1064 nm gir relativt stor kontrast til Rayleigh-spredt himmellys og er derfor godt egnet til å studere aerosoler; men spredningstverrsnittet for aerosoler faller raskt av for partikler mindre enn ca. 1 μm.

Begrensninger og usikkerheter i lidarobservasjonene

En lidar kan bare se et støv/aerosollag dersom det ligger under det normale skydekket. Været vil derfor begrense observasjonstiden. På den annen side, når lidaren opereres kontinuerlig, kan den utnytte alle gløtt i skydekket og dermed gi et bilde av en tidsutvikling av støvlaget. Været på Andenes er svært variabelt, men mange års erfaring med lidarmålinger har likevel gitt en stor og verdifull database både fra den midlere atmosfære, og i de senere år også fra troposfæren.

Siden spredning fra skyer og aerosol/støvlag ligner hverandre, er det ikke alltid lett å skille mellom ulike typer av partikler. Typiske depolarisasjonsgrader er kjent for noen partikkeltyper og kan gi holdepunkter for identifikasjon av disse. Når partiklene har ukjent form og sammensetning, som i vulkanaske, bør man gå forsiktig til verks. Imidlertid kan man også her ha nytte av å måle depolarisasjonen av lidarsignalene. Sahara-støv er kjent for å ha verdier rundt 0,31, og vulkanaske fra Eyafjallajökull ble observert rundt 0,4. Depolarisasjonsgraden gir altså allerede informasjon om partikkeltypen.

Typiske skydråper har en diameter på 10 μm, mens i nedbør kommer dråpestørrelsen opp i 1-5 mm. Vulkanaskepartikler som spres over store avstander er antakelig mindre en 3-4 μm. Dersom lidaren kan måle på flere bølgelengder, og man kjenner til hvordan spredningstverrsnittet for aske og skydråper varierer med bølgelengden, kan man i prinsippet skille aske fra skydråper. Både konsentrasjon og størrelsesfordeling av askepartikler vil være meget variable i tid og rom, og vil bidra til usikkerheten. I praksis må man derfor i dag bruke tilleggsopplysninger fra andre målemetoder. Vi kommer tilbake til dette i siste avsnitt.

Askemålinger ved ALOMAR

Troposfærelidaren og ceilometret var i drift på ALOMAR i siste del av april 2010. Både den 17. april og i perioden 20.–23. april, viste disse instrumentene tydelige aerosollag. Selv om flytrafikken i hele Europa var lammet av vulkanaske disse dagene, kan det være forhastet å konkludere med at vi observerte vulkanaske i luften over ALOMAR. Som beskrevet i forrige avsnitt, behøves det en grundig analyse før man kan si hvor partiklene kommer fra.

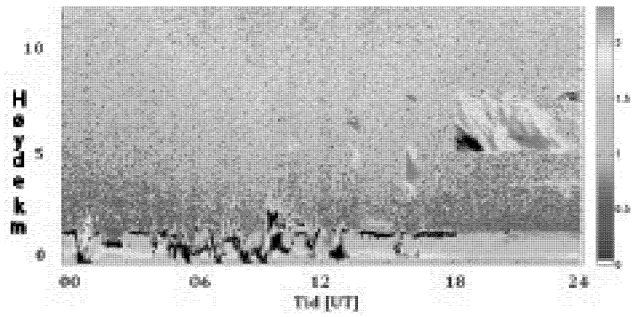
Vi har brukt beregninger av tredimensjonale lufttransportbaner utført ved hjelp av Hyspiltmodellen, som ARL/NOAA *(Air Force Research Laboratory/National Oceanographic and Atmospheric Administration)* stiller til rådighet. Modellen er basert på meteorologiske modeller og data. Den 17. april observerte lidarene et tydelig partikkellag, men banene som ender på ALOMAR i 5, 6 og 7 km høyde, viser at luften kommer fra Nord-Amerika via Grønland, og at det derfor er lite sannsynlig at vulkanaske fra Island spilte en rolle her. Nærmere analyse viser at en stor skogbrann i USA og Canada sannsynligvis var kilden til aerosollagene denne dagen. Den 21., 22. og 23. april finner vi imidlertid baner som går over Island, men vi kan ikke utelukke at vi på disse dagene observerer en blanding av ispartikler og vulkanaske siden luftfuktigheten i det relevante høydeområdet er høy nok til at det kan dannes cirrusskyer.

Figurene 3a, b, c og d viser henholdsvis ceilometer- og troposfærelidarresultater for den 20. april, samt resultatet av baneberegninger. Vi ser at ceilometret observerer lave skyer gjennom det meste av dagen, men etter kl 18:00 er det et tydelig aerosollag i 5 til 7 km høyde. Rundt 23:00 er det en tendens til splittelse i to lag ved ca. 5 og 7,5 km. Figur 3b viser resultater fra troposfærelidaren i tidsrommet 20:30 til 23:10. Vi ser tydelige strukturer i laget, der maksimum intensitet flytter seg nedover. Figur 3c viser en høydeprofil av lagene i en kort periode ved kl. 23:09. Vi ser klart de to lagene som er antydet i ceilometermålingene.

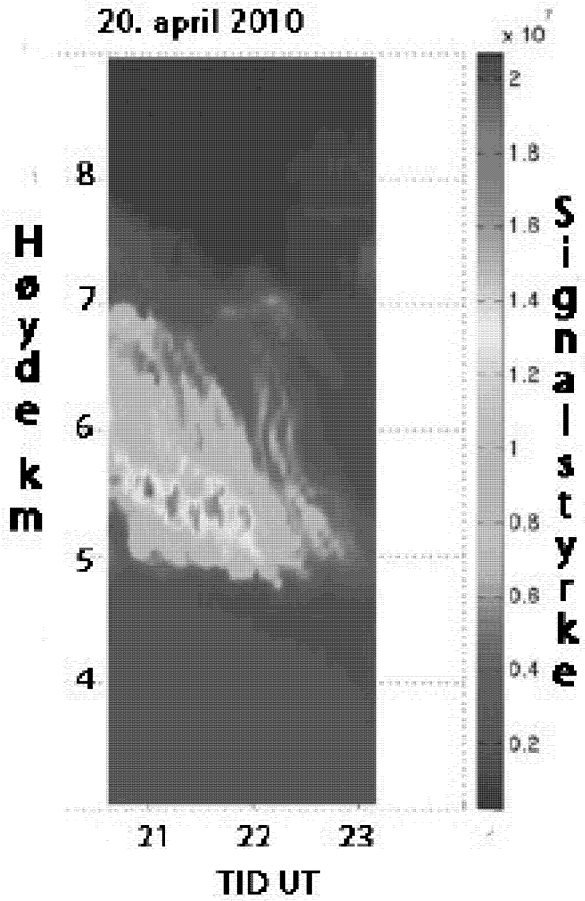
Baneneberegninger den 20. april (figur 3d) viser at luftmassene over Andenes utvilsomt har passert Island fire til fem dager før de kom til Andenes. I tillegg har luftfuktigheten vært liten i det relevante høydeområdet, slik at vi med stor sannsynlighet kan gå ut fra at aerosollagene er vulkanaske og ikke cirrusskyer.

Figur 4 viser depolarisasjonsgraden av 532 nm laserlys i støvlaget observert av troposfærelidaren den 20. april. I aerosollaget mellom 5 og 7 km er depolarisasjonen nesten 0,4, en verdi som er typisk for askeskyer fra Eyjafjallajökull.

Målingene demonstrerer at lidarteknikk kan brukes til overvåking av utbredelse av vulkanaske. Som diskutert i siste avsnitt må observasjonene kvalitetssikres ved hjelp av andre typer observasjoner.



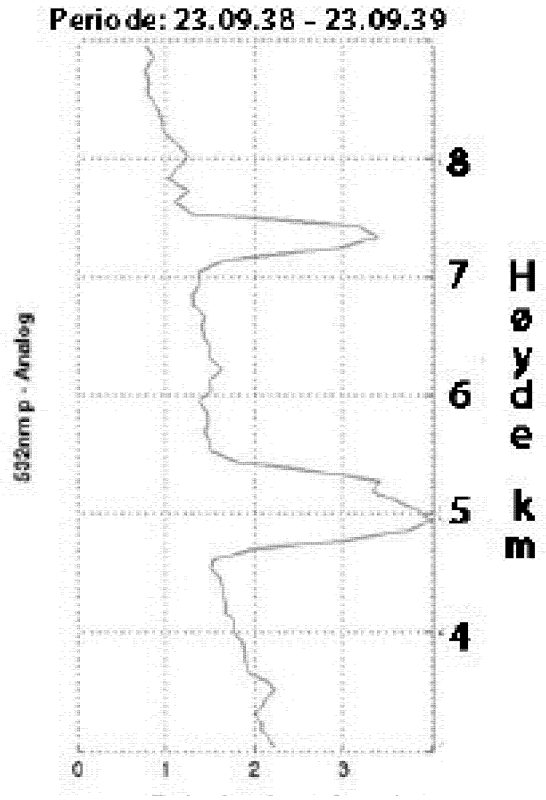
Figur 3a. Ceilometret på Andenes viser et skylag i 5 til 7 km høyde fra ca. kl 18:00 den 20. april (se teksten).



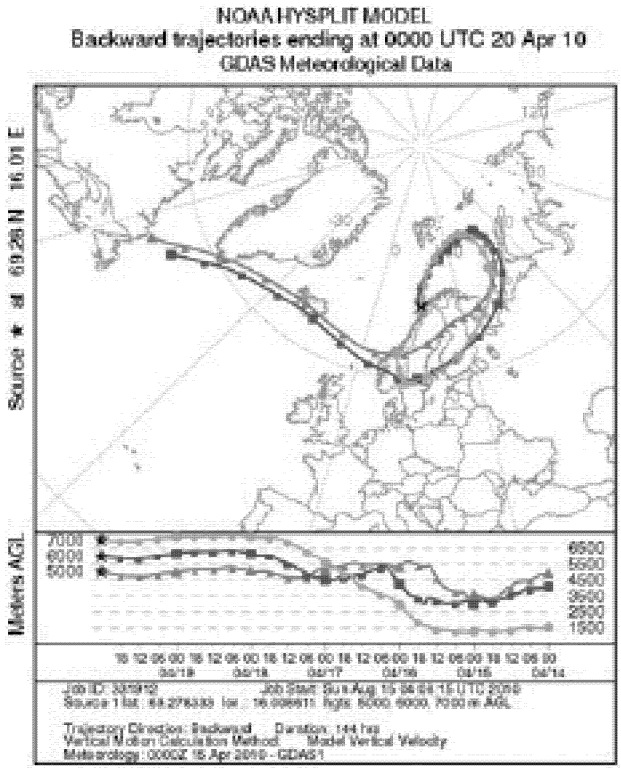
Figur 3b. Her viser troposfærelidaren tydelig de samme lagene som ceilometret detekterte i perioden 20:30 til 23:10 den 20. april. Troposfærelidaren gir bedre høydeoppløsning, og ved å sammenligne flere bølgelengder kan man få viktig informasjon, for eksempel om partikkelstørrelser.

Hvordan erfaringer fra ALOMAR kan utnyttes i fremtidige overvåkingssystemer

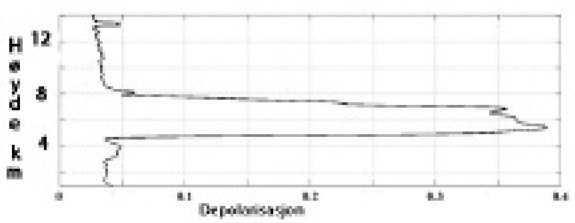
Målingene ved ALOMAR har vist at man under gode forhold kan oppnå detaljert informasjon om askeskyer ved hjelp av lidarteknikk. En sammenligning mellom resultater oppnådd med en



Figur 3c. Figuren viser et øyeblikksbilde av skylagene kl 23:09 (se teksten).



Figur 3d. NOAAs baneberegninger viser at luftmassene har passert over Island fire dager før observasjonene på ALOMAR.



Figur 4. Her vises depolarisasjonen av lidarsignalet spredt fra aerosollaget. Det er en betydelig forandring i høydeområdet 5 til 7,5 km der depolarisasjonen når ca. 0,35 (35 %).

avansert troposfærelidar og et enkelt og rimelig ceilometer, har også vist at det enkle instrumentet har tilstrekkelig følsomhet og oppløsning til å gi vesentlig informasjon om slike skyer. Det er også viktig at slik informasjon kan innhentes fra hele det høydeområdet som brukes av kommersiell flytrafikk. Det er imidlertid klart at disse to instrumentene ikke alene kan skille mellom skyer av vulkanaske, vanndråper eller aerosoler fra andre kilder, for eksempel industriell forurensning. Identifikasjon av vulkanaske i de observerte skyene er selvsagt nødvendig i et operativt overvåkingssystem. Slik identifikasjon kan tenkes oppnådd på flere måter:

- Sporing av kilden ved hjelp av baneberegning av lufttransport, som vist i figur 3c.
- Måling av depolarisasjon av lidarsignalet.
- Måling av støvpartiklene *in situ*, for eksempel på høytliggende bakkestasjoner, eller ved hjelp av instrumenterte ballonger (f.eks. modifiserte radiosondeballonger) eller fly (f.eks. droner).
- Utvikling av avanserte lidarsystemer som, ved hjelp av lasere med flere bølgelengder, kan måle størrelsesfordelingen av skypartiklene.
- Sammenligning med observasjoner fra satellitter

Det synes videre klart at en enkelt målestasjon på Andenes ikke kan gi tilstrekkelig informasjon for regulering av flytrafikken etter et vulkanutbrudd. Det vil være nødvendig med et nettverk av stasjoner fordelt over vårt langstrakte land for å kunne gi en rimelig observasjonsfrekvens under variable værforhold. En mulig løsning er et nett av ceilometre stasjonert ved utvalgte flyplasser. Datainnsamling og analyse må være sentralisert, og nettverket måtte suppleres med referansestasjoner som kunne utføre den nødvendige identifikasjon av askeskyer ved hjelp av supplerende måleteknikker. Her er det essensielt å kunne måle askekonsentrasjon relativt til en sikkerhetsgrense for flymotorene. I dag er denne grensen satt til 4 mg m^{-3}. Nettverket måtte også være en del av et internasjonalt observasjonssystem. De avanserte lidarene ved ALOMAR kan brukes som referanser for målingene i et slikt nettverk av enkle instrumenter. Når det ikke finnes askeskyer, vil nettverket kunne kartlegge skyhøyder, skyfrekvens og aerosolkonsentrasjoner fra både naturlige og antropogene kilder.

Hvor mye vil dette koste? Dersom man anskaffer 15 enkle lidarsystemer tilpasset oppgaven, representerer dette en investering på ca. 10 Mkr. En sentralisert dataanalyse kan anslagsvis koste 2 Mkr pr. år. Over en tiårsperiode vil totalutgiftene være litt over en tiendedel av det SAS tapte på de få ukene utslippet varte.

Ved et nytt vulkanutbrudd kan man forvente at et lidarnettverk kan gi en effektiv måling av konsentrasjon og utbredelse av askeskyer, og et grunnlag for en tilsvarende effektiv tilpassing av flytrafikken, til den aktuelle situasjonen. Det synes rimelig å anta at et slikt beredskap vil føre til store besparelser for flyselskapene og for Avinor i en krisesituasjon, samtidig som nettverket under normale forhold vil kunne gi verdifull informasjon av interesse for meteorologi og luftforskning.

Referanser

1. Eivind Thrane: *40 år med forskningsraketter fra Andøya.* FFV **64 årg.** nr. 4, 105-110 (2002)
2. Mer om ARS og datterselskapene NAROM og ATC: *http://www.rocketrange.no*
3. Eivind Thrane: *ALOMAR - Romfysikk og miljøforskning.* FFV **65 årg.** nr 4, 103-107 (1994)
4. Eivind Thrane og Ulf-Peter Hoppe: *ALOMAR - Atmosfæreforskning ved Andøya Rakettskytefelt.* FFV **65 årg.** nr. 4, 89–95 (2003)
5. Mer om ALOMAR og online data: *http://alomar.rocketrange.no*
6. Wikipedia: *Mie-spredning.*
7. M. Frioud, M. Gausa, G. Baumgarten, J.E. Kristjansson, and I. Føre: *New Tropospheric Lidar in operation at ALOMAR (69°N, 16°E).* In Reviewed and Revised Papers precented at the 23rd International Laser Radar Conference, 24-28 July, 2006, Nara (Japan), p. 179-182 (2006)

∞

Universets ekspansjon og mørke energi Del II: Mørk energi og materie

Øyvind Grøn *

I første delen av denne artikkelen som stod i forrige nummer av FFV, omtalte vi observasjoner av supernovaer av type Ia. Disse viste at universets ekspansjon har størst verdi for sendertidspunktene og posisjonene til de nærmeste supernovaene. Hvis vi ser bort fra den muligheten at universet ekspanderer raskere i vår del av verden enn lenger borte, så forteller disse observasjonene at jo senere sendertidspunktet er, desto raskere ekspanderer universet.[1] Vi vil her omtale hvordan dette kan forklares ved hjelp av relativitetsteorien, som et resultat av frastøtende gravitasjon forårsaket av vakuumenergi.

Frastøtende gravitasjon

Hvis universet er homogent i stor skala tyder supernovadataene på at den kosmiske ekspansjonen øker farten. Den eneste forklaringen kosmologene har på dette er at det må skyldes frastøtende gravitasjon. Newtonsk gravitasjonsteori tillater bare tiltrekkende gravitasjon. Med Newtons teori vil man derfor ikke komme utenom den tolkningen av disse observasjonene at vi befinner oss nær sentrum i en kosmisk boble, med kanskje fem milliarder lysårs utstrekning, der universet ekspanderer raskere enn utenfor boblen.

Men Einsteins generelle relativitetsteori tillater frastøtende gravitasjon. Det følger av Einsteins gravitasjonslikninger at akselerasjonen til den kosmiske ekspansjonen er gitt ved

$$\ddot{a} = -\frac{4\pi G}{3} a(\rho + \frac{3p}{c^2}) \qquad (6)$$

der G er Newtons gravitasjonskonstant, ρ er massetettheten til den kosmiske materien eller energien, $p > 0$ betyr trykk og $p < 0$ betyr strekk. Her står negativ $\ddot{a}$ for nedbremsing av ekspanjonsbevegelsen og positiv $\ddot{a}$ for økende ekspansjonsfart.

Den newtonske grensen av den relativistiske gravitasjonslikningen (6) kan tas ved å la $c \to \infty$. Da forsvinner trykkets eller strekkets gravitasjonsvirkning. Siden tettheten alltid er positiv (i hvert fall i newtonsk fysikk), er den newtonske gravitasjonen alltid tiltrekkende. Men hvis det er et tilstrekkelig stort strekk

$$p < -(1/3)\rho c^2 \qquad (7)$$

vil gravitasjonen være frastøtende, ifølge den relativistiske formelen.

Mørk energi

Astronomene konkluderte derfor med at hvis universet er homogent, må det være fylt av mørk energi som lager frastøtende gravitasjon, dvs. mørk energi med et stort nok strekk til at ulikheten (7) er oppfylt. Men her dukket en vanskelighet opp. Vi vet ikke hva den mørke energien er for noe, og dermed vet vi heller ikke noe om dens strekk.

Dermed måtte kosmologene foreta en kvalifisert gjetning. Kanskje den mørke energien er den vakuumenergien som ifølge kvantemekanikken ikke kan fjernes, en energi som fluktuerer på mikroskopisk skala hvor det stadig dannes partikkel-antipartikkelpar som så smelter sammen og går over til energi så raskt at prosessen ikke er observerbar, ifølge Heisenbergs uskarphetsrelasjon.

Hvis man prøver å bruke kvantemekanikken til å regne ut tettheten av denne energien får man integraler som ikke er endelige. Man kan prøve å gjøre svaret endelig ved å postulere at teorien bare gjelder opp til de såkalte planckdimensjonene som representerer grensen for gyldighetsområdet til kvantemekanikken og relativitetsteorien i mangel av en kvantegravitasjonsteori. I så fall blir svaret

* Høgskolen I Oslo og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

at tettheten til vakuumenergien er lik plancktettheten, som svarer til en massetetthet på $\rho_{Pl} = 5,1 \cdot 10^{96}$ kg/m^3.

Observasjoner av temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen tyder på at 3-rommet er euklidsk, eller som det er vanlig å si, at "universet er flatt". Massetettheten i et flatt univers kalles *den kritiske tettheten.* Ved hjelp av likningene i den generelle relativitetsteorien kan man vise at den kritiske tettheten er gitt ved

$$\rho_{Kr} = \frac{3H^2}{8\pi G} \tag{8}$$

Insetting av Hubblekonstantens verdi gir universets kritiske tetthet i dag, $\rho_{Kr} = 1,0 \cdot 10^{-26}$ kg/m^3. Dette er den gjennomsnittlige tettheten av alt universet inneholder. Det er en uoverensstemmelse med en faktor på hele $5 \cdot 10^{122}$ mellom den kritiske tettheten og plancktettheten. Det er åpenbart noe fundamentalt galt med beregningen av tettheten til vakuumenergien.

Konklusjonen så langt er at vi ikke vet hvor stor betydning vakuumenergien har for universets ekspansjon.

Hvis vi gir opp det kopernikanske prinsipp, dvs. at vi er et tilfeldig sted i universet, og tolker dataene slik at vi bor nær sentrum i en enorm kosmisk boble med litt større ekspansjonshastighet enn utenfor den, kan observasjonene forklares uten å innføre noen vakuumenergi. Men hvis universet er homogent, må ekspansjonen være akselerert, og det kan bare forklares hvis universet er fylt av en energi som forårsaker frastøtende gravitasjon.

Den svake kjernekraften har kort rekkevidde. Det betyr at bosonene som formidler den har masse. Men ifølge standardteorien for elementærpartiklene er de i utgangspunktet masseløse, akkurat som de virtuelle fotonene som formidler den elektriske kraften, og får masse ved hjelp av den såkalte higgsmekanismen. Om dette stemmer, får gaugebosonene masse ved at de vekselvirker med en form for energi som fyller universet, kalt higgsenergien. Kanskje er den mørke energien higgsenergi med en tilstandslikning

$$p = w\rho c^2 \tag{9}$$

der w er en konstant.[2] Hvis denne energien oppfyller ulikheten (7), dvs. $w < -1/3$, vil den forårsake frastøtende gravitasjon og kunne forklare universets økende ekspansjonsfart.

Lorentzinvariant vakuumenergi – LIVE

Det forteller en del om relativitetsteoriens kraft at vi kan bestemme verdien av w uten å vite noe om hva slags energi den mørke energien er, kun med den antakelse at vi ikke kan måle farten vår i forhold til den mørke energien. Hvis dette er tilfelle, og ingen målinger tyder på noe annet, må alle egenskapene til den mørke energien være lorentzinvariante. Man kan regne ut at dersom dette skal være oppfylt må $w = -1$. Denne typen mørk energi kalles lorentzinvariant vakuumenergi og har akronymet LIVE. Det er ikke utenkelig at både higgsenergien og den kvantemekaniske vakuumenergien er av typen LIVE.

Denne typen mørk energi har mange interessante egenskaper. En av dem kan utledes svært enkelt. Hvis universet er homogent er det ingen temperaturvariasjoner i kosmisk skala. Da vil det ikke være noen varmeutveksling mellom ulike deler av universet. Følgelig utvider universet seg *adiabatisk.* Termodynamikkens 1. lov kan da skrives

$$dU + pdV = 0$$

der $U = \rho c^2 V$ er energien innenfor et såkalt medbevegende kuleskall som deltar i universets ekspansjon. Siden

$$dU = d(\rho c^2 V) = \rho c^2 dV + c^2 V d\rho$$

blir

$$c^2 V d\rho + (p + \rho c^2) dV = 0$$

Ved å sette inn tilstandslikningen

$$p = -\rho c^2$$

for mørk energi av typen LIVE fås $d\rho = 0$, som betyr at LIVE har konstant tetthet under ekspansjonen.

Konklusjonen er at ikke bare ser LIVE helt lik ut for enhver observatør, samme hvor raskt observatøren beveger seg gjennom den, men denne typen energi har også uforandret tetthet selv om universet ekspanderer. Dette betyr at det blir mer og mer vakuumenergi i motsetning til materien som det ikke blir mer av, og som har avtagende tetthet under ekspansjonen. Dette viser også at begrepet "universets energi" er problematisk. Det gjøres et negativt volumarbeid ved overflaten av området som betraktes. Dette sørger for å opprettholde tett-

heten av LIVE innefor. Arbeidet innebærer en energitransport inn gjennom overflaten. Men likevel er tettheten av LIVE konstant også utenfor dette volumet i overensstemmelse med at overflaten kan velges hvor som helst. På en måte tappes det uendelig fjerne for vakuumenergi.

Tettheten til den mørke energien av typen LIVE kan representeres ved den såkalte kosmologiske konstanten Λ i Einsteins gravitasjonslikninger. Sammenhengen er

$$\Lambda = 8\pi G\rho \tag{10}$$

Den kosmologiske konstanten er berømt. Den ble innført i Einsteins første artikkel om relativistisk kosmologi i 1917. Den gang trodde alle at universet var statisk, at det ikke utvidet seg, så Einstein ville lage en statisk universmodell. Men han oppdaget at gravitasjonslikningen ikke tillot det. For et univers som opprinnelig var statisk ville begynne å falle sammen på grunn av tiltrekkende gravitasjon.

Da fant Einstein ut at gravitasjonslikningene kunne generaliseres ved å legge til et ledd med den såkalte kosmologiske konstanten. For Einstein representerte den en iboende, frastøtende egenskap ved rommet, og den gjorde det mulig å konstruere en statisk universmodell.

De opprinnelige likningene uten noen kosmologisk konstant, tillot imidlertid ekspanderende universmodeller, noe som først ble vist av den russiske fysikeren Alexandr Friedmann i 1922.

Einstein ergret seg kraftig over at han ikke hadde forutsagt universets ekspansjon ut fra sine opprinnelige likninger, da Edwin Hubble i 1929 annonserte at observasjoner av rødforskyvning i lyset fra galakser viste at universet ekspanderer. Einstein omtalte dette som sin største tabbe. Det var i hvert fall en gylden mulighet som han ikke benyttet seg av.

Den moderne tolkningen av den kosmologiske konstanten er at den ikke har noe med en iboende frastøtende tendens for rommet å gjøre, men at den representerer tettheten til mørk energi av typen LIVE.[3]

Mørk materie

Som nevnt før likning (8), tyder målinger av temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen på at vi bor i et univers med kritisk tetthet. Det er derfor vanlig at når kosmologene skal fortelle hvor mye det er av én type materie eller energi, så oppgir de andelen av den kritiske tettheten som materien eller energien bidrar med. Denne andelen kalles tetthetsparameteren og betegnes med Ω,

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{kr}} \tag{11}$$

Supernovaobservasjonene tyder på at universet er fylt av mørk energi med omtrent 70 % av den kritiske tettheten. Når astronomene summerer opp all observert materie – stjerner, interstellar gass og støv, nøytrinoer – alt vi kjenner til, så kommer de frem til at denne bidrar med omtrent 4 % av den kritiske tettheten. Dette er (bortsett fra elektronene og nøytrinoene) tettheten av den såkalte *baryoniske materien*, den som består av protoner og nøytroner.

Kosmologene er så heldige at dette anslaget kan testes. For mengden av helium og litium som ble dannet under den kosmiske nukleosyntesen i universets første kvarter, avhenger av den baryoniske materiens gjennomsnittlige tetthet i universet. Beregningene viser at det blir overensstemmelse mellom teorien og observasjonene dersom den kosmiske tettheten av den baryoniske materien er omtrent 4 % av den kritiske tettheten.

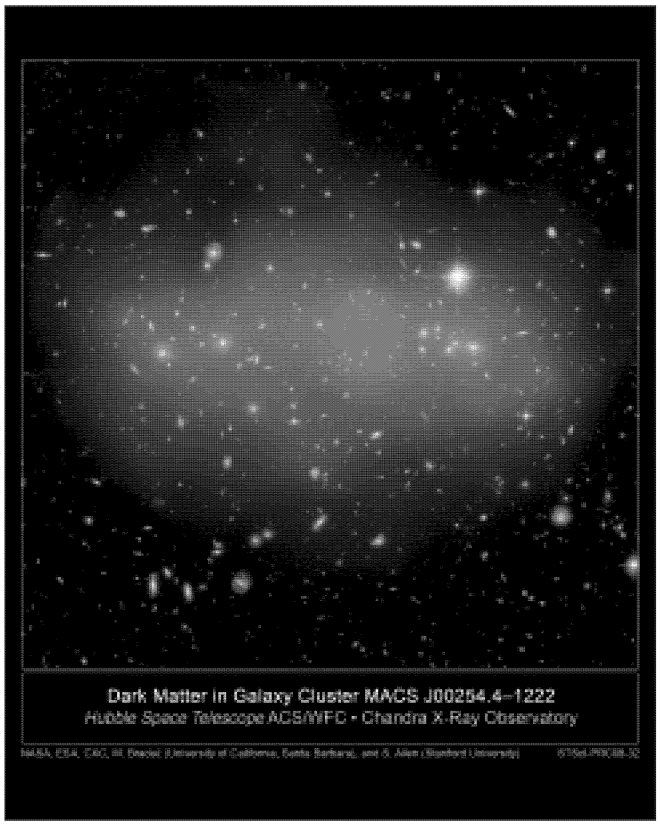
Den mørke energien og den baryoniske materien utgjør til sammen omtrent 74 % av den kritiske tettheten. Men universet har kritisk tetthet, så det mangler 26 %. Hva kan det være? Astronomene har en kandidat: mørk materie,[4] og de kan til og med foreta en uavhengig beregning av hvor stort bidrag den mørke materien gir til universets tetthet.

Det eksisterer to typer observasjoner som viser at universet må være fylt av store mengder mørk materie. Galaksene roterer så raskt at de for lengst skulle ha løst seg opp dersom de ikke ble holdt sammen av et sterkere gravitasjonsfelt enn det den synlige (baryoniske) materien lager; og galaksene beveger seg så raskt at galaksehopene også skulle ha forsvunnet uten hjelp av mørk materie til å holde dem sammen. Disse to typene observasjoner har gjort det mulig å beregne den gjennomsnittlige tettheten av mørk materie i universet. Svaret er omtrent 26 % av den kritiske tettheten.

Dermed blir den samlete tettheten av den baryoniske materien, den mørke materien og den mørke energien, omtrent lik den kritiske tettheten. Brikkene i puslespillet passer sammen. Hvis summen av tetthetene ikke hadde vært lik den kritiske tettheten, ville det vært en konflikt med observasjonene av temperaturvariasjonene i bakgrunnsstrålingen.

Eksistensen av mørk materie styrkes også av en tredje type observasjoner. Hvor mye lyset

avbøyes av en gravitasjonslinse avhenger av den totale massen i linsen, både den lyse og den mørke, ikke bare av massen til den baryoniske materien. Observasjoner av tetthetsfordelingen i kolliderende galaksehoper slik den viser seg i fotografier og slik den fremtrer som et resultat av beregninger med utgangspunkt i observasjoner der hopene opptrer som en gravitasjonslinse, viser at fordelingen av den mørke materien er ulik fordelingen av den baryonisk materien (se figur 1).



Figur 1. Fotografi av galaksehopen MACS J0025.4-1222 som i virkeligheten består av to kolliderende galaksehoper. De opptrer som gravitasjonslinse for stråling fra en bakenforliggende galaksehop. Blått viser beregnet fordeling av mørk materie, og rosa er baryonisk materie. (Bildeadresse: *http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2008/32/image/a/*)

Den gravitasjonelle linseeffekten kan brukes til å undersøke ikke bare fordelingen av mørk materie, men også egenskapene til den mørke energien. Dette er utnyttet i et nytt arbeid med resultater som ble rapportert i en artikkel i *Science*, 20. august 2010,[5] noe vi nå skal se litt nærmere på.

Gravitasjonell linseeffekt kaster lys over mørk materie og energi

Astronomene arbeider med å kartlegge egenskapene til den mørke energien med økende presisjon, både hvor stor tetthet den har og verdien av w. I denne sammenhengen har den gravitasjonelle linseeffekten vist seg å være viktig. Det kommer av at fordelingen av mørk energi og lysende materie er svært forskjellig i universet.

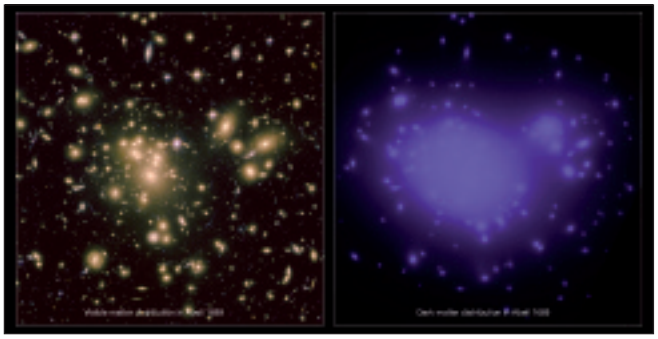
Når lys fra en fjern galakse passerer en galaksehop på vei mot jorda, avbøyes lyset av gravitasjonsfeltene det passerer gjennom. Det hele er ganske komplisert. Lyset passerer gjennom gravitasjonsfelter fra mange kilder, materie i galakser og galaksehoper og mørk energi. Vi ser bare resultatet av alt sammen.

Ved å konstruere modeller for hvordan materien er fordelt i galakser og galaksehoper, og hvordan lyset avbøyes av den mørke energien på den lange reisen fra en fjern galakse langt bak hopen som virker som gravitasjonslinse, og videre frem til jorda, kan astrofysikerne ved hjelp av kraftige datamaskiner danne seg forestillinger om egenskapene til materie og mørk energi ut fra de bildene de observerer.

En internasjonal gruppe av astronomer under ledelse av Eric Jullo, har nylig gjort slike undersøkelser der målet var å få vite mer om tettheten av den mørke materien og verdien av w for den mørke energien. I denne undersøkelsen virker galaksehopen Abell 1689, som er 2,2 milliarder lysår fra solsystemet, som gravitasjonslinse for lyset fra en bakenforliggende galaksehop som trolig befinner seg over 10 milliarder lysår fra Melkeveien. Dette objektet er tidligere fotografert med romteleskopet Hubble (figur 2).

I fotografiet til venstre i figur 2 opptrer en hel rekke små, avlange og litt bueformede strukturer som alle er fordreide bilder av galakser i en bakenforliggende galaksehop. Til høyre vises fordelingen av mørk materie som astrofysikere er kommet frem til ved å utnytte den gravitasjonelle linseeffekten.

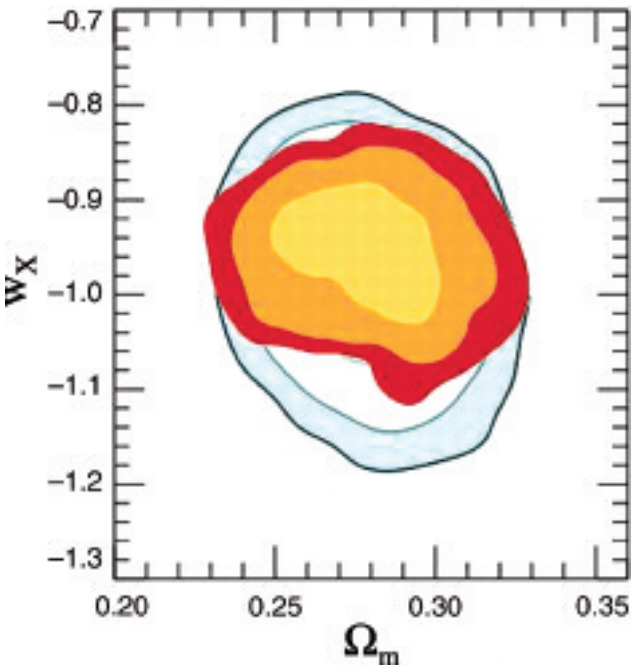
Ved å kombinere disse observasjonene med andre typer observasjoner (omtalt ovenfor), kom astrofysikerne frem til at $0,25 < \Omega_m < 0,30$ (figur 3). De greide også å bestemme verdien av w med litt bedre nøyaktighet enn tidligere. Resultatet er $-1,04 < w < -0,88$. Legg merke til at verdien for LIVE, $w = -1$, ligger innenfor det området som passer med observasjonene.



Figur 2. Bildet til venstre viser fordelingen av synlig materie i galaksehopen Abell 1689, fotografert med romteleskopet Hubble. Til høyre vises fordelingen av mørk materie som astrofysikere har beregnet ut fra den gravitasjonelle linseeffekten. (Bildeadresse: *http://www.spacetelescope.org/news/heic1014*)

Konklusjon

Mange typer observasjoner synes å favorisere at den mørke energien er av typen LIVE som kan representeres ved den kosmologiske konstanten i Einsteins gravitasjonslikninger. Hvis universet er homogent, tyder flere typer målinger på at hele 70 % av alt universet inneholder består av denne typen energi, en energi som dominerer mer og mer etter hvert som universet utvider seg.



Figur 3. Med de nye observasjonsdataene snevres det foretrukne området av verdier for den mørke energiens tilstandslikningparameter w_X og den mørke materiens tetthetsparameter Ω_m inn til det gule området på figuren.[5] (Bildeadresse: *http://www.sciencemag.org/cgi/content-nw/full/329/5994/924/F3*)

Foreløpig vet vi lite om hva denne energien er. Det kan være at vi ikke har noen teori som er tilstrekkelig kraftig til å fortelle oss det. Einstein sa: "Det er teorien som forteller hva vi observerer." Kanskje vil en tilstrekkelig kraftfull kvantegravitasjonsteori kunne fortelle oss hva den mørke energien er.

Referanser

1. Hjemmesiden til Supernova Cosmology Project på Internett: *http://www-supernova.lbl.gov/*
2. Ø. Grøn og I.K. Wehus: *Fantomenergi og kosmisk dommedag.* FFV, **66 årg.,** nr. 1, 23–26 (2004)
3. S. Weinberg: *The cosmological constant problem.* Rev. Mod. Phys. **61,** 1–23 (1989)
4. Ø. Grøn og S.O. Sørensen: *Mørk materie i universet.* Del 1, Symmetri, **3,** 31–39 (1996)
   Del 2, Symmetri, **3,** 72–78 (1996)
5. E. Jullo et. Al.: *Cosmological Constraints from Strong Gravitational Lensing in Clusters of Galaxies.* Science **329,** 924-927 (2010)

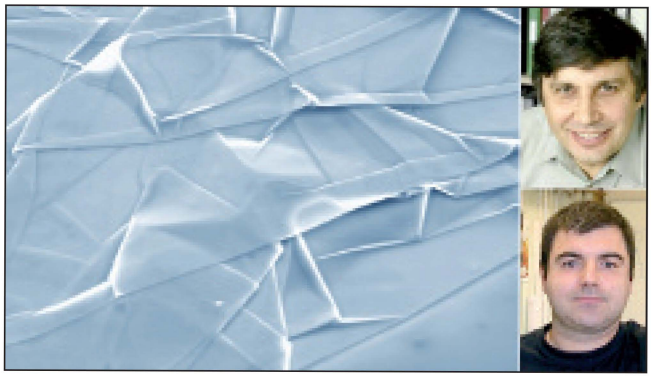
∞

Nobelprisen i fysikk 2010

Asle Sudbø og Jacob Linder *

Nobelprisen i fysikk for 2010 gikk til fysikerne Andre K. Geim og Konstantin S. Novoselov ved Manchester University i England, for deres pionerarbeider på to-dimensjonale monolag av rent karbon, oftest kalt grafen, eller som Nobelkomiteen sier: "for groundbreaking experiments regarding the two-dimensional material graphene."[1] På figur 1 er Geim øverst og Novoselov nederst. Bildet viser også et transmisjons-elektronmikroskopbilde (TEM-bilde) av grafen.

Rene former for karbon har typisk vært den stabile formen *grafitt* og den metastabile formen *diamant* (som dannes under høyt trykk og høye temperaturer). Førstnevnte brukes i blyanter og består av karbon i et heksagonalt (sekskantet) gitter stablet oppå hverandre slik at det dannes en tre-dimensjonal struktur. Når en skriver med en blyant river en av tynne flak av denne strukturen, og det som ligger igjen på skrivearket er en struktur av noen få monolag med slike to-dimensjonale heksagonale gitre.



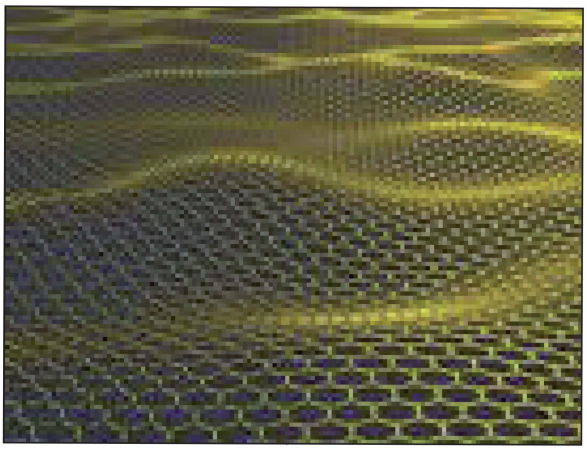
Figur 1. Bildet til venstre er et TEM-fotografi av grafen. Til høyre øverst: Andre Geim. Til høyre nederst: Konstantin Novoselov.

* Institutt for fysikk, NTNU

Materialet og mulige anvendelser

Grafen er et to-dimensjonalt system som består av nøyaktig ett lag av karbonatomer organisert i et "bikubemønster", som illustrert i figur 2. Enhver som har skrevet eller krotet litt med en blyant har altså etterlatt på papiret en grafenlignende struktur, og dermed produsert en struktur nesten (men bare nesten!) i nobelprisklasse.

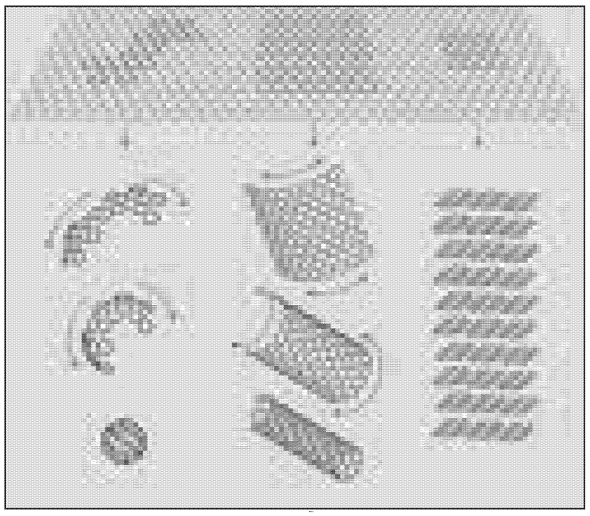
Grafen kan minne om flak av hønsenetting. Disse flakene kan krølles sammen til en 0-



Figur 2. Illustrasjon av et to-dimensjonalt monolag av rent karbon i et regulært heksagonalt gitter, grafen.

dimensjonal ballstruktur, rulles sammen til en 1-dimensjonal nanorørstruktur, eller pakkes i en 3-dimensjonal grafittlignende struktur, som illustrert i figur 3. (Her refererer dimensjonaliteten seg til hva man vil observere på lengdeskalaer langt større enn radien i ballstrukturene eller i nanorørene).

Det har vært gjort seriøse forsøk på å syntetisere grafen siden 1960-tallet, men det var lenge tvil om hvordan en skulle få isolert nøyaktig ett monolag. Som regel klarte en å få til noen få, men kunne aldri være helt sikker på at det kun var ett lag i strukturen. Interessen for dette har holdt seg noen ti-år, og det kom som en overraskelse da Geim og



Figur 3. Måter å deformere graafen på: det kan krølles sammen til en 0-dimensjonal buckyballstruktur, rulles sammen til en 1-dimensjonal karbon-nanorørstruktur eller stables opp i en 3-dimensjonal grafittstruktur.

Novoselov annonserte metoden de hadde brukt for å lage ett monolag: De hadde lagt tape på grafitt, og deretter revet av tapen. Det som lå igjen på selve tapebiten, var grafen!

Dette materialet har dessuten den egenskapen at det er lett bøyelig, mykt som plast og samtidig sterkt som stål. Det er det "tynneste og sterkeste materiale som noensinne er laget", ifølge informasjonen som gis på de offisielle hjemmesidene til Nobelstiftelsen. Det har altså svært uvanlige og interessante mekaniske egenskaper.

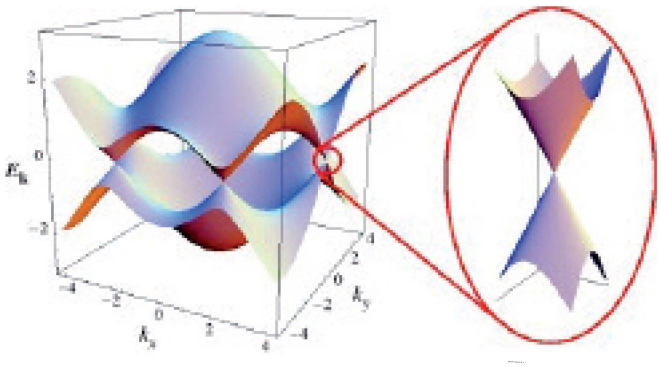
Dersom en tenker seg en hengekøye av grafen stramt utspent med areal på 1 m^2, vil den veie ca. 1 mg. På denne svært lette og helt usynlige "hengekøyen" vil en kunne legge en vekt på 4 kg uten at den ryker! Det sies i populærfremstillingen på Noblestiftelsens hjemmesider: "En kan legge en katt på en hengekøye som veier like mye som kattens værhår." At et materiale med slike egenskaper kan ha svært nyttige anvendelser, også industrielt, er ikke vanskelig å se for seg.

Ett av de mest lovende anvendelsesområdene til grafen er imidertid ikke knyttet til materialets strukturelle egenskaper, men derimot til dets funksjonelle egenskaper. En ser for seg et betydelig anvendelsespotensiale innen transistorteknologi med grafen. I dag domineres dette markedet av halvledermaterialer, typisk basert på silisium eller gallium. Grafen har flere egenskaper som gjør dette materialet mye bedre egnet for transistorteknologi enn dagens mest brukte havledermaterialer. For det første finnes det ingen materialer som leder strøm bedre enn grafen ved romtemperatur. I tillegg vil transistorer av grafen kunne lages mye mindre enn tilsvarende enheter laget av silikon, hvilket innebærer at man kan ha flere grafentransistorer per areal enn hva som tidligere har vært mulig. Dette høres jo bra ut, men hva med oppvarmingseffekten som finner sted når man pakker transistorer for tett sammen? Også her fremviser grafen unike egenskaper: Grafen er nemlig svært motstandsdyktig mot varme, hvilket gjør at effektiviteten til en grafentransistor forblir høy selv når temperaturen blir høy. Alle de nevnte egenskapene gjør at grafen peker seg ut som en realistisk arvtager til silikon innenfor transistorteknologi.

Fundamentalfysikk

Det er imidlertid ikke bare de potensielle anvendelsene som har gjort at syntetiseringen av denne to-dimensjonale strukturen har vakt slik oppmerksomhet og interesse blant forskere i kondenserte mediers fysikk. Det skyldes også de uvanlige egenskapene til elektronene i dette systemet: de oppfører seg nemlig som relativistiske, masseløse partikler, hvilket har en rekke interessante konsekvenser. Blant disse finner vi en manifestasjon av Kleinparadokset som ble lagt frem av den svenske fysikeren Oskar Klein i 1929. Klein betraktet elektroner innsendt mot en potensialbarriere. Dersom elektronene var ikke-relativistiske, ville sannsynligheten for at de passerte barrieren avta eksponentielt med tykkelsen av barrieren. Klein fant derimot at *relativistiske* elektroner kunne passere barrieren med en sannsynlighet som økte med styrken på barrieren. På grensen mot en uendelig sterk barriere hvor ikke-relativistiske elektroner ville ha null sannsynlighet for å passere, fant Klein at relativistiske elektroner ville passere med 100 % sannsynlighet. Nettopp slik oppførsel er blitt observert eksperimentelt for elektronene i grafen, hvilket bekrefter deres relativistiske natur. Men hvordan oppstår disse usedvanlige egenskapene til elektronene i grafen?

I figur 4 er båndstrukturen (energi som funksjon av bølgetall) illustrert for elektroner i et to-dimensjonalt heksagonalt gitter. Denne fremkommer ved en såkalt "tight-binding approksimasjon" til eletronspekteret når man neglisjerer vekselvirkninger mellom elektronene, og ser bort fra urenheter og gitterdefekter i systemet. Det som er litt spesielt for dette ideelle tilfellet med et halvfylt system (ett elektron per gitterpunkt), er at det øverste besatte nivået i systemet (fer-



Figur 4. Båndstrukturen for grafen. Ferminivået ligger der spissene møtes. Ferminivået består av to diskrete punkt i k-rommet. Legg merke til at nær ferminivåene er elektron-dispersjonsrelasjonen lineær i bølgetallet. Elektronene i grafen har således asymptotisk et eksitasjonsspektrum identisk med masseløse relativistiske partikler. Det forstørrede området viser tydelig hvordan elektronenergien avhenger lineært av bølgetallet nær ferminivået. Dermed blir *lavenergifysikken* relativistisk invariant!

minivået) danner seks punkter (to distinkte punkter), og ikke en linje, når energien til elektronene plottes som funksjon av bølgetall (k) i et to-dimensjonalt bølgetallsrom, se figur 4. Fermiflata (fermilinja i to dimensjoner) er redusert til to fermipunkter. Som en ser av plottet, danner elektronspekteret, nær fermipunktene, en konisk isotrop struktur. Det betyr at etter hvert som en fjerner seg fra fermienergien i nærheten av ferminivået, vil elektronspekteret være *lineært i bølgetall* og ha samme struktur som en *relativistisk masseløs partikkel.* Den asymptotiske *lavenergifysikken*, når energien er målt relativt til ferminivået, er altså relativistisk invariant! Tilsvarende eksempler på en tilnærmet relativistisk symmetri ved lave energier, finnes nær ferminivået i en-dimensjonale vekselvirkende elektronsystemer, samt i den superledende fasen av høy-temperatur superledere. Men da skyldes denne symmetrien helt andre og langt mer kompliserte effekter som involverer elektron–elektronvekselvirkninger. I grafen fremkommer dette som enkleste type en-partikkelfysikk, asymptotisk nær ferminivå. Båndstrukturen i figur 4 ble faktisk beregnet som en enkel øvelse første gang i 1947 av R.P. Wallace.[2] At bølgeligningen for lavenergieksitasjonene i problemet er den samme som for masseløse diracpartikler, har vært kjent i over 25 år.[3] Men det var først da stoffet virkelig ble syntetisert at interessen for egenskapene til disse lavenergieksitasjonene blusset opp. Det har vært en stor industri å regne på dette de siste seks årene.

I figur 4 ligger de energiene som er merket i blått under ferminivået, og de som er merket med grønt ligger over ferminivået. Legg merke til at akkurat på ferminivå finnes ingen tilstander. Tettheten av elektrontilstander er dermed endelig over og under ferminivå, men null på selve ferminivået. Grafen kalles derfor et semi-metall.

Den lineære dispersjonsrelasjonen har også interessante fysiske konsekvenser når grafen brukes i heterostrukturer sammen med forskjellige typer viktige funksjonelle materialer. Grafen er i seg selv for eksempel hverken magnetisk eller superledende, men magnetisme og superledning kan induseres i materialet ved en såkalt proksimitetseffekt. Det vil si at magnetisme og superledning kan "lekke" inn i grafen fra nærliggende materialer i en sandwichstruktur, og derved indusere brutte symmetrier. Fundamentalfysisk er dette interessant fordi en nå har et laboratorium der en kan studere slike typer fenomener i "relativistisk invariante" systemer. Potensielle anvendelser av heterostrukturer bestående av grafen i kombinasjon med funksjonelle materialer, er for tiden et svært aktivt forskningsfelt i kondenserte mediers fysikk. Mer informasjon kan finnes på Nobelstiftelsens hjemmesider.[4]

Som vi har sett, er mye av interessen for grafen knyttet til hva en tenker seg en vil kunne bruke dette materialet til, og ikke hva det faktisk er blitt brukt til. Slik sett representerer årets nobelpris i fysikk et ekstremt motstykke til fjorårets pris. Nobelprisen i fysikk 2010 er først og fremst en pris til forskere som har vist at de har klart å fremstille et materiale med svært lovende anvendelsesmuligheter både som et strukturelt og et funksjonelt materiale. Teoretisk sett er beskrivelsen av den interessante lavenergifysikken ikke mer komplisert enn at universitetsstudenter med et innføringsfag i faststoff-fysikk kan forstå eksitasjonsspekteret fullt ut.

Referanser

1. K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, and A.A. Firsov: *Electric field effect in atomically thin carbon films.* Science **306,** 666 (2004)
2. P.R. Wallace: *The band theory of graphite.* Physical Review **71,** 476 (1947)
3. G.W. Semenoff: *Condensed-matter simulation of a three-dimensional anomaly.* Physical Review Letters **53,** 2449 (1984)
4. Internett: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics

∞

Kavliprisen i astrofysikk 2010

Oddbjørn Engvold *

Kavliprisen i astrofysikk for 2010 gikk til Jerry Nelson, University of Santa Cruz og Lick Observatory, USA, Raymond Wilson, European Southern Observatory, Tyskland, og James Roger Prior Angel, Steward Observatory, University of Arizona, USA. De fikk prisen for sine bidrag til utvikling av store teleskoper, som allerede har resultert i betydelige vitenskapelige gjennombrudd. De tre har, hver for seg, bidratt med fundamental ny teknologi som har gjort det mulig å bygge og operere store optiske og infrarøde teleskoper. De utviklet alle sine teknologiske løsninger mot slutten av 1970-tallet og tidlig på 1980-tallet, og man kan i dag fullt ut bedømme deres revolusjonerende bidrag til utviklingen av dagens teleskoper.

Et teleskops yteevne med hensyn til følsomhet og oppløsning er gitt ved størrelsen på primærspeilet. Teleskopets maksimale vinkeloppløsning begrenses av primærspeilets diameter. Følsomheten øker med økende antall fotoner innenfor oppløste strukturer i avbildingen. Diffraksjonsgrensen angir den minste struktur som kan oppløses i et bildedannende optisk system med aperturdiameter D ved bølgelengden λ. Denne minste vinkelutstrekning (i radianer) er gitt ved $\alpha = 1,22\lambda/D$. Eksempelvis gir romteleskopet Hubble med 2,4 m apertur, en vinkeloppløsning på 0,05 buesekunder ved bølgelengder omkring 500 nm. Til sammenligning kan det menneskelige øye med 5 mm pupilldiameter en mørk natt og 2 mm på høylys dag, skjelne detaljer fra henholdsvis 0,3 til 1 bueminutt.

Diffraksjonsbegrenset oppløsning oppnås bare med perfekte optiske flater i det avbildende oppsettet. I moderne teleskoper sikres innbyrdes korrekt posisjon av bildedannende optiske komponenter, samt korrekt form på bildedannende speilflater, gjennom datastyrt aktiv montering, såkalt *aktiv optikk*.

Figur 1. Vinnerne av Kavliprisen i Astrofysikk for 2010: Jerry Nelson, Raymond Wilson og James Roger Prior Angel.

Optisk avbilding av astronomiske objekter med bakkebaserte teleskoper er for øvrig begrenset av atmosfæriske forstyrrelser. Bølgefronten fra en astronomisk lyskilde er plan før den møter jordatmosfæren som er termisk inhomogen på mange romlige skalaer. Det fører til at bølgefronten blir ujevn idet den når fram til et teleskop på bakken, og lyset fra en punktkilde på himmelen samles dermed ikke i ett skarpt fokus i teleskopet. Av denne grunn plasseres astronomiske teleskoper i store høyder for å unngå mest mulig forstyrrende skylag i områder hvor atmosfæren er tørr og rimelig homogen. I tillegg anvendes *adaptiv optikk* som korrigerer for en betydelig del av resterende optiske forstyrrelser fra atmosfæren.[2,3]

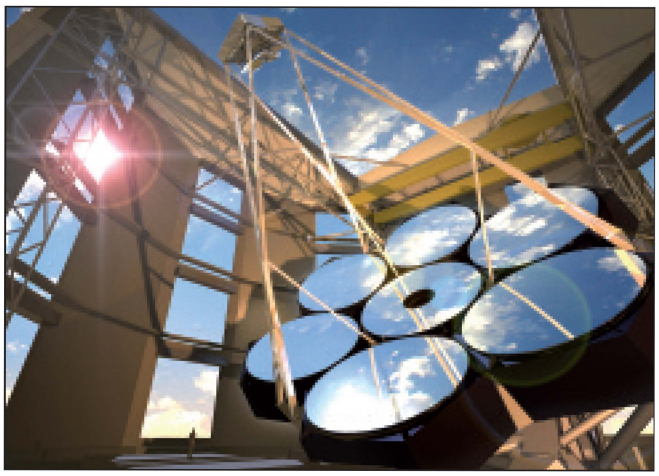
For å sikre den nødvendige stivhet og stabilitet i tidligere konvensjonelle teleskopkonstruksjoner med store speildiametre, ble primærspeilene gradvis mer massive og tunge. Krav til håndterbare bære- og styrekonstruksjoner begrenset således den praktiske størrelsen på teleskopenes primærspeil. *Hale Telescope* på Mount Palomar i California, med speildiameter 5 m og total vekt på 530 tonn som ble tatt i bruk i 1948, forble det største operative teleskopet inntil Nelsons, Wilsons og Angeles løsninger ble introdusert og tatt i bruk i 1990-årene.

Roger Angel lyktes med å produsere lette speil med tilstrekkelig stivhet ved å avkjøle smeltet

* Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO

glass på en roterende bikakestruktur (*honeycomb*). Den videre slipning av speiloverflaten til korrekt form, ble utført med datastyrt poleringsverktøy som tilpasses ønsket form for ulike områder på speilflaten. Hullene på speilets bakside bidrar til en betydelig vektreduksjon, og rotasjonshastigheten bestemmer den parabolske krumningen på den resulterende speilflaten. Metoden gjør det praktisk mulig å lage store speil med kort brennvidde som derved tillater mer kompakte og mindre massive teleskoper. Kompakte teleskopstrukturer får plass i mindre og rimeligere kupler.

Roger Angels teleskopløsning ble brukt i Large Binocular Telescope (LBT) som i 2005 ble tatt i bruk på Mount Graham International Observatory i Arizona. Teleskopet har to 8,4 m primærspeil i en felles montering som fører til at speilenes ytterkanter i én retning svarer til en apertur med diameter 22,8 m. Når lyset fra de to primærspeilene kombineres slik at de er i fase i fokus, fås økt detaljoppløsning i den ene retningen. Samme type speil vil også anvendes i Giant Magellan Telsecope (GMT) som skal bestå av 7 primærspeil satt sammen slik at de vil gi en oppløsning som svarer til ett speil med diameter 24,5 m.[7] Ved bruk av *adaptiv optikk* for korrigering av atmosfæriske forstyrrelser forventes GMT å gi bilder med detaljer som er ned mot 1/10 av det Hubble Space Telescope gir i dag. GMT forventes å stå ferdig i 2018 på fjelltoppen Las Campanas, Chile, i en høyde på 2550 moh (se figur 2).



Figur 2. Bildet viser *Giant Magellan Telescope* (GMT) som forventes å stå ferdig omkring 2018. Teleskopet åpner et nytt vindu til universet i det 21. århundre.

Raymond Wilson angrep problemet fra en annen vinkel ved å satse på ekstremt tynne, fleksible primærspeil hvor den korrekte formen ble sikret ved bruk av *aktiv optikk*, hvilket han i stor grad selv ledet utviklingen av. Avvik fra speilflatens korrekte form som registreres ved optiske sensorer, blir korrigert av et større antall stempler på baksiden med en nøyaktighet bedre enn en brøkdel av lysets bølgelengde. Speilmaterialet er såkalt Zerodur som har meget lav termisk utvidelseskoeffisient.

Wilsons konsept ble først utprøvd med European Southern Observatorys (ESO) 3,5 m New Technology Telescope (NTT), som i 1977 ble tatt i bruk på fjellplatået La Silla, 2400 moh, like sør for ørkenområdet Atacama i Chile. Den vellykkede bruk av tynne, lette speil med NTT dannet grunnlaget for ESOs neste store teleskopprosjekt, Very Large Telescope (VLT), som består av fire 8,2 m teleskoper for observasjoner i optiske, nære og midlere infrarøde spektralområder. De fire teleskopene kan brukes både sammen for observasjoner av samme objekt med flere forskjellige instrumenter, og hver for seg. ESOs VLT ble i 1998 tatt i bruk på Cerro Paranal, 2635 moh, i samme fjellområdet som NTT. Wilsons tynne primærspeil og aktiv optikk, benyttes også i det japanske 8,3 m optiske-infrarøde Subaru teleskopet på Manuna Kea, Hawaii, samt i de to Gemini 8,1 m teleskopene, hvorav det ene er plassert på Manuna Kea og det andre på Cerro Pachon i Chile.

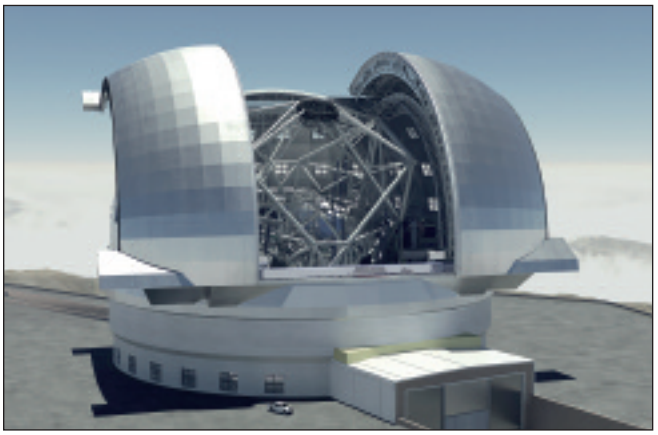
Jerry Nelson gikk bort fra ideen om å bruke ett enkelt speil. Han satte i stedet store speil sammen av en rekke tynne, heksagonale (sekskantede) segmenter. Siden det store speilet har en asfærisk krumning, vil formen på hvert enkelt segment avhenge av dets plassering i den store speilflaten. Nelson forenklet slipingen av de innbyrdes forskjellige segmenter ved å ta i bruk såkalt "stress polishing". Segmentene utsettes da for et deformerende stress, deretter slipes og poleres de helt plane. Når stresset utløses inntar hvert segment den ønskede formen. Igjen sørger datastyrt aktiv montering for å holde segmentene i riktig posisjon slik at de til sammen utgjør en nær perfekt optisk overflate.

Segmenterte speil ble først tatt i bruk i de to kjente 10 m Keck-teleskopene. Disse står på toppen av Mauna Kea, Hawaii, 4200 moh, sammen med en rekke andre teleskopinstallasjoner. Gran Telescopio Canarias (GTC), med speildiameter 10,4 m, som nylig er tatt i bruk på Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), La Palma, Kanariøyene, baseres på et segmentert primærspeil. Samme speilløsning blir benyttet også for James Webb Space Telescope (JWST) med aperturdiameter 6,5 m, som blir neste generasjon romteleskop

etter Hubble. JWST som forventes å bli brakt i bane utenfor jorda i 2015, optimaliseres for infrarøde observasjoner.

Nelsons segmenterte speilløsning har gjort det mulig å bygge ESOs E-ELT (The European Extremely Large Telescope) som blir verdens største teleskop med speildiameter på utrolige 42 meter bestående av 984 segmenter. E-ELT skal stå ferdig i 2018 på Cerro Armazones, i en høyde på 3060 moh, i Chiles Atacamaørken. Teleskopets ytre beskyttende kuppel vil rage 100 m over bakken (se figur 3).

Siden de omtalte nye, store teleskopene uten unntak vil ta i bruk adaptiv optikk for korrek-



Figur 3. Tegningen viser det framtidige *European Extremely Large Telescope* (E-ELT) som er det største bakkebaserte teleeskop under planlegging for observasjoner i det optiske og det nær-infrarøde bølgelengdeområdet. Teleskopet vil bli satt opp på Cerro Armazones i Chile, av European Southern Observatory (ESO).

sjon av atmosfærens optiske forstyrrelser, vil deres følsomhet og bildeoppløsning overgå det som oppnås med teleskoper i rommet.

Grensesprengende oppdagelser og ny innsikt innen naturvitenskap, er ofte en følge av banebrytende teknologiske fremskritt. De nye store teleskopene som allerede er tatt i bruk, har gitt oppsiktsvekkende resultater, så som påvisning av universets akselererende utvidelse, oppdagelse av massive *sorte hull* i sentrum av vår galakse og i andre galakser, stjernedannelse i lokale galakser, forholdene i protostellare skiver, og de har gitt økt kunnskap om planeter i bane rundt andre stjerner.[5, 6 og 7]

Bidragene fra Jerry Nelson, Raymond Wilson og Roger Angel til utviklingen av moderne, store teleskoper har allerede gitt resultater av fundamental betydning både i astronomien og på tilstøtende naturvitenskapelige områder; og vi bør forvente en videre rivende utvikling i kunnskap om universet og naturvitenskap generelt, ettersom stadig større teleskoper blir operative og tilgjengelige.

Referanser

1. Komiteens begrunnelse: *http://www.kavliprize.no/binfil/download.php?tid=45358*
2. F. Roddier, ed.: *Adaptive Optics for Astronomy.* Cambridge University Press, (1999)
3. A. Tokovinin: *Adaptive optics tutorial at CTIO,* (2005) *http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/tutorial/index.html*
4. A.O. Jaunsen: *European Southern Observatory (ESO). http://www.eso.org/public/norway/index.html*
5. Vitenskap med ESO-teleskopene: *http://www.eso.org/public/norway/astronomy/science/*
6. W.M. Keck Observatory: *http://keckobservatory.org/about/welcome_to_keck_observatory*
7. The Giant Magellan Telescope (GMT): http://www.gmto.org/

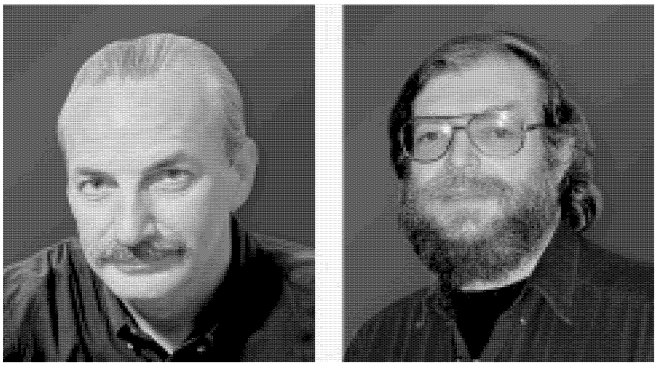
∞

SKRIV I FRA FYSIKKENS VERDEN

Kavliprisen i nanofysikk 2010

Arne T. Skjeltorp *

Kavliprisen i nanovitenskap for 2010 ble tildelt Donald M. Eigler, IBM's Almaden Research Center, San Jose, California, USA, og Nadrian C. Seeman, New York University, USA, for deres utvikling av enestående metoder for å kontrollere materiale på nanoskala. Disse oppdagelsene vil være viktige i fremtidens forskjellige anvendelser av nanovitenskap innenfor områder som spenner fra elektronikk til biomedisin.



Figur 1. Prisvinnerne Donald M. Eigler og Nadrian C. Seeman

Bakgrunn for Kavliprisen

Kavliprisen er tre forskningspriser knyttet til forskningsområdene astrofysikk, nanovitenskap og nevrovitenskap som annethvert år deles ut i Oslo av den amerikanske stiftelsen Kavli Foundation og Det Norske Videnskaps-Akademi. Prisfondet er opprettet av den norsk-amerikanske forretningsmannen *Fred Kavli* og ble første gang utdelt i 2008.

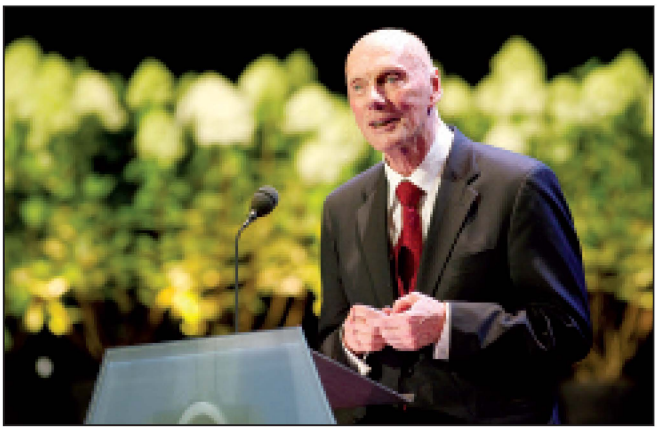
Prisene skal deles ut til forskere som har gjort en særlig fremragende vitenskapelig innsats på sine respektive områder. Spesielt skal Kvliprisen innen nanovitenskap gis for banebrytende oppdagelser innen grunnforskning og anvendt forskning på atom-, molekyl-, makromolekyl- og cellestrukturer, inkludert nanomaterialer, nanobioteknologi, makromolekylær syntese, molekylær mekanikk og instrumentering på nanonivå.

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 fagjuryer bestående av de fremste forskere innenfor de respektive vitenskapsgrenene som prisene skal tildeles i. Utvelgelsen av jurymedlemmene er skjedd i nært samarbeid med det kinesiske og det franske vitenskapsakademiet, det tyske Max Planck-vitenskapsselskapet, National Academy of Sciences (US), og The Royal Society (UK).

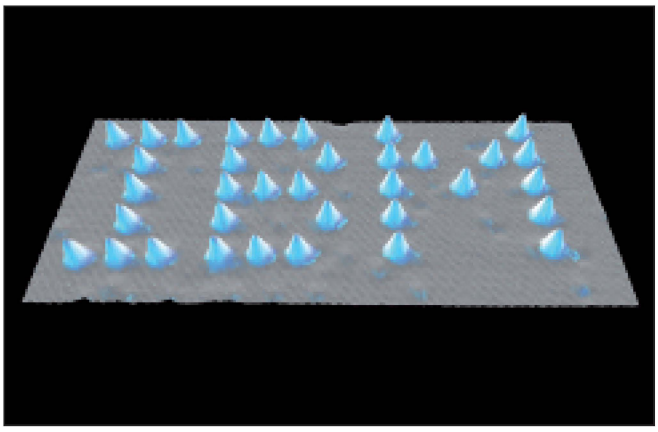
Hver av prisene er på 1 mill US $. Er det flere vinnere innen hvert område, slik det er i år, deler vinnerne denne summen. I tillegg får hver av prisvinnerne en gullmedalje og et diplom – samt et godt minne for livet fra Oslo. Prisvinnerne i nanovitenskap og nevrovitenskap besøkte i år også Trondheim, med nye seminarer og festligheter, mens prisvinnerne i astrofysikk besøkte Tromsø.

* Institutt for Energiteknikk og Fysisk institutt, UiO.

Formann i Kavli priskomité for nanovitenskap.



Figur 2. Fred Kavli under prisutdelingen i Oslo Konserthus 7. september 2010 (Foto Scanpix)



Figur 3. Verdens minste IBM-logo "skrevet" av Donald Eigler med 35 Xenon-atomer i 1989 (Foto Donald Eigler).

Ved siden av å belønne fremragende vitenskap, skal Kavliprisene også skape blest om grunnleggende og langsiktig forskning – og minne oss om at hele vårt moderne samfunn er avhengig av solid forskning. For å sitere Kavli: *"Practically everything we touch in our daily lives has been improved or developed through basic research."*

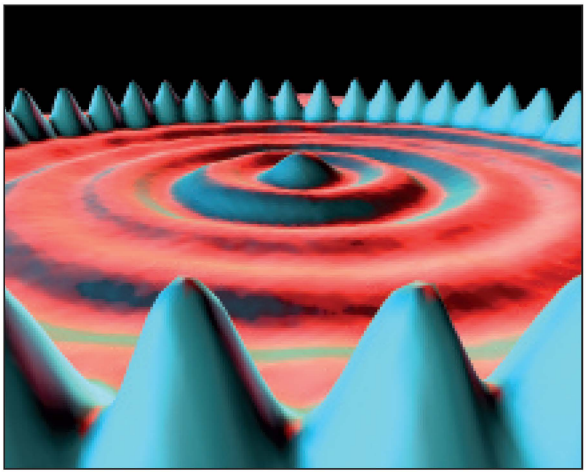
Plassering av atomer

Den greske filosofen Demokrit postulerte ca. 400 år f. Kr. eksistensen av ultimale, minste udelelige stykker av materien, som han kalte atomer. Mer enn to tusen år senere, den 28. september, 1989, ble Donald Eigler den første personen i historien som greide å bevege og kontrollere individuelle atomer.

Donald M. Eigler benyttet det såkalte *"scanning tunneling microscope"* (STM), som virker ved å plassere en syltynn nål over det materiale som skal observeres. Etter hvert som spissen av nålen blir beveget langs overflaten, avslører den konturene til enkeltatomer nedenfor.

Eksperimentene til Eigler involverte en metalloverflate som hadde vært utsatt for xenon-gass i vakuum ved svært lave temperaturer. Ved bruk av mikroskopet kunne han se xenon-atomene drysset utover metalloverflaten omtrent som fotballer på en frossen fotballbane. Han fant ut at han kunne bruke spissen av STM-nålen til å slepe enkeltatomer fra én posisjon til en annen. Som en demonstrasjon skapte han verdens minste IBM-logo dannet av 35 atomer med xenon-gass (se figur 3).

Eigler fortsatte med nye banebrytende arbeider bl.a. realiseringen av en såkalt kvanteinnhengning. Den består av 48 jernatomer i en ring med en diameter på ca 14 nm på et underlag av kopper. Inne i ringen får en sirkulære bølgemønstre som gjenspeiler tetthetsfordelingen av elektronene som besetter kvantetilstandene i innhengningen (se figur 4).



Figur 4. Kvanteinnhengning bestående av 48 jernatomer i en ring med en diameter på ca 14 nm på et underlag av kopper. Inne i ringen får en sirkulære bølgemønstre som gjenspeiler tetthetsfordelingen av elektronene som besetter kvantetilstandene i innhengningen.

Videre greide han å lage ellipseformede innhengninger; og ved å plassere et magnetisk atom i det ene brennpunktet i ellipsen, kunne det gi et tilsvarende bølgemønster i det andre brennpunktet.

Donald Eigler flyttet dermed grenser og fremskaffet troverdighet og inspirasjon for nanovitenskap. Hans resultater baner vei for å kunne lage utrolige elektroniske komponenter med mange fascinerende anvendelser.

DNA-nanoteknologi

Nadrian C. Seeman unnfanget ideen om å benytte DNA – livets genetiske materiale – som et byggemateriale for konstruksjoner på nanoskala.

Seeman var blitt frustrert over vanskelighetene med å lage krystaller av visse molekyler, som er helt avgjørende for å kunne bestemme strukturen. Han startet det feltet som senere har fått betegnelsen *DNA-nanoteknologi*. Hans geniale idé var å benytte informasjonen om hvordan biter av DNA passer sammen for å kunne organisere materie i ulike strukturer, omtrent som den japanske kunstarten *origami*.

For å oppnå dette, utarbeidet han reglene for hvordan DNA-strengene kopler seg sammen slik at de kan selvorganisere seg. Han brukte mange år på å oppnå en forståelse av disse reglene, slik at en kunne få dannet de strukturene en ønsket seg.

Seeman konstruerte også den første robotarmen med evne til å fange og plassere molekyler der en ville ha dem, med høy presisjon. Ganske nylig har han vært med på å realisere et programmerbart DNA-basert samlebånd.

Selv om dette fremdeles er på "barnestadiet", gir det forventninger om at vi en dag kan omforme det molekylære grunnlaget for selve livet til en "industriell produksjonslinje" av nye komponenter på ulike felt som spenner fra elektronikk til biologi.

Ingen vet hvor de banebrytende og spennende arbeidene til Eigler og Seeman fører oss. Det er nettopp dette som er kjennemerket på grunnforskning i Fred Kavlis ånd.

Referanser

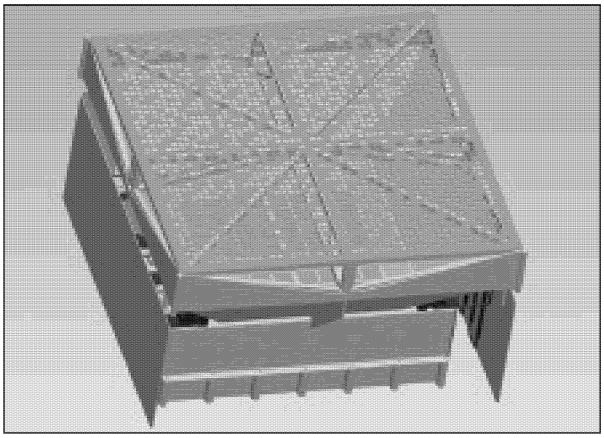
1. Kavlikomiteens begrunnelse: *http://www.kavliprize.no/seksjon/vis.html?tid=45348*
2. D.M. Eigler og E.K. Schweizer: *Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope.* Nature **344,** 524 (1990)
3. N. Seeman: *Nanotechnology and the Double Helix.* Sci. Am. **290,** 34 (June 2004)

∞

Hva skjer

Gammadetektor for Romstasjonen bygges ved Universitetet i Bergen

Romfysikkgruppen ved Institutt for fysikk og teknologi ved Universitetet i Bergen har fått en bevilgning fra ESAs vitenskapsprogram, ELIPS 3, på nær 3 millioner Euro for å bygge en røntgen-gamma-detektor med utlesningselektronikk for *Atmospheric Space Interaction Monitor* (ASIM). ASIM skal monteres på den internasjonale romstasjonen i 2014 og skal studere jordiske gammaglimt, et fenomen som ble omtalt i FFV nr. 2 i år.



Figur 1.Bilde av modulen som skal bygges. UiB er ansvarlig for den aktive delen som skimtes i rammen innenfor masken. Størrelsen på denne instrumentpakken er ca. $75 \times 75 \times 40$ cm.

Instrumentet, som kalles *Modular X and Gamma Sensor* (MXGS), består av aktive sensorelementer med forsterkningselektronikk og førstenivå-signalprossesering. For å kunne måle gammaenergier i et stort energiområde, fra 15 keV til 20 MeV, er to aktive lag plassert bak hverandre. Gammastålingen vil først treffe et 5 mm tykt lag av halvlederdetektorer laget av kadmium-sink-tellurid som vil måle den lavenergetiske delen av strålingen opp til ca. 400 keV. Dette er delt inn i 16 000 aktive elementer over en flate på 1024 cm^2. Bak dette står moduler av 32 mm tykke krystaller som vil absorbere og måle gammakvant av energier opp til ca. 20 MeV.

Med en spesiell maske foran instrumentet, og rask elektronikk (som må ha en hastighet på $\sim$1 MHz), vil man kunne få fram bilder av kilder som sender ut jordiske gammaglimt.

FFV gratulerer og ønsker gruppen lykke til med arbeidet!

Fra Fysikkens Historie

Ulugh Beg

I tidligere tider levde dyktige astronomer og matematikere på nåde ved hoffet hos mektige og rike konger og fyrster. Men historien kjenner ett unntak. *Mohammed Targai Ulugh Beg* behøvde ikke tigge om smuler fra de rikes bord for å utøve sin vitenskapelige gjerning. Han var selv regjerende visekonge, men astronomien og matematikken var hans virkelige interesse og lidenskap.

Ulugh Beg var sønnesønn av den brutale erobreren *Timur Lenk*, som var en genial hærfører. Denne mongolkrigeren opprettet et mektig rike der Samarkand i Usbekistan var den praktfulle hovedstaden. Ulugh Beg ble født 22. mars 1394 i Soltaniyeh i det nåværende Iran. Barndommen ble preget av at Timur Lenk med hele sin arme fartet fra sted til sted, og hoffet og sønnesønnen fulgte med på ferden. Faren, *Shah Rukh*, overtok tronen da den grusomme herskeren Timur Lenk døde i 1405. Han flyttet hovedstaden til Herat, som nå ligger i Afganistan.

Etter ei tid med konsolidering av riket ble den pur unge Ulugh Beg overlatt stillingen som guvernør over et meget stort område som omfattet Samarkand. Nå benyttet han muligheten særs godt. I årene 1417–1420 ble det skjønne bygget *Madrasa* reist. Det består den dag i dag og var en vitenskapelig skole for høyere utdanning og forskning. Ulugh Beg var selv en lærd mann. Han kunne Koranen utenat og behersket mongolsk, tyrkisk, persisk og arabisk. Han ansatte omkring seksti vitenskapsmenn ved senteret sitt. De fremste av disse var *al-Kashi* og *Qadi Zada*. Ulugh Beg hadde fremragende kunnskap i matematikk og astronomi, og han deltok særdeles aktivt ved seminarene der disse temaene var gjenstand for intens diskusjon.

I 1420-årene lot Ulugh Beg reise et mektig sylinderformet observatorium litt utenfor byen. Bygningen var over 50 m i diameter og 35 m høg. Den var antagelig kledd med skjønne plater av glasert keramikk. Det største instrumentet var *Fakhri-sekstanten* av marmor som er den største meridiansekstanten som noen gang er bygget. Den hadde en radius på 40 m og besto av to parallelle skinner. Buen reiste seg hele 30 m over bakkenivå, men nådde også 11 m ned i berggrunnen. Dette skulle beskytte instrumentet mot jordskjelv. Monsteret ble benyttet for å bestemme helningen av ekliptikken i forhold til ekvatorplanet. Ulugh Beg fant helningen til å være $23°30'\,17''$. Det er bare $32''$ fra den sanne verdien på hans tid. Vitenskapsmennene studerte også posisjonen til vårjevndøgnspunktet og bevegelsen av Sola, Månen og de kjente planetene. De fant det tropiske år (fra vårjevndøgn til vårjevndøgn) til å være 365 dager 5 timer 49 minutter og 15 sekunder. Den riktige verdien ville vært 365 dager 5 timer 48 minutter og 50 sekunder.

Det mest viktige og imponerende disse astronomene utførte var vel stjernekatalogen *Zij-i Sultani*. Den oppga posisjonen til omtrent 1000 stjerner med uovertruffen nøyaktighet. Det var det beste arbeid siden Ptolemaios sitt verk fra mer enn 1300 år tilbake. Bare Tycho Brahe skulle komme til å overgå denne nøyaktigheten snaue to hundre år senere. En kan tillate seg å spekulere på om dansken ville vært motivert for sitt livsverk om han hadde vært fortrolig med katalogen til Ulugh Beg. Den ble publisert på persisk i 1437 og ble snart oversatt til arabisk og tyrkisk. En latinsk utgave ble trykket i 1665.

Disse matematikerne fant metoder for å gi nøyaktige tilnærmelsesløsninger på tredjegradslikninger. De utarbeidet tabeller for sinus og tangens som var riktige like til åttende desimalplass. Ulugh Beg arbeidet med 60-dels aritmetikk, og utgangspunktet var verdien til $\sin 1°$. Den fant han til å være: $1/60 + 2/60^2 + 49/60^3 + 43/60^4 + 11/60^5 + 14/60^6 + 44/60^7 + 16/60^8 + 26/60^9$. Med desimalnotasjon er dette: $\sin 1° = 0,01745240643728357$. Den korrekte tilnærmelsen er: $\sin 1° = 0,01745240643728351$. Nøyaktigheten til Ulugh Beg er særdeles imponerende!

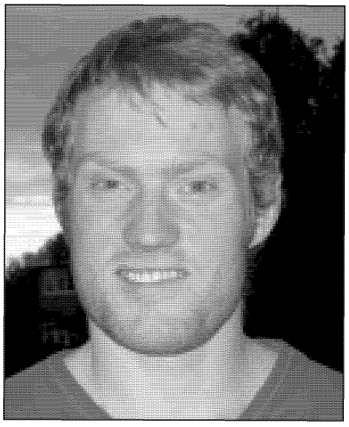
Men i året 1447 døde herskeren over hele riket, og Ulugh Beg overtok som regent. Han var nok ikke like dyktig i politikk som i vitenskap. Han tapte et par kriger, ble grepet av sin egen sønn Abd al Latif og stilt for retten. Dommen ble en påtvunget pilegrimsreise til Mekka. Men rett utenfor Samarkand 27. oktober 1449 ble han myrdet ved et veldig sverdhugg på ordre fra sønnen. Observatoriet ble ødelagt av religiøse fanatikere allerede i 1449. Restene ble gjenoppdaget av den russiske arkeologen Gerasimov i 1908. Post mortem ble Ulugh Beg tatt til nåde av sønnesønnen, ble begravd som martyr og fikk hvile for evigheten sammen med Timur Lenk. Men som han selv hevdet: *"Religion sprer seg som tåke, kongedømmer går under, men arbeidene til de lærde består for evigheten."*

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

Glenn Tørå



Sivilingeniør Glenn Tørå forsvarte sin avhandling *Pore-scale modelling of two-phase flow: dynamic effects and electrical response* for PhD-graden ved NTNU, den 24. november 2010.

Tørå har videreført en numerisk modell for strømning av ikke-blandbare væsker i porøse medier basert på viskøse og kapillære krefter. Tidligere har denne modellen vært begrenset til væsker som ikke fullstending væter det porøse mediet. Ved å tillate fullstendig væting har Tørå vært nødt til å takle filmdannelse i porene og hvordan væske transporteres i disse. Dette er langt vanskeligere enn hva som tidligere er blitt studert, og gjennom dette arbeidet kan imbibisjon (prosessen ssom trekkpapir er basert på) nå studeres numerisk.

Bakgrunnen for arbeidet er økende bruk av langbølget elektromagnetisk stråling til å overvåke oljereservoarer. Refleksjonsegenskapene til reservoarene bestemmes av resistiviteten til det porøse mediet samt til væskene det er fylt med. Siden det er stor forskjell på ledningsevnen til vann og olje, vil resistiviteten man måler kunne relateres direkte til hvor mye olje som er igjen i reservoret. Ideen bak Tørås arbeid har vært å erstatte ressurskrevende laboratorietester med numeriske beregninger.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, under veiledning av professor Alex Hansen, og ved Numerical Rocks AS i Trondheim, med Pål-Eric Øren som medveileder. Prosjektet er finansiert av Forskningsrådet, Statoil, Numerical Rocks AS og EMGS AS. Tørå er nå ansatt i Kongsberg Devotek, avdeling Mandal.

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 3/10

Elvekryssing

Tre ektepar skulle krysse en elv med en robåt som bare hadde plass til to personer. Alle ektemennene var svært sjalu og tillot ikke at noen kone var sammen med andre menn uten at de selv var til stede. Alle kunne ro. Hvordan kunne dette gjøres?

Hvis ektemennene kalles A, B og C, og deres respektive koner kalles a, b og c, vil en mulig løsning kunne bli:

	På side 1	På side 2
Før første kryssing	ABCabc	Ingen
B og b har krysset	ACac	Bb
B har returnert	ABCac	b
a og c har krysset	ABC	abc
a har returnert	ABCa	bc
B og C har krysset	Aa	BCbc
B og b har returnert	ABab	Cc
A og B har krysset	ab	ABCc
c har returnert	abc	ABC
a og c har krysset	b	ABCac
B har returnert	Bb	ACac
B og b har krysset	Ingen	ABCabc

Ved å bytte om på ekteparene kan det finnes ulike løsninger.

FFVT 4/10

Halvering av en gitt rett linje med en passer som eneste hjelpemiddel

For seks år siden (FFVT 1/04) var oppgaven å finne løsningen på "Napoleon Bonapartes problem", en geometrisk oppgave som utføres med passer uten linjal. Slike geometriske konstruksjoner kalles Mascheroni-konstruksjoner, etter Lorenzo Mascheroni som i 1797 publiserte en bok med mange slike problemer. Den dyktige amatørmatematikeren Napoleon skal ha presentert problemet som besto i å finne det innskrevne kvadrat i en oppgitt sirkel.

Dagens Mascheroni-oppgave er å finne punktet midt mellom to oppgitte punkter. Og husk: Kun passer er tillatt som hjelpemiddel; linjal er bannlyst!

∞

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 utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

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

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

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

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

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

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artikklene. 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 Per Osland
Inst. for fysikk og teknologi, UiB
e-post: per.osland@ift.uib.no

Visepresident:
Professor Åshild Fredriksen
Inst. for fysikk og teknologi, UiT
e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:
Professor Jon Otto Fossum
Institutt for fysikk, NTNU
Professor Håvard Helstrup
Høgskolen i Bergen
Professor Ola Hunderi
Institutt for fysikk, NTNU
Professor Eirik Malinen
Radiumhospitalet, Oslo
Førsteaman. Kjartan Olafsson
Inst. for fysikk og teknologi, UiB
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Akershus, Lillestrøm
Lektor Morten Trudeng
Asker videregående skole

Selskapets sekretær:
Cand.scient. 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 Øyvind Grøn
Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO
Stipendiat Marit Sandstad
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:
Professor Odd-Erik Garcia
Institutt for fysikk, UiT
Professor Per Chr. Hemmer
Institutt for fysikk, NTNU
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk institutt, UiO
Professor Bjarne Stugu
Inst. for fysikk og teknologi, UiB

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: oyvind.gron@iu.hio.no
e-post: marit.sandstad@astro.uio.no
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

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