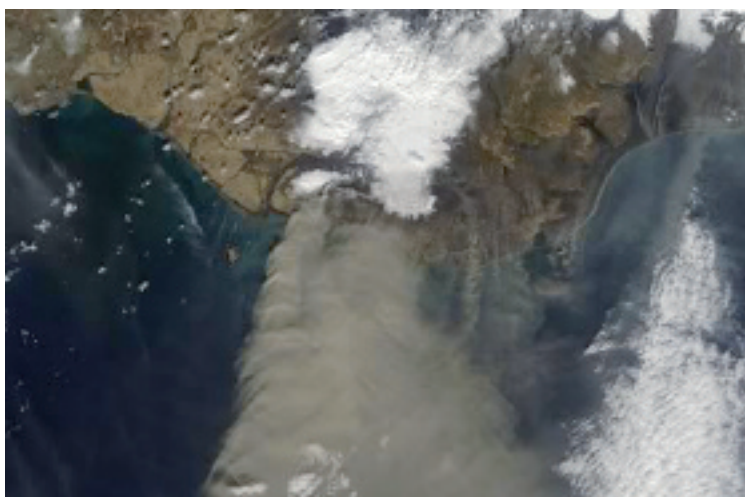


Fra Fysikkens Verden



Satellittbilde av askesky fra Eyjafjallajökul 19. april 2010
(Se artikkel: *Detektering av askeskyer fra fly*)

Nr. 3 – 2010
72. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Sven Oluf Sørensen:	
J. Robert Oppenheimer – Del I . . .	69
Emil J. Samuelsen:	
Underkjøling av væsker.	75
Fred Prata og Tove Svendby:	
Detektering av askeskyer fra fly .	78
Øyvind Grøn:	
Universets ekspansjon – Del I . .	81
Fra Redaktørene	66
FFV Gratulerer	66
Johan Moan	
In Memoriam.	67
Endre Lillethun	
Nytt fra NFS	68
Haakon Olsen er død	
Hva skjer	85
Fysikkolympiaden 2010	
Konferanse om fysikkundervisning	
Bokomtale	87
Hemmer, Johnsson, Mork og Svare:	
Fysikk i Trondheim gjennom 100 år	
Nye Doktorer.	88
PhD Nicolaas Ervik Groeneboom	
PhD Jarle Husebø	
PhD Wojciech Jacek Miloch	
PhD Øystein Rudjord	
PhD Lars Erik Walle	
Trim i FFV	91

Fra Redaktørene

Fysikkens metode er en kombinasjon av å gjøre repeterbare observasjoner og å konstruere teorier for de observerte fenomenene som er tilstrekkelig kraftige til å forutsi nye fenomener. Dette er nødvendig for å kunne falsifisere teoriene. Ofte gjøres observasjonene ved å lage laboratorieeksperimenter der bestemte fenomener observeres under kontrollerte betingelser, men det kan også dreie seg om astronomiske og kosmiske observasjoner som målinger av egenskapene til supernovaeksplosjoner og temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.

Metoden begrenser fysikkens anvendelsesområde. Fysikken kan anvendes til å beskrive og forstå materiens oppførsel. Fysikkens språk er matematikken, og det er kraftfullt, men vi må også gi teoriene et begrepsmessig innhold for at fysikken skal kunne gi oss et verdensbilde.

Fysikkens verden er likevel mer enn materien. Fysikerne og fysikklærerne gjør fysikkens verden til en levende verden. Observatører og eksperimentalfysikere utvikler utrolig avansert og nøyaktig deteksjonsutstyr. Teoretikere arbeider iherdig med å skape et forståelig verdensbilde basert på de oppnådde dataene. Lærerne formidler kunnskapen videre og sår "frø" av interesse og forståelse i elevenes og studentenes sinn.

For den enkelte lærer kan undervisningen i klassen være ganske energikrevende. Det gjelder at entusiasmen, kreftene og inspirasjonen holdes ved like. En av de beste kildene til fornyet entusiasme og engasjement er Landskonferansen om fysikkundervisning. Her får deltagerne faglig påfyll både i form av foredrag om aktuelle temaer og ved samtaler med kolleger.

Den siste Landskonferansen var på Gol i august. Jeg har vært der og opplevd svært aktuelle foredrag om blant annet moderne fysikk, om konferansens hovedtema, klima, og om hva som bør være med i den videregående skolens fysikkpensum. Det har vært "fysikkmorro" og spenstig formidling. Vanskelige spørsmål ble tatt opp, for eksempel: Hvilke temaer skal vi legge størst vekt på? Hvordan skal vi få elevene interessert i fysikk? Hvordan skal vi undervise kvantefysikk og relativitetsteori? Er medisinsk teknologi viktigere enn kalorimetri og klimafysikk?

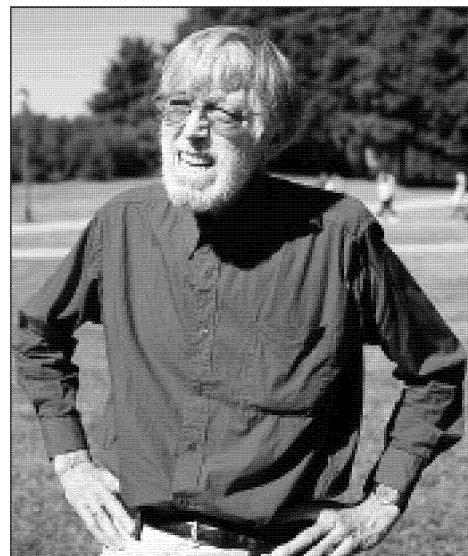
Fysikken i den videregående skolen er i stadig utvikling. Det er både fint og en fare. Uten endringer vil fysikkpensumet raskt bli gammeldags. Når man har med teknologi og astrofysikk i pensumet, dekker man fagområder som er i svært rask utvikling. På den annen side kan forandringene skje så raskt at det oppstår tvil om at det som er pensum er den mest grunnleggende delen av fysikken. Å finne den rette balansen krever stor innsikt.

Øyvind G. Grøn

∞

FFV Gratulerer

Forskningspris til Johan Moan



Professor Johan Moan har fått UiOs forskningspris for 2010 for sin forskning på lysets evne til å aktivisere stoffer til å endre deres virkning på celler. Dette har ledet til utvikling av nye metoder for kreftdiagnostikk og -behandling, og har gitt ny kunnskap om betydningen av lys og D-vitamin for vår helse generelt. Moan er forsker ved Oslo Universitetssykehus HF, Klinikk for kreft og kirurgi (tidligere Radiumhospitalet) og professor II ved Fysisk institutt, UiO. Jeg vil på vegne av hans mange venner i inn- og utland gratulere ham på det varmeste!

Etter mange års samarbeid og kameratskap med Johan føler jeg at UiO her har gitt prisen til en av de mest rendyrkede og dyktige forskere vi har

i Norge i dag: Et levende oppkomme av ideer og oppfinnsomhet innenfor det som virkelig bør være forskernes kjernevirksomhet – å øke vår innsikt.

Noen har kanskje den oppfatningen at alt har kommet lett til Johan. Man kan jo få det inntrykket når man ser hans enorme mengde av publikasjoner (langt over 400) og det store spennet de omhandler rent faglig. Men jeg vet at det ikke alltid har vært så enkelt for ham. Johans doktorgrad fra 1975 omhandler strålingsinduserte prosesser i frosne løsninger av aminosyren tryptofan (som inngår i cellenes protein). Rett etter at han hadde fullført sin avhandling ble han pålagt å orientere seg mot cellulære systemer. Dette var en trend den gangen ved Radiumhospitalet: Grunnforskningen innen biofysikk og biokjemi skulle i større grad orienteres mot biologisk levende organismer, helst kreftceller. Jeg vet det føltes tungt for Johan den gangen at han som en slags negativ "premie" for et glimrende doktorarbeid måtte skifte fagområde. Han måtte lære seg å dyrke celler i kultur og finne det fagområdet som interesserte ham mest.

I dag kan vi være glade for at det var nettopp Johan som sto overfor dette valget da. Han klarte ikke å henge med hodet lenge (det ligger ikke for ham), men begynte raskt å se muligheter i flere retninger. Det valget han gjorde til slutt var helt glimrende og har hatt større konsekvenser enn tilsvarende valg gjort av de fleste andre forskere: Han valgte å studere fotobiologi og se på den inaktiverende virkningen fotoeksiterte molekyler hadde på kreftceller. Denne forskningen har ledet til en ny behandlingsmodalitet og diagnose av kreft, den såkalte fotodynamiske terapi. Johan ble raskt en av de ledende forskerne innen utviklingen av denne modaliteten, og hans forskning vakte stor internasjonal oppmerksomhet. Han ble en av tungvektene som alle ville ha som foredragsholder ved sine fagmøter. Johans forskning innen dette fagfeltet fikk også konsekvenser i Norge da den ga støtet til industriell satsing. Takket være at Johans forskning ved Radiumhospitalet var en spydspiss innen fotodynamisk terapi, ga hans forskning mulighet for å danne noe så sjeldent som et norsk farmasøytisk selskap, nemlig Photocure. Moans rolle var avgjørende for dette selskapets vitenskapelige grunnlag.

En liten historie forteller litt om spontaniteten hos Johan som forsker. Da han skulle orientere seg mot studier av kreftceller falt det i min lodd som forsker ved avdelingen for vevsdyrking ved Radiumhospitalet å hjelpe til med veiledning innen dette fagområdet. Stor var forskrekkelser da jeg en vin-

termorgen i begynnelsen av opplæringen fant Johan inne på ett av sterilrommene iført ull-lue, votter, anorakk og ryggsekk, med ski og staver utafor døra. Han hadde fått en brennhet idé og glemte straks slike bagateller som påkledning og sterilitet for cellene. Men etter noen sekunder forsto han hvorfor han, nærmest med makt, ble lempet ut av sterilrommet, og vi ble bestevenner igjen med det samme. Ideen ble nok realisert. Jeg tror det er denne spontaniteten og idérikdommen som har ført til Johans store suksess som forsker; en suksess som spenner over flere fagområder og som også inkluderer deltagelse som uredde og ivrig samfunnsdebattant.

Erik Olai Pettersen

∞

In Memoriam

Endre Lillethun (1928–2010)



Professor Endre Lillethun, Universitetet i Bergen, døde 14. juli 2010 i en alder av 82 år. Han ble født 9. april 1928 i Kragerø.

I 1952, etter endt utdannelse (cand.mag. og pedagogikk) ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, reiste han og konen Karen til Etiopia, der han virket som fysikklærer i fire år. Deretter begynte han som doktorgradsstudent ved University of Chicago hvor han studerte ladningsuavhengig pionproduksjon i proton–deuteriumkollisjoner, et arbeid som bidro til styrking av isospinn som et nyttig be-

grep i beskrivelsen av kjernekrefter, og som ledet til en PhD-grad i 1961.

Med en doktorgrad i partikkelfysikk reiste så Lillethun til CERN, hvor han ble i 4 år. Der ble han interessert i proton–protonspredning. Vinkelfordelingen til elastisk spredning ble målt ved høye energier, fra ca. 12 GeV/c til nesten 30 GeV/c, og den viste klart at protonet har en ikke-triviell geometrisk struktur.

Etter fire år ved CERN, kom Endre så til Bergen i 1964, hvor han ble dosent i 1967 og professor i 1984. Der ble han en ledende kraft innen partikkelfysikkmiljøet, og en pådriver for å modernisere forskningen i feltet ved å ta i bruk nye teknologier i det eksperimentelle arbeidet. Dette skjedde innen British-Scandinavian ISR Collaboration, hvor protonstrukturen ble videre utforsket ved CERNs nye aksellerator, Intersecting Storage Rings (bygd av nordmannen Kjell Johnsen) som var ferdig i 1971. Dette bidro sterkt til å holde Bergens-miljøet i front på dette internasjonalt pregede forskningsfeltet som søkte å finne fram til de mest fundamentale byggesteiner og sammenhenger i naturen.

Mot slutten av 1970-tallet ble elektron–positronakselleratoren PETRA bygd ved Deutsches Elektronensynchrotron DESY, i Hamburg. Her kom Endre med i PLUTO-prosjektet og deltok i de første studier av gluonet, en partikkel som er viktig i sterk kjernekraft og sentral i kvantekromodynamikken. Han var instituttstyrer ved Fysisk institutt i Bergen fra 1979 til 1980, og i denne perioden (fra 1979 til 1981) ledet han et prosjekt sammen med matematikere, for å undersøke mulighetene for å starte eksperimentell fusjonsforskning i Norge.

På 1980-tallet bygget CERN en mye kraftigere elektron–positronaksellerator, LEP, med fire store detektorer. Her var gruppene i Bergen og Oslo ansvarlige for bygging av luminositetsdetektorer for å kunne bestemme antallet nøytrinoer. Lillethun ledet Bergens-gruppen i dette prosjektet.

Professor Lillethun var en god venn av Abdus Salam, og tilbrakte i 1988 et sabbatsår i Trieste, ved International Centre for Theoretical Physics, ICTP, hvor han var associate director.

Men Lillethun glemte aldri årene i Afrika. I 1985 hadde han startet en ny faggruppe innen European Physical Society, IGDP, Interdivisional Group on Physics for Development, og arbeidet med overføring av fysikkundervisning og forskning til utviklingsland, spesielt i Afrika. Han ledet denne gruppen til 1992.

Lillethun fant fram til en unik måte å kombinere

fysikk-kompetansen sin med sitt sterke humanitære engasjement ved å starte et prosjekt for utvikling av infrastruktur for naturvitenskapelig forskning ved Makerere-universitetet i Kampala i Uganda. Prosjektet ble startet i 1991, og bidro sterkt til gjenoppbyggingen av universitetet som lå i ruiner etter Idi Amins herjinger i landet. Dette arbeidet er svært høyt verdsatt i Uganda, og førte til at Lillethun i 2010 ble utnevnt til æresdoktor. I begrunnelsen sies det: *The University wishes to recognize his exceptional achievements and exceptional contribution to the achievements of humanity and in particular his commitment to living with the poor in order to advance Science.*

Lillethuns unike karriere vitner om en handlekraftig person som søkte etter grunnleggende sannheter og som samtidig hadde et brennende ønske om å bidra positivt til sine omgivelser. I sin yrkeskarriere klarte han å sette dype spor etter seg på to helt forskjellige områder, nemlig innen partikkelfysikken og i humanitært arbeid med fysikkundervisning i Etiopia og senere gjenoppbygging av fysikkmiljøet ved Makerere-universitetet.

Endre Lillethun etterlater seg konen Karen og fire barn, Håvard, Kristin, Arvid og Astrid. Vi vil minnes ham med stor glede og takknemlighet.

Göran Jarlskog, Per Osland og Bjarne Stugu

∞

Nytt fra NFS

Professor Haakon Olsen er død

Æresmedlem i Norsk Fysisk Selskap, professor emeritus Haakon Andreas Olsen, døde 22. august nær 87 år gammel. Han var professor i fysikk ved NTH og Universitetet i Trondheim mesteparten av sitt yrkesaktive liv, og var en sentral person i Norsk Fysisk Selskap hvor han var president og redaktør for *Fra Fysikkens Verden* i en årrekke. Vi vil trykke minneord om ham i neste nummer av FFV.

Per Osland
president i NFS

∞

J. Robert Oppenheimer (1904–67)

Lederen for Los Alamos-prosjektet – Del I

Sven Oluf Sørensen *

Den amerikanske fysikeren J. Robert Oppenheimer (1904-67) 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. Fra midten av 1950-årene ble imidlertid den politisk radikale Oppenheimer utsatt for en nedverdiggende "høring" av amerikanske myndigheter og ble fratatt all innflytelse i amerikansk atomvåpenvirksomhet.

Oppvekst

Julius Robert Oppenheimer ble født i New York den 22. april 1904 som sønn av den velhavende forretningsmannen Julius Oppenheimer og malerinnen Ella Oppenheimer. I 1912 fikk Robert en yngre bror, Frank. Familien var jødisk, men praktiserte ikke den jødiske religionen.

Da Robert var fem år tok faren ham med til Tyskland for å besøke bestefaren, Benjamin Oppenheimer. Denne ga Robert en liten samling av mineraler som vakte en voldsom interesse hos gutten. Etter returen til Amerika ble Robert en lidenskapelig amatørgeolog, og som 12-åring holdt han en briljant forelesning i *New York Mineralogical Club*. For øvrig studerte han de forskjelligste emner ved *School for Ethical Culture* i New York. 11 år gammel sa han til en fetter: "Still meg et spørsmål, så skal jeg svare deg på gresk." Men Robert var en gutt uten nære venner. Femten år gammel sa han til en lærer: "*I'm the loneliest man in the world.*"



Robert Oppenheimer 22 år gammel

I september 1922 ble Robert immatrikulert på *Harvard University*. Han engasjerte seg sterkt i den stimulerende atmosfæren på "Verdens beste universitet", og fortsatte sine studier i litteratur, spesielt i fransk diktning. Året etter bestemte han seg imidlertid for å spesialisere seg i kjemi, antagelig på grunn av sin interesse for mineralogi. Det siste året på Harvard ble han fascinert av fysikk og bestemte seg for å følge opp denne interessen. Dette skyldtes ikke minst hans glimrende lærer, den senere nobelpristager, Percy Bridgman.

Våren 1925 ble Robert uteksaminert fra Harvard. Alle hans vitnesbyrd og karakterer var absolutt topp. Han spurte Bridgman om denne kunne skrive en søknad for ham om å få studere ved Englands ledende universitet i Cambridge. Dette ble

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

innvilget, og i september 1925 forlot Oppenheimer Amerika for å begynne sin europeiske odysse.

”Sturm und Drang”

Robert Oppenheimer skulle under den andre verdenskrigen bli direktør for *Los Alamos-laboratoriet* som konstruerte den første atombomben. Det var til da tidenes største og mest kompliserte naturvitenskapelige eksperiment, og Oppenheimer ble en av de høyest estimerte personligheter i sin samtid. I de første etterkrigsårene ble han formann i den innflytelsesrike amerikanske komiteen, *General Advisory Committee* (GAC), som var rådgivende organ for den amerikanske *Atomic Energy Commission* (AEC). Dessuten ble han medlem i en hel rekke andre komiteer og råd.

Man skulle tro at en person som kunne fungere i så ansvarsfulle posisjoner og lede en så innhomogen gruppe av superbegavede medarbeidere, ville ha – i tillegg til høy faglig kompetanse – et velbalansert sinn og stor psykologisk innsikt. Oppenheimer sa en gang om seg selv: ”Mange har trodd at jeg fulgte en vel opptrukket vei i livet. Men det var langt fra tilfelle.” Under sitt opphold i England høsten 1925 og våren 1926, hadde han en meget turbulent tilværelse.

Cavendish-laboratoriet ved universitetet i Cambridge, var på den tiden verdens ledende laboratorium for eksperimentell atomfysikk. Det var der elektronet ble oppdaget av J.J. Thomson i 1897 og atomkjernen av Ernest Rutherford i 1911. Oppenheimer begynte å arbeide ved dette laboratoriet høsten 1925 under veiledning av J.J. Thomson, og senere under nobelpristageren Patrick Blackett.

Robert Oppenheimer fulgte en rekke kurs i Cambridge, men han trivdes ikke med de ofte trivielle sider av laboratoriearbeidet. Utover høsten 1925 begynte hans lærere og medstudenter å registrere en stadig økende eksentrisitet hos ham. Det går for eksempel en historie i Cavendish om at han skal ha forgiftet et eple med cyanid og lagt det på et bord på Blacketts kontor. Heldigvis rørte ikke Blackett eplet. Saken ble rapportert til ledelsen ved universitetet, og Oppenheimer sto i fare for å bli utvist. Men saken ble dysset ned.

Ved slutten av høstsemesteret ble det konkludert med at Robert befant seg i en dyp depressiv krise, og foreldrene hans ble alarmert. De kom til Cambridge og fikk ham til å konsultere en psykiater i London. Psykiateren konkluderte med at Robert led av *schizofreni*. Kort etter nyttår 1926 ledet

Roberts fortsatte ustabile tilstand til konsultasjon med en fransk psykoanalytiker som fastslo at han led av en *crise morale* forbundet med seksuelle frustrasjoner. Da Robert kom tilbake til Cambridge fra juleferie i Frankrike, begynte han hos en ny psykolog – den tredje på fire måneder. Robert studerte selv psykoanalyse i denne perioden og sluttet behandlingen sommeren 1926. Det ble sagt at å analysere Oppenheimer måtte gjøres av en psykolog som var mer intelligent enn ham, og det finner man ikke.

I midten av mars 1926 dro Oppenheimer på en kort ferie til Korsika. Det vakre landskapet og møtet med lokalbefolkningen der virket beroligende på ham, men av og til fikk han rier av melankoli og depresjon. Under denne turen hendte det noe med ham som han senere sa hadde vært avgjørende i hans liv, og hadde reddet ham ut av hans depresjonsanfall. Han møtte en kvinne og fikk oppleve kjærligheten. Sommeren 1926 oppholdt Robert seg igjen på Korsika. ”En stor hendelse i mitt liv”, fortalte han sin biograf, Nuell Pfarrer Davis. ”Du skal vite at det ikke bare var et erotisk eventyr, men virkelig kjærlighet.”

Etter oppholdene på *Korsika* returnerte Oppenheimer til Cambridge i en betydelig lettere sinnstilstand. Han forsto at han ikke egnet seg som eksperimentalfysiker og begynte derfor regelmessig å følge forelesninger i teoretisk fysikk. Han studerte ivrig avhandlingene om de nye teoriene i atomfysikken knyttet til navnene Heisenberg, Schrödinger, Dirac og flere.

Sommeren 1926 besøkte Max Born Cambridge. Han var en av de sentrale aktører i utarbeidelsen av den nye kvantemekanikken og var direktør for Instituttet for teoretisk fysikk i Göttingen i Tyskland. Oppenheimer oppnådde et møte med Born som ble så imponert over den 22-årige amerikanske studenten at han inviterte ham til å komme til Göttingen.

Høstsemesteret 1926 begynte Oppenheimer å forske ved universitetet i Göttingen. Instituttet for teoretisk fysikk ved dette universitetet var på den tiden, ved siden av Niels Bohr Instituttet i København, selve senteret i verden for teoretisk fysikk. I Göttingen ble Oppenheimer personlig kjent med eliten i moderne fysikk. Etter sitt frustrerende år i Cambridge fant han nu for første gang oppgaver hvor hans talent kunne komme til full utfoldelse.

Mellom 1926 og 1929, Oppenheimers siste år i Europa, publiserte han 16 vitenskapelige avhandlinger, de fleste om kvantemekaniske problemer, og han disputerte i 1927 for doktorgraden i Göttingen

med avhandlingen *On the Quantum Theory of Continuous Spectra*, publisert i 1927 i *Zeitschrift für Physik*. I denne perioden publiserte han også, sammen med Max Born, sitt mest siterte arbeid, om den såkalte *Born–Oppenheimer-approksimasjonen* hvor bevegelsen til atomkjernen separeres fra elektronenes bevegelser i den kvantemekaniske beskrivelsen av molekyler, noe som i mange sammenhenger har gjort det mulig å forenkle beskrivelsen ved å neglisjere atomkjernens bevegelse.

I det akademiske år 1927–1928 returnerte Oppenheimer til Amerika, og han fikk stipendium for å fortsette sine studier der. Han underviste først ved universitetet i Harvard, deretter i Berkeley, ved universitetet i California og ved *California Institute of Technology* i Los Angeles.

I september 1928 returnerte Oppenheimer til Europa. Han ville finpusse sine matematiske ferdigheter, og besøkte Paul Ehrenfest i Leiden og Wolfgang Pauli i Zürich. I Leiden imponerte Oppenheimer ved å forelese på hollandsk seks uker etter at han ankom. Oppholdet i Zürich førte til at Oppenheimer fikk stor respekt for Pauli. Det er blitt sagt at noe av Oppenheimers egen stil som fysiker og hans kritiske tilnærming til fysiske problemer, var inspirert av Pauli.

Etter sitt opphold i Zürich reiste Oppenheimer tilbake til Amerika for godt. Våren 1929 begynte hans helse å svikte igjen. Han fikk diagnosen *tuberkulose*. For å komme seg reiste han, sammen med sin yngre bror, Frank, til fjellene i New Mexico. Der fant de to brødrene et lite landområde som de kjøpte. På dette satte de opp et landsted og kalte det for *Perro Caliente*, som er spansk for *Hot Dog*.

Berkeley

Robert Oppenheimer ble tilbudt en rekke stillinger ved amerikanske læresteder. Han valgte imidlertid et på den tiden mindre prestisjefyllt universitet, *University of California* i Berkeley, og samtidig et delprofessorat ved *California Institute of Technology* ved Los Angeles. Han var nå en mann i midten av 30-årene og hadde et bestemt, veldefinert mål, nemlig å skape et forskningsmiljø for teoretisk fysikk i Amerika som skulle kunne konkurrere med et hvilket som helst tilsvarende miljø i Europa.

Da Oppenheimer ankom Berkeley ble han overrasket over at det fantes en annen mann der med lignende ambisjoner. Det var den 30-årige *Ernest Orlando Lawrence*, oppfinneren av syklotronen og senere nobelprisvinner. De to unge fysikerne hadde

helt ulike bakgrunn. Oppenheimer var sønn av en New York-millionær og hadde ytterst sofistikerte vaner. Lawrence var fra South-Dakota og var av en norsk innvandrerfamilie (Lavrans fra Telemark). Han var politisk meget konservativ. Men de to motpolene kom vel ut av det med hverandre, og på mange måter utfylte de hverandre i Berkeley.

Oppenheimers vitenskapelige arbeider i slutten av 1930-årene dreide seg om å anvende Einsteins relativitetsteori for å beskrive nøytronstjerner og kollaps av massive stjerner. I 1939 publiserte han sammen med sine studenter, G.M. Volkoff og H. Snyder, to artikler. I den første ble den relativistiske likningen for hydrostatisk likevekt utledet. Den kalles i vår tid for *Tolman–Oppenheimer–Volkoff* (TOV)-likningen og danner utgangspunktet for relativistiske stjernemodeller. Oppenheimer og Volkoff utledet også en øvre grense for hvor stor en nøytronstjerne kan bli, kalt *Tolman–Oppenheimer–Volkoff-grensen*. Oppenheimer og Snyder viste at ifølge relativitetsteorien vil en tilstrekkelig massiv stjerne kollapse til et svart hull. Disse resultatene oppfattes av mange som Oppenheimers viktigste.

I midten av 1930-årene var Oppenheimer helt opptatt av moderne fysikk, filosofi og litteratur. Våren 1936 skjedde det imidlertid noe med ham som resulterte i at han ble mer sosial. Han møtte en ung kvinne som han ble forelsket i. Hun het *Jean Tatlock* og studerte psykologi ved universitetet.

Jean Tatlock hadde i flere år før hun møtte Robert gått inn og ut av det amerikanske kommunistpartiet (ACP), og hun introduserte Oppenheimer for sine venner, hvorav flere var aktive medlemmer av ACP. Jean gjengjeldte Roberts følelser, og de ble forlovet. Utover i 1938 begynte imidlertid forholdet mellom de to å kjølnes. Hun forsvant av og til fra Berkeley og pintet Robert ved å gå ut med andre menn. I 1939 ble det et definitivt brudd, og Jean begynte å oppsøke en psykiater fordi hun følte seg sterkt deprimert. I januar 1944 begikk hun selvmord. – En episode som har relevans for det følgende, er at Oppenheimer tilsto under de senere høringsene av ham i 1954, at han en gang sommeren 1943, da han var direktør for det topphemmelige Los Alamos, hadde overnattet hos Jean "*under most intimate circumstances*".

Høsten 1939 møtte Oppenheimer en annen kvinne som fikk ham til å forlate Jean Tatlock. Det var den 29-årige *Kitty Puening* som også var involvert i venstreradikale organisasjoner. Hun hadde en allsidig fortid: Som student i Paris i 1933 hadde hun en kort tid vært gift med en musiker. Senere ble



Kitty Puening Oppenheimer

hun gift med en amerikansk kommunist, Joe Dalton, som ble drept i 1937 da han kjempet på regjeringssiden i den spanske borgerkrigen. Da Kitty traff Oppenheimer var hun ulykkelig gift med en britisk lege, Richard Harrison. Kitty oppnådde skilsmisse fra ham, og 1. november 1940 giftet hun seg med Robert Oppenheimer.

Robert ble nå mer av en familiemann og engasjerte seg ikke i så stor grad i venstreradikale aktiviteter. Men tidene forandret seg. I mai 1940 besatte tyske tropper Frankrike, noe som berørte den frankofile Oppenheimer sterkt; og den 1. juli 1941 invaderte tyske tropper Sovjetunionen. Oppenheimer ble da mer og mer motivert for å gi sitt bidrag til kampen mot nazismen. Han ble medlem av *American Association of Scientific Workers* (AASW), en organisasjon som var sterkt influert av venstreradikale elementer.

Uranfisjonen

Oppdagelsen av uranfisjonen ble publisert av Otto Hahn og Fritz Strassmann i Berlin i desember 1938. Nyheten ble brakt til Amerika i januar 1939 av Niels Bohr. Allerede i januar 1939 skal Oppenheimer ha hatt ideer om en atombombe basert på fisjonsprosessen. En av hans studenter, Philip Morrison, husker at bare noen uker etter at nyheten om fisjon var kommet til Amerika hadde han sett noe primitivt rabbel om en atombombe på tavlen i Oppenheimers kontor.

I de følgende par årene var en del amerikanske

fysikere i gang med å forberede konstruksjonen av en atombombe. Sentralt i disse aktivitetene var en rekke emigrantfysikere som hadde flyktet fra nazismen i Tyskland. Det var i første rekke *Enrico Fermi*, *Leo Szilard*, *Edward Teller*, *Victor Weisskopf* og *Eugene Wigner*. I mars 1939 oppsøkte Fermi admiral Stanford Hooper ved den amerikanske marinen i Washington, for å informere ham om fisjonsprosessen og dens muligheter. Den 11. oktober 1939 ble det overbrakt et brev fra Einstein til president Roosevelt om faren for at tyskerne ville konstruere en atombombe.



Oppenheimer, Enrico Fermi og Ernest Lawrence (trolig 1940)

I oktober 1941 ble Oppenheimer invitert av Ernest Lawrence til å være med ham på et strengt hemmelig møte i laboratoriene i *General Electric Company* i New York. Før møtet ble Oppenheimer oppfordret av Lawrence til å melde seg ut av AASW, da Lawrence oppfattet denne organisasjonen som å være for venstreradikal. Oppenheimer var meget tilfreds med å bli invitert til møtet og brakte med seg noen primitive beregninger av uranmengden som var nødvendig for å få til en bombe.

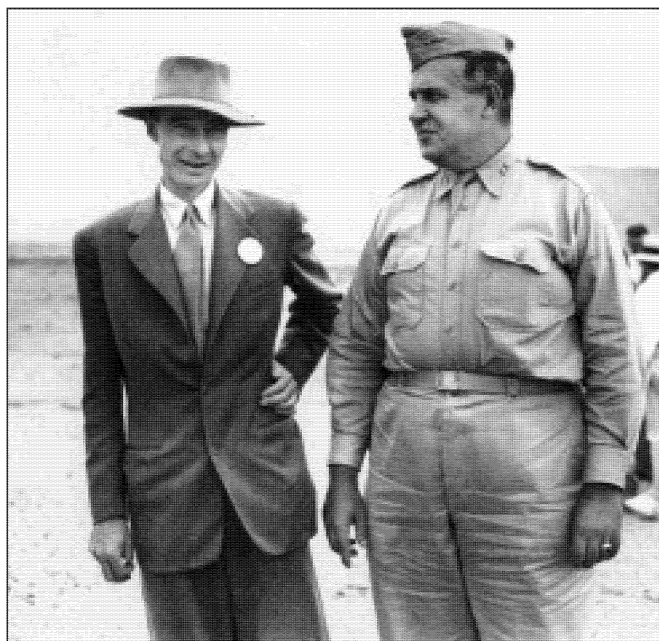
Noe Oppenheimer ikke visste, var at det hadde vært motstand mot å invitere ham til dette møtet på grunn av det Lawrence formulerte som hans "*left-wandering activities*". Men Lawrence gikk god for at Oppenheimer ville være pålitelig og lojal overfor prosjektet. Den 12. november 1941 skrev Oppenheimer til Lawrence at han hadde trukket seg fra sitt medlemskap i AASW. En måned senere, den

7. desember 1941, bombarderte japanske fly den amerikanske marinebasen i *Pearl Harbor* på Hawaii, og USA ble med i krigen.

De føderale myndighetene handlet ikke momentant etter Einsteins brev. Etter press fra en rekke fysikere ble det dannet en gruppe, *National Defence Research Council*, ledet av Roosevelts vitenskapelige rådgiver, *Vannevar Bush*, og presidenten for Harvard University, fysikeren *James Conant*.

Denne komiteen beordret Fermi og Szilard til å fortsette med å konstruere en uranreaktor ved universitetet i Chicago. Dessuten ble kjemikeren *Glenn Seaborg* satt i ledelsen for å produsere plutonium. Videre ble Lawrence engasjert i å separere den fisjonerbare isotopen uran-235 fra isotopen uran-238 som er dominerende i naturlig uran. Lawrence var optimistisk og håpet han kunne gjøre dette ved hjelp av sin syklotron.

I Berkeley forsøkte Lawrence å overtale Oppenheimer til å være med på bombeprosjektet, og i mai 1942 ble han satt til å lede en uformell gruppe av teoretiske fysikere som skulle arbeide med å utforme selve konstruksjonen av bomben.



Robert Oppenheimer og Leslie Groves
(trolig etter Trinity-testen)

Bush og Conant valgte også ut den 46-årige oberst *Leslie Groves* som daglig leder av det hurtig voksende bombeprosjektet. Han var en energisk karriereoffiser, utdannet som ingeniør, og hadde nylig fullført byggingen av Pentagon, forsvarsdepartementets hovedkvarter i Washington. Groves ga med hensikt atombombeprosjektet et villedende

navn, "*Manhattan Project*", etter den opprinnelige beliggenheten av hans kontor på Manhattan i New York City. I oktober 1942 kom Groves til Berkeley for å inspisere Lawrences syklotroner. Der møtte han for første gang Robert Oppenheimer.

Los Alamos

I Berkeley begynte Groves og Oppenheimer å diskutere organiseringen av laboratoriet som skulle konstruere selve bomben. Groves mente at det, av sikkerhetsmessige grunner, måtte gjøres i en rekke separate, adskilte laboratorier. Oppenheimer derimot favoriserte et sentralt, samlet laboratorium. Dette ville være gunstig for samarbeidet mellom de forskjellige aktørene. Laboratoriet burde også, av sikkerhetsmessige grunner, ligge på et isolert sted. Groves ble overbevist av Oppenheimers argumenter, og ble i det hele tatt sterkt imponert over Oppenheimer.

Da Groves kom til Chicago foreslo han Oppenheimer som direktør for laboratoriet overfor *Military Policy Committee* (MPC). MPC var sterkt influert av medlemmene av det militære etterretningsvesenet, og disse uttrykte en viss reservasjon for Oppenheimer på grunn av hans omgang med medlemmer av det kommunistiske partiet. Men Groves forlangte at han skulle aksepteres, og i slutten av oktober 1942 ansatte MPC Oppenheimer som direktør for et nytt sentralisert laboratorium.

Oppenheimer startet med å finne et sted for det nye laboratoriet. Han endte opp med et stort platå i det nordlige New Mexico, ikke langt fra sitt eget landsted *Perro Caliente - Los Alamos*.

Den andre viktige oppgaven for den nye direktøren var å reise rundt på de forskjellige universitetene i USA for å finne de beste fysikerne og overtale dem til å følge med ham til Los Alamos.

Historien om hvordan man i Los Alamos i årene 1943–45, under Robert Oppenheimers ledelse, konstruerte en atombombe er detaljert beskrevet i en omfattende vitenskapelig litteratur.

Alle aktørene i bombeprosjektet berømmer Oppenheimers innsats. Høydepunktet var *testingen av plutoniumbomben* den 16. juli 1945 ved Alamogordo i New Mexico. Oppenheimer valgte kodenavnet "*Trinity*" for denne testen. Ifølge Rhodes hadde Oppenheimer flere "treenigheter" i tankene. En av dem var: Korsika – Jean Tatlock – Kitty Oppenheimer. Hans tre kvinner hadde gitt ham et liv til å holde ut. Han ga dem til gjengjeld et våpen

så fryktelig at det med tiden kanskje kunne føre til fred i verden.

Anerkjennelse

Den 6. august 1945 ble en uranbombe sluppet over *Hiroshima* i Japan, etterfulgt av en plutoniumbombe over *Nagasaki* den 9. august. Bombingen av de to japanske byene skal, sammen med ettervirkningene, ha kostet omtrent 300 000 menneskeliv. Den 14. august 1945 kapitulerte Japan.

I tiden umiddelbart etter Japans kapitulasjon fikk Oppenheimer en nærmest mytisk posisjon. Hans venner kalte ham "verdens mest berømte mann". Han personifiserte "den nye statsmannen" som kombinerte moderne naturvitenskap med politisk innsikt, og han ble den selvskrevne formann i alle komiteer i USA som hadde med spørsmål om atomteknologi å gjøre.

Høsten 1945 meddelte Oppenheimer general Groves at han ville trekke seg fra stillingen som direktør for Los Alamos. Groves aksepterte noe motvillig hans avskjedssøknad.

Den 16. oktober 1945 arrangerte den amerikanske armeen et møte til ære for fysikerne i Los Alamos. I en takketales på dette møtet uttalte Oppenheimer:

If the atomic bombs are to be added to the arsenals of the world, or the arsenals of nations preparing for war, then the time will come when mankind will curse the name of Los Alamos and Hiroshima. The people of the world must unite or perish.

Noen uker etter denne seremonien returnerte Oppenheimer til California for å gjenoppta sin stilling ved *California Institute of Technology* i Pasadena.

Tidlig i 1946 ba regjeringen i USA Oppenheimer om å delta i et amerikansk team som skulle forhandle om en internasjonal atomvåpenavtale. Oppenheimer aksepterte utnevnelsen og tenkte seg en forhandlingsposisjon hvor USA lovet å gi opp sitt kjernevåpenmonopol og dele kjernevåpeninformasjon med andre nasjoner, særlig med Sovjetunionen. Til gjengjeld skulle alle nasjoners vitenskapelige laboratorier og militære våpenfabrikker åpnes for internasjonal inspeksjon. Denne ideen hadde Oppenheimer tatt direkte fra Niels Bohr.

Sent i 1946 dannet den amerikanske regjeringen en komité, *Atomic Energy Commission* (AEC), som skulle behandle alle landets atomprosjekter. Denne erstattet det militære Manhattan-prosjektet med

et sivilt organ og ble ledet av Oppenheimers venn *David Lilienthal*.

Noe av det første Lilienthal gjorde, var å velge en gruppe vitenskapsfolk til medlemmer av en *General Advisory Committee* (GAC) som skulle tjene som et rådgivende organ for AEC. Den første som ble valgt som en av kommissærene i GAC, var Robert Oppenheimer.

På samme tid som Oppenheimer ble ansatt i GAC ble han direktør for det prestisjetunge *Institute for Advanced Study* ved Princeton University, hvor også Albert Einstein var medlem. I 1947 var Robert Oppenheimer kommet i en gunstig posisjon i forhold til den amerikanske makteliten, og han ble en pendler mellom Princeton og Washington.

Fremdeles hersket det i visse kretser i Washington tvil om Oppenheimers lojalitet til USA. I mars 1947 overførte *Federal Bureau of Investigation* (FBI), som under krigen hadde overvåket Oppenheimer, all dokumentasjon som det militære hadde samlet om ham, sammen med en del ny informasjon, til Lilienthal. Ingen av medlemmene av GAC hadde noen anelse om Oppenheimers "*leftwandering*" og ble meget overrasket.

Som et svar på FBIs advarsler innkalte Lilienthal en rekke AEC- og GAC-medlemmer til et hemmelig møte for å avgjøre om Oppenheimer var egnet som rådgiver for AEC, og om han skulle klareres for tilgang til alle USAs atomteknologihemmeligheter. Man konsulterte en rekke personer som hadde arbeidet sammen med ham under krigen, blant andre Vannevar Bush og James Conant. Disse var i sterk favør av Oppenheimer og understreket at han klart hadde demonstrert sin lojalitet til USA. Selv FBI-direktøren, Edgar Hoover, ble tvunget til å medgi at undersøkelsene om Robert Oppenheimer hadde vært negative. Sommeren 1947 utnevnte AEC Oppenheimer til formann i GAC, og han sto da på høyden av sin karriere.

Senere skulle det vise seg at lojalitetsspørsmålet likevel ikke var fullstendig avklart. Robert Oppenheimer ble i 1954 utsatt for nedverdiggende høringer og fratatt sin sikkerhetsklarering, noe vi skal komme tilbake til i Del 2 av denne artikkelen.

Litteratur

1. Kai Bird and Martin Sherwin: *American Prometheus, Robert Oppenheimer*. Alfred Knopf (2005)
2. Lesley Groves: *Now It Can be Told. The Story of the Manhattan Project*. Harper and Row (1962)

3. Gregg Herkin: *Brotherhood of the Bomb*. A John Magrae Book, Henry Holt and Company - New York (2002)
4. Hans Péceli: *Hiroshima og Nagasaki – August 1945*. Fra Fysikkens Verden 55. årgang, Nr. 1, 3-11 (1993)
5. Isidor Rabi, Robert Serber, Victor Weisskopf, Abraham Pais and Glenn Seaborg: *Oppenheimer*. Charles Scribner's Sons (1969)
6. Richard Rhodes: *The Agony of J. Robert Oppenheimer*. American Heritage Magazine 28, No 6, 70-83 (1977)
7. Richard Rhodes: *The making of the atomic bomb*. Penguin Books (1986)
8. Richard Rhodes: *Dark Sun. The making of the hydrogen bomb*. Simon and Schuster (1995)

∞

Underkjøling av væsker: Grenseflata mellom fast og flytande fase spelar ei rolle

Emil J. Samuelsen *

Underkjøling kan beskrivast termodynamisk ved hjelp av fri-energirelasjonar, men mekanismar som styrer graden av underkjøling må søkast på atomær og molekylær skala. Ny forskning ved hjelp av synkrotron-røntgenspreiing syner at krystallstrukturen til substratet som storkninga skjer ved, spelar ei avgjerande rolle.

Underkjøling

"Underkjøling" kallar ein det fenomenet at materiale kan vere flytande ved temperaturar langt under materialet sin ordinære fryse-/smelte-temperatur.

Fenomenet er velkjent for vatn som kan underkjølast med så mykje som 42 K under gunstige forhold, men også for eit utal av andre materiale, som metall og metall-legeringar, og også for mange organiske stoff. Underkjøling kan ha store praktiske konsekvensar. Mest kjent er kanskje "underkjølt regn". Når underkjølt regn treffer bakken eller fartøy og fly, frys det på augneblinken til isskorpe som er glatt og tyngande, og slik representerer fare. Ved støyping av metallbarrar i smelteindustrien er underkjøling noko ein prøver å eliminere ved m.a. høvelege tilsettingar.

I enkelte samanhengar gjer ein seg nytte av underkjølingseffekten: Kunstige handvarmarar består av posar med underkjølt, flytande natriumacetat. Ein kan få væska til å krystallisere ved små trykksjokk. Krystalliseringa frigjer varme som altså blir avgitt til hendene. Den underkjølte tilstanden er ikkje termodynamisk stabil; den er i beste fall metastabil, og ytre påverknad får væska til å storkne spontant. Den underkjølte væska må berre stimulerast på ein høveleg måte, ved skaking og ristning eller ved tilføring av kondensasjonskjernar, eller også ved påverknad av ei høveleg grenseflate.

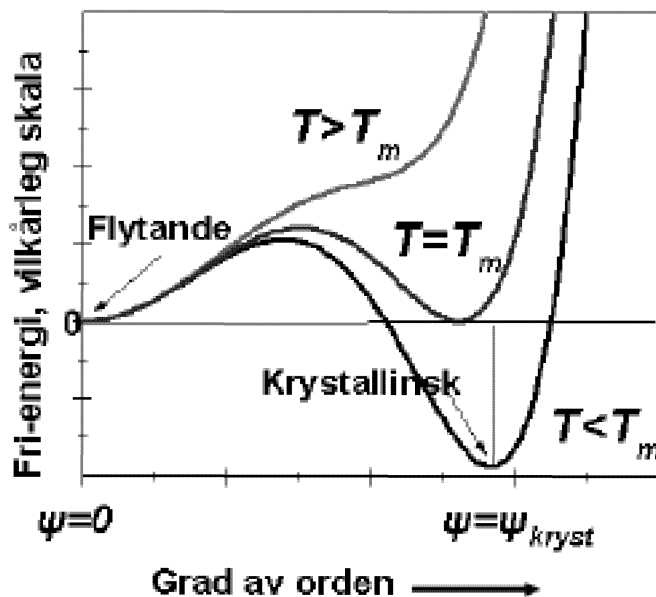
Faseovergang

Omvandlinga 'flytande $\Rightarrow$ fast' er eksempel på ein faseovergang, og fenomenet "underkjøling" kan beskrivast med faseovergangsterminologi.⁽¹⁾ Ein skil mellom *diskontinuerlege* (også kalla 1. ordens-) og *kontinuerlege* (2. ordens-) overgangar. 'Flytande $\Rightarrow$ fast'-overgangen er diskontinuerleg.

Termodynamisk er den tilstanden stabil som har den lågaste frie energien. "Fri-energi" er ein storleik nytta i termodynamikken (varmelæra). Den er eit uttrykk for summen av energien knytt til vekselverknaden mellom "byggesteinane" (dvs. molekyla) i materialet og rørsleenergien deira. Tilhøvet mellom stabil og metastabil tilstand ved diskontinuerlege faseovergangar blir gjerne illustrert

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

ved hjelp av fri-energibetraktningar (Landau-teori): Fri-energien F kan uttrykkast som ein funksjon av *grad av orden*, dvs. ein "ordensparameter" ψ , der ψ uttrykker ulikskapen mellom dei to fasane, f.eks. grad av krystallinitet. $F = F(\psi, T)$ kan ha fleire minima, avhengig av temperaturen T , som illustrert i figur 1.



Figur 1. Frienergi som funksjon av grad av orden (her: krystallinitet) ved tre temperaturar nær den termodynamiske storkningstemperaturen T_m . For $T > T_m$ er flytande fase mest stabil. Ved $T = T_m$ kan flytande og krystallinsk fase eksistere saman, for dei to minima er like. For $T < T_m$ er krystallinsk fase termodynamisk mest stabil, men metastabil flytande fase kan eksistere pga. energibarrieren mellom dei to tilstandane.

La oss sjå på kva som skjer under nedkjøling. Ved høge temperaturar ($T > T_m$) er stabil tilstand flytande ($\psi = 0$), der F er lågast. Akkurat ved den termodynamiske storkne-/smelte-temperaturen T_m er flytande fase ($\psi = 0$) og ein krystallinsk, fast fase ($\psi > 0$) energetisk likeverdige; og i tilfelle full termodynamisk likevekt kan dei to fasane eksistere saman. Men for lågare temperaturar ($T < T_m$) ser ein at den frie energien er lågast for krystallinsk fase, som derfor skulle vere den termodynamisk stabile fasen. Ved storkning ville ordensparameteren (dvs. krystalliniteten) gjere eit diskontinuerleg sprang frå null til ein endeleg verdi. Men materialet kan likevel bli verande i ein metastabil, flytande tilstand ved nedkjølinga fordi der er ein energibarriere å overvinne mellom $\psi = 0$ og $\psi = \psi_{kryst}$. Det er dette som representerer underkjølingsfenomenet.

Systemet må aktiverast for å overvinne denne barrieren. Slik aktivering kan altså finne stad ved ytre påverknad som skaking og risting, ved tilføring av kondensasjonsskjernar, eller ved nærver av faste grenseflater. Smeltevarme blir frigjort når storkning skjer.

Atomær mekanisme

Figur 1 gir berre ei reint fenomenologisk framstilling. Det er eit nyttig bilde, men det seier lite om mekanisme på atomær skala for at storkning skal skje. Kva rolle spelar t.d. grenseflatene mot den flytande fasen?

På dette spørsmålet er det oppnådd ny kunnskap i det siste som viser noko ein har hatt tankar om lenge, at den detaljerte strukturen av substratet som ein flytande substans skal storkne på, er avgjerande for underkjøling eller ikkje. Har substratet ein krystallinsk struktur som i stor grad liknar geometrisk på den som substansen har i sin faste tilstand, vil underkjølinga bli lita. På den andre sida kan ein auke graden av underkjøling ved å bruke eit substrat som har sterkt avvikande krystallstruktur.

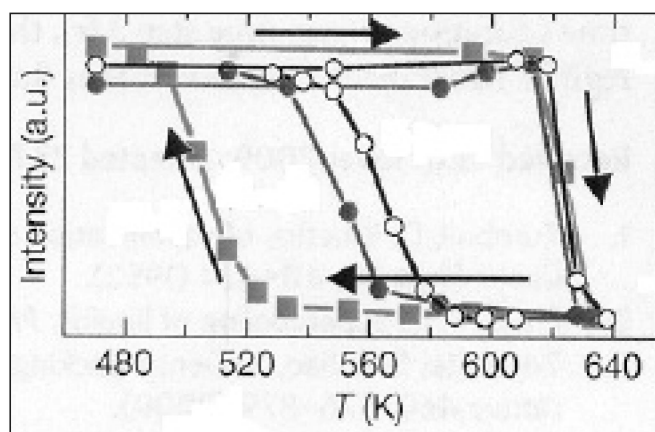
Eit slikt arbeid vart publisert i *Nature* av T. U. Schüllli og medarbeidarar frå Grenoble, i april 2010.⁽²⁾ Dei studerte storkninga av gull-silisium-dropar plassert på substrat av krystallinsk silisium. Strukturen av atoma på Si-substratoverflatene er vanlegvis *heksagonale* (sekskanta) eller *kvadratiske* (firkanta). I dag er ein i stand til også å modifisere atommønstret i krystallinske overflater ved hjelp av diverse nanohandteringsmetodar. Spesielt kan silisiumoverflater med *pentagonalt* (femkanta) atommønster framstillast.

Forskarane kunne følgje storkninga av dropene ved hjelp av røntgendiffraksjon med synkrotronrøntgen. Synkrotronrøntgen kan fokuserast til dimensjonar på nanometerskala, og er såleis velegna for å studere nanostrukturar *in situ*. Flytande fasar gir breie og diffuse signal, medan krystallinske fasar gir skarpe spreingsmønster som inneheld informasjon om atomstrukturen i overflatelaget.

Sjølve eksperimentet er nokså komplekst. Blandinga 81 % Au og 19 % Si som dei studerte, har eit veldefinert smeltepunkt på 636 K. Blandingsforholdet er det metallurgane kallar for eit *eutektikum*, der smeltetemperaturen for legeringa har eit minimalpunkt. Røntgenstrålen vart send inn omtrent parallelt med grenseflata, og spreidd stråle vart observert over eit stort vinkelområde. Gjennom

observasjonane av det spreidde mønstret kunne ein følge direkte overgangen mellom flytande og fast fase under nedkjøling frå 675 K, samtidig som ein observerte signal frå strukturen i substratet. Resultatet viste at graden av underkjøling er sterkt avhengig av strukturen i overflata på substratet.

Dei tre substratformene dei nytta, viste alle betydeleg underkjøling: Den kvadratiske overflata synta storkingstemperatur på 573 K (63 gradar underkjøling); den heksagonale overflata førte til storkning 10 gradar lågare (73 gradar underkjøling), medan den pentagonalt dekorerte overflate gav storkning ved 513 K (123 gradar underkjøling). Resultata var reproduserbare. Oppvarming og ny nedkjøling viste hysteres, slik ein ventar for diskontinuerlege omvandlingar. Dette er illustrert i figur 2, som viser variasjon av krystallinsk signal mot temperatursykling.

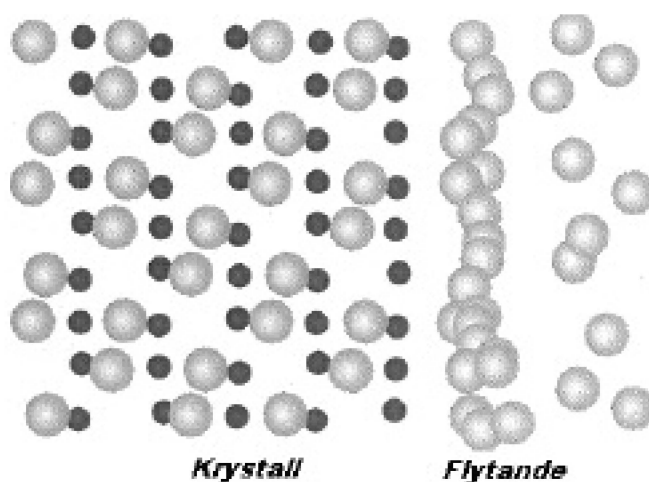


Figur 2. Observert røntgenintensitet (vilkårleg skala) for krystallinsk fase som funksjon av temperatur, T , ved temperatursykling som pilene viser. Symbol for overflatemønster: Opne ringar: kvadratisk. Fylte ringar: heksagonalt. Fylte firkantar: pentagonalt. Høg intensitet viser krystallinsk tilstand. Ein legg merke til at smelting skjer ved same temperatur (636 K) ved alle substrattypene. (Gjengitt frå ref (2) etter løyve frå Nature Publishing Group).

Eit viktig funn, som vi ikkje viser spesifikt her, er at signal frå flytande fase blir gradvis skarpere mot lågare temperatur, noko som indikerer aukande grad av nærorden når storkninga nærmar seg. Vidare fann dei at signalet var anisotropt i forhold til substratoverflata. Overheiting ved smelting, den motsette effekten til underkjøling, kan førekomme i enkelte tilfelle, men er ikkje vanleg og opptre ikkje her. Smelting kan i større grad komme i gang kvar som helst i materialet når smeltepunktet er nådd.

Rolla til substratet

Desse resultata er viktige fordi dei for første gong viser eksperimentelt at underkjølingsgraden blir styrt av grenseflateforholda. Tidlegare har også andre arbeid vist at dei første atoma i flytande fase nær grenseflater ordnar seg etter substratet, som illustrert i figur 3.



Figur 3. Grenseflate mellom krystallinsk, fast fase (til venstre) og flytande fase (til høgre) med organisering av atoma i flytande fase nær grenseflata. Materiala kan t.d. vere fast metalloksid og flytande metall.

Dersom denne ordninga liknar på strukturen i det som blir fast fase, skjer storkninga lett, og underkjølinga blir lita. Ein kan seie at energibarrieren i figur 1 på den måten blir redusert eller omgått. Omvendt blir graden av underkjøling stor når geometrien i overflatesjiktet er ugunstig for den krystallinske fasen, og barrieren blir høgare. Det er ein velkjent kunnskap i materialfysikken at pentagonale byggesteinar ikkje kan gi periodiske, krystallinske strukturar, og det samsvarar godt med at eit pentagonalt overflatemønster her gir den største underkjølinga.

Avslutting

Underkjøling som fenomen har vore kjent sidan 1700-talet, og den termodynamiske forklaringa har ein hatt i meir enn 100 år. Men å forstå den atomære mekanismen er enno i startfasen. Forskingsresultata som er skildra her, er interessante og er med på å gje ei djupare innsikt i underkjølingsfenomenet.

Det er å vente at desse forskingsresultata også kan vere til hjelp for å kunne få kontroll med underkjølingsfenomenet i industrielle prosessar. Det

har vist seg at underkjøling er eit stort problem ved framstillinga av visse halvleiar-nanostrukturar, slik som nanotrådar. Slike strukturar er viktige kandidatar for bruk i framtidig nanoelektronikk, og også for nye typar solceller. For framtidig industriell fabrikkasjon av nanotrådar må ein kunne meistre og styre krystalliseringsprosessen, for eksempel gjennom fornuftig val av substratmaterialet der framstillinga skjer.

Referansar

1. S. J. Brundell og K. M. Brundell: *Concepts in thermal physics*. Oxford Univ. Press (2008)
2. T. U. Schüllli, R. Daudin, G. Renaud, A. Vaysset, O. Geaymond, A. Pasturel: *Substrate-enhanced supercooling in AuSi eutectic droplets*. *Nature*, **464**, 1174 (2010)

∞

Detektering av vulkanske askeskyer fra fly

*Fred Prata og Tove Svendby **

Forskere ved Norsk institutt for luftforskning (NILU) har utviklet en ny teknologi som kan detektere askeskyer på avstand direkte fra fly. Systemet er basert på et infrarødt kamera og kan brukes både dag og natt. Flygerne blir varslet om askeskyer i luftleden om lag seks minutter før flyet vil komme i kontakt med disse, og det vil dermed være fullt mulig å manøvrere unna den skadelige asken. Systemet har fått navnet Airborne Volcanic Object Identifier and Detector (AVOID).

Bakgrunn

Det er velkjent at vulkansk aske kan påføre jetmotorer stor skade. Asken smelter i de varme delene av motorene, avsettes på turbinbladene og kan således forårsake fullt motorhavari. Det finnes flere vel-dokumenterte episoder som har vist hvor skumle askeskyene kan være for flytrafikken.⁽¹⁾ I dag blir flyselskapene holdt oppdatert om askeskyenes utbredelse og lokalisering via satellittmålinger, spredningsmodeller og bakkebaserte målesystemer.

For å lage gode prognoser om askens konsentrasjon og bevegelsesmønster i atmosfæren, er det viktig med detaljert kunnskap om den vulkanske kilden. I de aller fleste tilfeller er dette et stort usikkerhetsmoment, og det må derfor gjøres

”kvalifiserte gjetninger” om askens utstrømnings-hastighet, størrelsesfordelingen av partiklene og askens vertikale fordeling. Satellittdata kan gi grunnlag for å anslå den totale askemengden i en vertikal kolonne. Tidligere erfaringer har vist at askekonsentrasjoner på 2 g/m³ kan forårsake alvorlige skader på flymotorer, men informasjon om konsentrasjon og høydefordeling av asken er dessverre ikke tilgjengelig via dagens satellitter.

Satellittdata er likevel et svært viktig hjelpemiddel ettersom de gir global informasjon og har gjort det mulig å oppdage vulkansk aske i fjerntliggende strøk. I enkelte områder er det imidlertid dårlig tidsmessig oppløsning på satellittdataene, noe som gjør det vanskelig å vite med sikkerhet hvor de vulkanske skyene befinner seg til enhver tid.

Etter dagens praksis blir alle fly som befinner seg i områder med vulkansk aske rådet til å forlate disse luftrommene. Ettersom satellittinformasjon og spredningsmodeller har sine begrensninger i forhold til viktige kildeparametre, tidsmessige oppdateringer og unøyaktige modellparametre, er ikke satellittinformasjon og modeller alene tilstrekkelig til å løse fly gjennom utrygge områder. Det vil derfor være et stort framskritt å kunne benytte et system som kan detektere vulkansk aske direkte. Dette er bakgrunnen for utviklingen av AVOID.

Om bord på flyene vil det bli installert et enkelt deteksjonssystem som kan varsle pilotene om høye askekonsentrasjoner i luftleden og gi informasjon om nødvendige kursendringer. I tillegg til sikker-

* NILU, Kjeller.

hetsaspektet ved et slikt system, vil det redusere drivstofforbruket betraktelig dersom flyene kan fly rundt askeskyene i stedet for at en må gjøre omfattende omdirigeringer av flytrafikken. I områder med askeskyer vil det nye systemet varsle om forestående farer og kunne bidra med viktig informasjon også til andre fly i luftrommet.

I de neste avsnittene gir vi en kort beskrivelse av de fysiske prinsippene bak AVOID-systemet som har vært under utvikling de siste 20 årene. Systemet er blitt møtt med stor interesse av luftfartsmyndigheter og flyselskaper. Men først etter utbruddet av Eyjafjallajökull på Island i midten av april 2010, ble det for alvor klart for flyselskapene at et slikt system også kan gi enorme økonomiske gevinster.

IR-detektorer kan oppdage aske

Vulkanutbrudd sprer aske som i realiteten er pulverisert stein eller silikater. Disse trenger inn i flymotorene, smelter og blokkerer ventilasjonen. Flyets radar er ikke i stand til å detektere asken som kan skade motorene selv i små mengder. SiO_2 er den største enkeltkomponenten i vulkansk aske etter vekt og utgjør ofte over 60 % av massen. Det er denne askekomponenten som kan smelte i de varme delene av motorene og forårsake skader.

Askeskyene har ofte en karakteristisk farge som skiller dem fra de vanlige hvite og grå skyene (se forsidefiguren). I synlig lys har askeskyene som regel en brunlig farge, men avhengig av lysforhold og tetthet, kan de også oppfattes som grå eller hvite. I slike tilfeller er det vanskelig å skille aske fra meteorologiske skyer.

Prata har beskrevet hvordan spektralanalyse av infrarød stråling kan brukes til å skille askeskyer fra meteorologiske skyer i satellittbilder.⁽²⁾ Ved hjelp av strålingstransportberegninger er det vist at askeskyer absorberer og emitterer infrarød stråling i bølgelengdeområdet 10–12 μm på en annen måte enn meteorologiske skyer som inneholder vann- eller is. Denne effekten er kalt "omvendt absorpsjon" ettersom absorpsjonen av infrarød stråling i aske er "omvendt" av absorpsjonsegenskapene til vann- og iskyer. Når satellitten "ser" en askesky fra rommet blir det detektert mer IR-stråling i den lengste bølgelengdekanalen enn i den mer kortbølgede kanalen. Dersom satellittdataene er kalibrert forskriftsmessig og blir konvertert til strålingstemperaturer (temperaturen til et svart legeme som sender ut like mye stråling ved bølgelengden λ som det aktuelle objektet sender ut),

gjelder følgende betingelse for askeskyer:

$$T_{11} - T_{12} < 0 \text{ K}$$

der T_{11} og T_{12} er strålingstemperatur (i kelvin) ved henholdsvis 11 og 12 μm . Av praktiske grunner blir gjerne terskelen på 0 K nedjustert noe. Det skyldes støy i instrumentene, forskyvninger i satellittens synsfelt, unormale atmosfæriske forhold, og det faktum at flere ulike komponenter kan påvirke signalene fra en piksel. Generelt kan en si at jo mer negativ $T_{11} - T_{12}$ er, jo mer aske er det detektert.

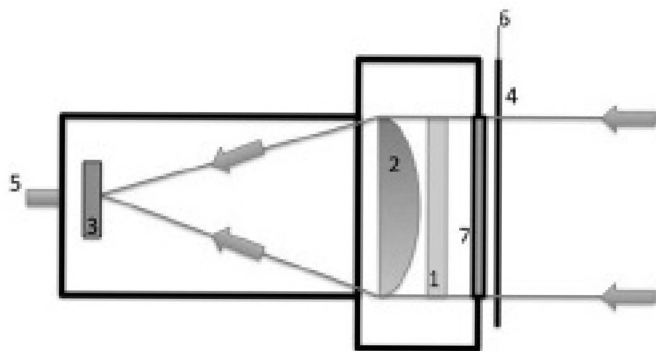
Ved hjelp av strålingstransportberegninger er det også mulig å beregne partikkelstørrelse og askens infrarøde optiske tykkelse ut fra satellittmålinger. Denne informasjonen kan brukes til å beregne askemengden (i g/m^2) i observasjonsretningen. Ved å integrere over alle piksler får vi et anslag over den totale askemengden i skyen.

Etter utbruddet av Eyjafjallajökull på Island, ble spredningen og mengden av aske overvåket fra rommet ved hjelp av "omvendt absorpsjon" fra instrumentet SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrarød Imager) om bord på den geostasjonære satellitten Meteosat Second Generation (MSG). SEVIRI gir data i 12 ulike kanaler, fra den synlige til den infrarøde delen av spekteret, med en romlig oppløsning på ca. 10 km^2 i tidsintervaller på 15 minutter. Teknikken som ble utviklet for satellitter, har senere vist seg å være svært velegnet til å avdekke og kvantifisere vulkansk aske fra bakkebaserte og flybårne instrumenter.

AVOID-systemet

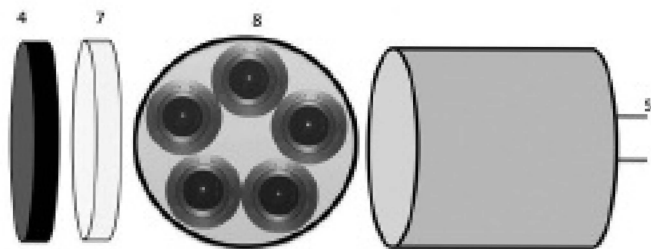
AVOID (*Airborne Volcanoc Object Identifier and Detector*) er utviklet for å kunne detektere vulkanske askeskyer fra fly som befinner seg i utsatte områder. Et instrument som er montert på flyet kan gi fortløpende informasjon om slike askeskyer til pilotene. Prinsippet er vist i figur 1.

Infrarød stråling passerer gjennom et germaniumvindu (7) og et smalbandinterferensfilter (1). Strålingen fokuseres av en linse (2) og detekteres/måles av et mikrobolometer (3). En svart iris-lukker (4) brukes ved kalibrering. Temperaturen til lukkeren, som er tilnærmet et svart legeme, overvåkes kontinuerlig (6), og elektroniske signaler overføres via en kabel (5) til mikroprosessorer i flyet for videre analyse. Bortsett fra irisblenderen, er det ingen bevegelige deler i systemet.



Figur 1. Prinsippet for AVOIDs kamerasystem. IR-stråling med bølgelengde 11 eller 12 μm måles av et bolometer (3). Signalene overføres med kabel (5) til en datamaskin for videre prosessering og grafisk framstilling.

For deteksjon av aske brukes to identiske kameraer med ulike interferensfiltre. På den måten kan aske detekteres ved "omvendt absorpsjon". For andre bruksområder kan et tredje, fjerde eller femte kamera installeres for å detektere SO_2 -gass, iskrystaller, turbulens og vindskjær (se figur 2).



Figur 2. Skisse av et 5-kamerasystem som kan monteres på fly. De fem kameraene (8) er identiske bortsett fra filtrene som er tilpasset den komponenten i strålingen en ønsker å måle. To av kameraene brukes ved deteksjon av vulkansk aske. I tillegg kan systemet måle SO_2 -gass, ispartikler, vanndamp, turbulens og vindskjær.

Oppsummering av AVOID-systemet:

- Systemet detekterer infrarød stråling fra askeskyer og varsler piloten 6 min. før skyene nås
- Deteksjonssystemet om bord på flyet kan brukes i kombinasjon med satellittdata og spredningsmodeller.
- Systemet kan kalibreres til å måle askekonentrasjoner på under 1 g/m^2 , dvs. 1 mg/m^3 i et sky som er 1 km tykk.
- Systemet kan oppdage et askelag under 20 m tykt på 100 km avstand og kan gi nøyaktig informasjon om askeskyens høyde.

- Systemet kan gi 2D-bilder av luftrommet hvert sekund i et område som strekker seg 20 km til siden for flyets bevegelsesretning fra bakken og opp til 10 km høyde.
- Systemet er velprøvd for askeskyer fra satellitt- og bakkeinstrumenter og har også potensiale for å detektere iskrystaller, turbulens og vindskjær.

Fremtidige planer

Det er utført vellykkede tester med denne teknologien ved vulkanutbrudd i Japan (Sakurajima-vulkanen), i Nord-Marianene (Anatahan-vulkanen), i Papua Ny Guinea (Tavurvur-vulkanen) og på Sicilia (Etna). Testene besto av både luftbårne og bakkebaserte målinger med radiometre og kameraer. Disse forsøkene har vist tydelig at systemet fungerer. Det neste skrittet er å utvikle et kommersielt system som passer for montering på fly. Denne utviklingen vil bestå av tre faser:

1. Uttesting av systemet på et forskningsfly. (Flyet til britiske Met Office vurderes til dette formålet.)
2. Grundige tester av AVOID i luftrom som er påvirket av vulkansk aske og/eller støv og sand. Testene vil inkludere nattflygninger i varierende høyde og avstand til det berørte luftrommet. Det er ikke ønskelig å fly inn i vulkansk aske, men det er et krav å utføre uavhengige valideringer av data. Dette vil forutsette *in-situ*-målinger i askeskyer. Planlegging av eksperimenter er i gang.
3. Sertifisering, opplæring og montering med installasjonstesting av AVOID på kommersielle fly. (Airbus vil bidra med hjelp til dette, se figur 3.)

I dag blir all flytrafikk innstilt eller omdirigert når det meldes om vulkanske askeskyer. Det er derfor knyttet store forventninger til AVOID-systemet som vil kunne spare de reisende for mulige flykanselleringer og forsinkelser, samtidig som det vil spare flyselskapene for store drivstoffutgifter ved å redusere antall omdirigeringer. Forhåpentlig vil det nye systemet være klart for kommersielt bruk innen få år. Det infrarøde kameraet markedsføres gjennom et eget selskap, NICARNICA, hvor NILU er deleier.



Figur 3. En skisse av en easyJet Airbus med AVOID montert på halevingen. Data overføres til cockpit og til bakken, og varsler piloter og bakkepersonell om askeskyer opptil 100 km foran flyet.

Referanser

1. Prata, A. J., I. J. Barton, and J. Kingwell: *Aircraft hazard from volcanoes*. *Nature*, **366**, 199 (1993)
2. Prata, A. J.: *Infrared radiative transfer calculations for volcanic ash clouds*. *Geophys. res. lett.*, **16**, 1293-1296 (1989)

∞

Universets ekspansjon og mørke energi

Del I: Tolkning av supernovaobservasjoner

Øyvind Grøn *

I første delen av artikkelen forklares hvordan observasjoner av supernovaer kombinert med antagelsen om at universet er ensartet i stor skala, leder til den konklusjon at universet er i en tilstand av akselerert ekspansjon.

Hubbles lov og universets ekspansjon

I 1929 annonserte Edwin Hubble at galaksene beveger seg vekk fra oss med en fart som er proporsjonal med avstanden,

$$v = Hl \quad (1)$$

Dette er *Hubbles lov*. Proporsjonalitetskonstanten H i Hubbles lov kalles *Hubbleparameteren*. Størrelsen l er avstanden mellom en observatør og et objekt som fjerner seg fra observatøren med hastighet v . Formuleringen av Hubbles lov forutsetter at H er en funksjon bare av tiden, ikke av

l . Den nåværende verdien av Hubbleparameteren betegnes med H_0 og kalles *Hubblekonstanten*. Den har verdien $H_0 = 22$ km/s per million lysår.

Målinger har vist at for objekter som er nærmere oss enn omtrent 20 millioner lysår, gjelder ikke Hubbles lov for alle galaksene. For eksempel beveger vår nabogalakse, Andromedagalaksen, seg mot vår egen galakse, Melkeveien. I alminnelighet har legemene i universet en *egenbevegelse* på grunn av lokale gravitasjonsfelter i tillegg til bevegelsen som skyldes universets ekspansjon. Den typiske farten for egenbevegelsen er 400 km/s. I så stor avstand at ekspansjonsfarten gitt ved Hubbles lov er mye større enn 400 km/s kan egenbevegelsen neglisjeres, noe vi skal gjøre i denne artikkelen. Vi skal også neglisjere lokale gravitasjonsfelter. Da beveger objekter uten noen egenbevegelse seg fritt. Galaksehoper er gode representanter for slike frie objekter. I forbindelse med Hubbles lov er det vanlig å omtale galaksehoper som "partikler" fordi det i denne sammenhengen bare er bevegelsen deres som har interesse.

Det vi mener med "rommet" i relativistiske universmodeller er et kontinuum av frie referansepartikler uten noen egenbevegelse. Galaksehoper

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

er gode representanter for slike referansepartikler. På grunn av denne definisjonen sier vi at *ifølge relativitetsteorien ekspanderer rommet*. Derfor betyr ikke "universet ekspanderer" at galaksehopen beveger seg utover gjennom rommet. Det betyr at de *definerer* rommets ekspansjon. Hastigheten til denne "Hubblebevegelsen" er gitt i Hubbles lov.

Farten til universets ekspansjonsbevegelse i forhold til en observatør øker med 22 km/s for hver million lysår avstanden fra observatøren økes med. I en avstand på rundt 20 millioner lysår, dvs. omtrent ti ganger så langt som til Andromedagalaksen, er ekspansjonsfarten like stor som den typiske farten til egenbevegelsene.

For å beskrive universets ekspansjon brukes en såkalt *skalafaktor* a som representerer avstanden mellom to referansepartikler ved et vilkårlig tidspunkt i forhold til deres nåværende avstand, $a = l/l_0$. Skalafaktoren er følgelig dimensjonsløs og har verdien 1 nå. For et univers som utvider seg, var skalafaktoren mindre enn 1 før. *Hubbleparameteren* er definert som

$$H = \frac{1}{a} \frac{da}{dt} = \frac{\dot{a}}{a} \quad (2)$$

der prikk står for derivert med hensyn på tiden. I kosmologien brukes nesten alltid skrivemåten med prikk. Skalafaktoren forteller hvordan avstanden mellom en observatør og en strålingskilde uten egenbevegelse varierer med tiden. *Hubbleparameteren forteller hvor raskt universet utvider seg*.

Når kosmologene snakker om ekspansjonsfarten til rommet et vilkårlig sted i universet, tenker de på farten v i Hubbles lov. For en referansepartikkel med avstand l_0 fra observatøren ved observasjonstidspunktet, er farten ved et vilkårlig tidspunkt

$$v = Hl = \frac{\dot{a}}{a} al_0 = l_0 \dot{a} \quad (3)$$

Selve *universets ekspansjonsfart* defineres ved å velge $l_0 = ct_0$ der c er lyshastigheten og t_0 er universets alder ved observasjonstidspunktet.

Videre er $l_0 \ddot{a}$ akselerasjonen ($\ddot{a} > 0$) eller deselerasjonen ($\ddot{a} < 0$) til ekspansjonsbevegelsen. Hvis Hubbleparameteren H er konstant øker skalafaktoren eksponentielt, og ekspansjonen akselererer, men hvis ekspansjonsfarten $l_0 \dot{a}$ er konstant, er skalafaktoren a proporsjonal med tiden, mens Hubbleparameteren avtar med tiden.

Supernovaer og kosmisk ekspansjon

Materien i universet lager et tiltrekkende gravitasjonsfelt. Dette bremser ned universets ekspansjon.

I 1998 ville to grupper av astronomer, *Supernova Cosmology Project* under ledelse av Saul Perlmutter og *High- z Supernova Search* ledet av Brian Schmidt, bestemme verdien av ekspansjonsfarten $l_0 \dot{a}$ ved ulike tidspunkter for å finne ut hvor stor nedbremsingen av den kosmiske ekspansjonen er. At dette kan gå an høres i første øyeblikk forbausende ut. Men saken er at vi alltid ser et objekt slik det var da det sendte ut strålingen vi mottar. *Ved å se utover i rommet ser vi bakover i tid*.

De to gruppene observerte uavhengig av hverandre omtrent 70 supernovaer av type *Ia*. Slike supernovaer skyldes eksploderende hvite dvergstjerner i dobbeltstjernesystemer. Den indiske fysikeren *Chandrasekhar* viste at hvite dvergstjerner blir ustabile hvis de får en masse større enn 1,4 solmasser. Når en hvit dvergstjerne trekker til seg masse fra sin medstjerne, vil den eksplodere når massen passerer 1,4 solmasser. Dette betyr at alle supernovaer av type *Ia* har omtrent samme lysstyrke. De er enormt sterke "standardlyskilder" spredt utover i universet. De lyser så sterkt at de kan sees på flere milliarder lysårs avstand.

Den observerte lysstyrken til en supernova er omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden fra observatøren. Vi kan derfor bestemme avstanden l til alle slike supernovaer dersom vi vet hvor sterkt de lyser, eller som astronomene sier – dersom vi kjenner deres *luminositet*. Avstanden bestemt på denne måten, ut fra kjent luminositet og observert lysstyrke, kalles *luminositetsavstanden*. Astronomene har bestemt luminositeten til supernovaer av type *Ia* ved å observere slike supernovaer i galakser med kjent avstand. Dermed kunne de to astronomigruppene bestemme avstandene til omtrent 70 slike supernovaer i 1998.

Ved å analysere spektrallinjer i strålingen fra supernovaene greide de å måle rødforskyvningen deres. *Rødforskyvningen* z er definert som økningen i strålingens bølgelengde på vei fra kilden til observatøren delt på utsendt bølgelengde,

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda} - 1 \quad (4)$$

I dagliglivet ville dette vært tolket som en dopplerefekt, og en positiv verdi av z ville bety at kilden har en bevegelse rettet vekk fra observatøren. Men i den

generelle relativitetsteorien er tolkningen en annen. Økningen av bølgelengden på vei fra sender til observatør er et resultat av at rommet utvider seg og strekker bølgene. Forholdet mellom bølgelengden ved observasjon nå og bølgelengden ved sendertidspunktet, er lik forholdet mellom skalafaktoren nå ($a_0 = 1$) og dens verdi (< 1) da strålingen ble sendt ut,

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{1}{a}$$

dvs.

$$z = \frac{1}{a} - 1 \quad (5)$$

Hvis for eksempel de kosmiske avstandene er doblet under lysets reise, var verdien av skalafaktoren ved sendertidspunktet $a = 1/2$, og strålingens rødforskyvning er $z = 1$.

Supernovamålingene gir avstand og rødforskyvning for objekter i forskjellig avstand fra oss, og dermed for objekter med ulike sendertidspunkter. Denne sammenhengen omtales ofte som *rødforskyvning-luminositetsrelasjonen* fordi avstandene bestemmes ut fra supernovaenes observerte lysstyrke, men vil her bli kalt *rødforskyvning-avstandrelasjonen*. Det gjenstår å finne ut hvordan denne relasjonen kan gi oss informasjon om den kosmiske ekspansjonsfartens endring med tiden.

Rødforskyvning-avstandrelasjonen

Sammenhengen mellom rødforskyvning og luminositetsavstand d_L avhenger av rommets geometri og av hva slags materie og energi universet inneholder. Denne sammenhengen kan finnes ved hjelp av relativitetsteorien. Siden universets innhold av materie og energi bestemmer tidsvariasjonen av universets ekspansjonsfart, er det følgelig en sammenheng mellom rødforskyvning-avstandrelasjonen og ekspansjonsfartens tidsvariasjon.

Et univers med konstant ekspansjonsfart må være tomt, dvs. uten både materie og energi, for ellers ville materien og energien gitt opphav til gravitasjon som ville ha forandret på ekspansjonsfarten. Et slikt univers kalles *Milnes universmodell* som har skalafaktor $a = t/t_0$. Ekspansjonsfarten til Milneuniverset er $l_0\dot{a} = ct_0(1/t_0) = c$, dvs. Milneuniverset ekspanderer med lysets hastighet som er konstant. Det brukes som sammenlikningsgrunnlag når man skal undersøke hvordan universets ekspansjonsfart endres med tiden. Fra liknin-

gene i relativitetsteorien følger at for et Milneunivers er rødforskyvning-avstandrelasjonen

$$\frac{H_0 d_L}{c} = z + \frac{1}{2}z^2 \quad (6)$$

Uttrykket viser at hvis man plotter luminositetsavstanden som funksjon av rødforskyvningen for et Milneunivers, får man en parabel.

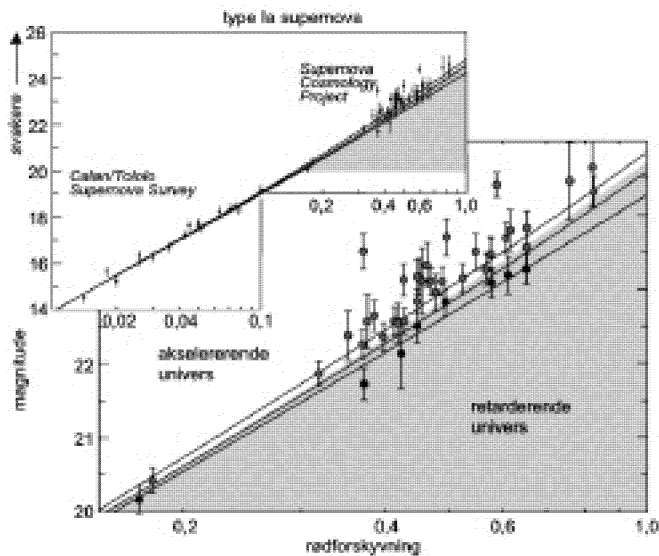
La oss finne ut om den tilsvarende kurven for et univers med avtagende ekspansjonsfart ligger over eller under kurven for Milneuniverset. Dersom vi observerer et objekt med rødforskyvning på for eksempel $z = 1$, var avstandene i universet halvdelen så store ved sendertidspunktet som nå. Hvis ekspansjonsfarten til universet avtar var den kosmiske ekspansjonsfarten større før enn nå. Da har det tatt kortere tid å doble de kosmiske avstandene, og reisetiden til lyset er kortere enn om universet hadde ekspandert med konstant fart. Det betyr at lyset har reist en kortere avstand. Da vil luminositetsavstanden være mindre. Følgelig er rødforskyvning-avstandkurven for et univers med avtagende ekspansjonsfart under den for Milneuniverset (gitt i likning (6)), og kurven for et univers med økende ekspansjonsfart er over Milneuniversets kurve. (Kosmologene foretrekker å plote lysstyrken i stedet for luminositetsavstanden langs y-aksen (se figur 1), men resultatet blir det samme, nemlig at området over kurven for Milneuniverset representerer akselerert kosmisk ekspansjon og området under avtagende ekspansjonsfart, når man passer på at lysstyrken avtar i retning oppover langs y-aksen, svarende til at avstanden øker oppover i diagrammet.)

Akselerert kosmisk ekspansjon?

Resultatet av observasjonene til gruppen Supernova Cosmology Project (High-z Supernova Search fikk tilsvarende resultater) er vist i figur 1.

Observasjonene ledet til en stor overraskelse. I stedet for å finne ut hvor stor den forventede nedbremsingen av den kosmiske ekspansjonen er, lå tyngden av observasjonsdataene i plottet i figur 1 på oversiden av kurven for Milneuniverset som har konstant ekspansjonshastighet. Hvis universet er homogent betyr dette at *ekspansjonsfarten øker*.

Dette behøver imidlertid ikke være en korrekt tolkning av dataene. Sammen med Håvard Alnes og Morad Amarzguioui foreslo jeg i 2006 en alternativ tolkning (se under Litteratur). I tolkningen ovenfor ble det antatt at universet er homogent, dvs. at



Figur 1. Resultatet av observasjonene til gruppen Supernova Cosmology Project. Grensen mellom grått og hvitt representerer Milneuniverset som har konstant ekspansjonsfart. Tyngden av observasjonene ligger på oversiden av denne grensen. Det tyder på at vi bor i et univers med økende ekspansjonsfart. De 3 kurvene representerer 3 universmodeller, den øverste med akselerert ekspansjon, og de to nederste med ulik grad av deselerert ekspansjon. (Magnituden representerer den observerte lysstyrken. Magnituden øker når lysstyrken avtar. Se ramme.)

Magnitude

Astronomene bruker tilsynelatende størrelsesklasse, også kalt *magnitude*, for å karakterisere observert lysstyrke fra stjerner. Dersom lyset som mottas fra to stjerner har intensitetene I_1 og I_2 , definerer man differensen mellom deres tilsynelatende magnituder, m_1 og m_2 , ved $m_1 - m_2 = -2,5 \times \lg(I_1/I_2)$, der $\lg$ er logaritmen med grunntall 10. Faktoren 2,5 ble valgt fordi man hadde slått fast at lyset fra en meget svak stjerne (som man valgte å gi magnituden 6) hadde en intensitet som var omtrent hundreparten av intensiteten av lyset som når oss fra en meget klar stjerne (som fikk magnituden 1). Setter man inn i formelen $I_1/I_2 = 100$, får man at de to stjernene ligger 5 magnituder fra hverandre. Denne definisjonen ble innført av N.G. Pogson i 1854. Minustegnet innebærer at magnituden øker når den observerte lysstyrken avtar. Med romteleskopet Hubble kan man registrere objekter ned til magnituden +30.

ekspansjonsfarten ved et gitt øyeblikk er uavhengig av avstanden fra observatøren. Sett at ekspansjonsfarten $l_0 a$ er større for nære supernovaer enn for fjerne, dvs. for supernovaene med kortest reisetid for lyset, m.a.o. med de seneste sendertidspunktene. Dette ville gi observasjoner lik dem med akselerert

ekspansjon i en homogen universmodell. Kanskje vi bor nær sentrum i et sfærisk område med en utstrekning på mange milliarder lysår der universets ekspansjonsfart er litt større inni området enn lenger ute? Vi viste at de observerte dataene stemmer med en slik modell selv i et univers uten mørk energi hvor ekspansjonsfarten avtar med tiden på grunn av materiens tiltrekkende gravitasjon.

Det er ikke alle som er så begeistret for denne tolkningen av dataene, for den bryter med det såkalte *Kopernikanske prinsipp* som sier at vi bor et tilfeldig sted i universet. Vår tolkning krevde at vi bor innenfor 50 millioner lysår fra sentrum av en kosmisk boble med radius 5 milliarder lysår som ekspanderer litt raskere enn området utenfor. Da er vi ikke lenger et tilfeldig sted i universet.

I Del II av artikkelen skal vi anta at universet er homogent i stor skala. Det betyr at hvis vi tenker oss at universet er delt opp i "terninger" med sidekant på minst en milliard lysår, så er det ingen forskjell på terningene. Da kommer vi ifølge relativitetsteorien ikke utenom den tolkningen av supernovaobservasjonene som sier at *universets ekspansjon øker farten*. Hvordan dette kan forklares er tema for Del II av artikkelen.

Litteratur

1. H. Alnes, M. Amarzguoui, and O. Grøn: *An inhomogeneous alternative to dark energy?* Phys. Rev. D **73**, 083519 (2006)
2. Hjemmesiden til Supernova Cosmology Project: <http://www-supernova.lbl.gov>
3. Ø. Grøn: *Universets utvikling*. Naturfag.no (2010): <http://www.naturfag.no/artikkel/vis.html?tid=889077>
4. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* FFV, nr. 3, s.73–80 (1999)
5. Ø. Grøn: *Kosmologiens utvikling de siste 50 årene*. FFV, nr. 2. s. 49–52 (2003)

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2010 – i Zagreb

De norske resultatene i den internasjonale fysikkolympiaden i år ble nesten like bra som i fjor: én bronsemedalje og én hederlig omtale er vi fornøyd med.

Fysikkolympiaden har i flere år vært arrangert langt fra Norge. Flere asiatiske land har vært verter, og i fjor var finalen i Mexico. Men i år var vi tilbake i Europa, og Zagreb i Kroatia var vertsby. *Croatian Physical Society* og *University of Zagreb* sto som arrangør av den 41. fysikkolympiaden som ble avholdt fra 17. til 25. juli.



Figur 1. Deltakerne (fra venstre): John Fredrick Berntsen, David Kleiven, Jonas Kjellstadli, Robert Hagala og Tobias Grøsfjeld.

Det norske laget bestod som vanlig av fem elever. Robert Hagala fra Bergen katedralskole fikk bronsemedalje og David Kleiven fra Skeisvang vgs. fikk hederlig omtale. I tillegg hadde vi med John Fredrick Berntsen fra Heimdal vgs., Jonas Kjellstadli fra Arendal vgs. og Tobias Grøsfjeld fra Porsgrunn vgs. Eirik Gramstad og Carl Angell (begge fra Fysisk institutt ved UiO) deltok som ledere. Elevene ble til enhver tid tatt godt hånd om av sine guider som fulgte dem nesten døgnet rundt – på alle arrangementer og utflukter. Vi som ledere var engasjert i diskusjon om oppgavene, oversetting av oppgavene til norsk og retting av de norske elevenes besvarelser.

Opplegget rundt fysikkolympiaden var ganske omfattende med mange utflukter og sosiale arrangementer, men selve konkurransen er selvsagt det vik-

tigste. Den foregår over to dager, en med teori og en med eksperimentelle oppgaver. Det er den samme strukturen hvert år med tre teorioppgaver og to eksperimentelle. Begge dagene har elevene 5 timer til disposisjon.

Oppgavene er svært krevende, kanskje særlig teorioppgavene, og både våre elever og elever fra mange andre land får utfordringer som går langt utover det de er vant med fra sin skolegang.

Elever fra videregående skoler i 82 land deltok i årets fysikkolympiade. Totalt ble det utdelt 35 gullmedaljer, 66 sølvmedaljer, 97 bronsemedaljer og 66 hederlige omtaler. Reglene er slik at de 8 % beste får gull, grensen for sølv går ved 25 %, grensen for bronse er 50 %, og for hederlig omtale 67 %. Det er altså mange som får en utmerkelse, og det er vel rimelig når så mange flinke elever er samlet på ett brett. Når besvarelsene rettes, deles det ut maksimalt 50 poeng, maks 30 i teoriprøven og maks 20 i den eksperimentelle. Grensene for medaljer og hederlig omtale ble i år 38,15 for gull, 30,95 for sølv, 22,35 for bronse og 16,75 for hederlig omtale. De forholdsvis lave poenggrensene sier noe om hvor krevende oppgavene faktisk var.

Den første teorioppgaven handlet om elektrisk felt og potensial fra en ladet og jordet metallkule. Å beregne det elektriske feltet fra ladningsfordelingen på en slik overflate er komplisert. Vi kan forenkle denne beregningen i stor grad ved å bruke en "bildemetode" der vi representerer det elektriske feltet og potensialet produsert av ladningen fordelt utover kulen som et elektrisk felt og potensial fra en punktladning plassert inni kulen. På denne bakgrunnen skulle elevene så gjøre en rekke beregninger; blant annet skulle de undersøke svingninger til en punktladning festet i en tråd som igjen var festet til en vegg i nærheten av den ladde kulen. I dette problemet er det også elektrostatiske vekselvirkning, og elevene ble bedt om å gjøre beregninger av den elektrostatiske energien i systemet. Oppgaven var vanskelig, men de norske elevene kunne nok gjort det mye bedre hvis de hadde innsett hva det betyr at metallkulen var jordet helt i begynnelsen av oppgaven.

Oppgave 2 handlet om en ovn med pipe og gasstrømninger gjennom pipen. I første del av oppgaven skulle de beregne hvor høy pipen måtte være for at gassene fra ovnen skulle komme ut i atmosfæren slik at ovnen skulle fungere skikkelig. De skulle også se på ulike tilfeller med svært forskjellige temperaturer (fra $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$) der en tenkt ovn med pipe var plassert. Gjennomstrømninger av

gasser i pipen kan også bli brukt til å konstruere en spesiell type solenergiverk ("solpipe"). Ideen er at sola varmer opp luft og sender en strøm av luft gjennom en pipe, som kan drive en turbin. Elevene skulle beregne effektiviteten til et slikt energiverk. Det er faktisk bygget en slik pipe i Manzanares i Spania, og den pipen er 195 meter høy!

Oppgave 3 handlet om kjernefysikk, og selv om atomkjerne er kvantemekaniske objekter kan flere fenomenologiske lover om grunnleggende egenskaper (som radius og bindingsenergi) bli utledet fra enkle forutsetninger. I en enkel modell kan en atomkjerne betraktes som en ball bestående av tettpakkede kjernepartikler, og med dette som utgangspunkt skulle beregninger gjøres. En skulle bl.a. estimere den gjennomsnittlige massetettheten, ladningstettheten og radien for en kerne. Ut fra gitte forutsetninger skulle også bindingsenergien og den elektrostatiske energien til en atomkjerne beregnes. Til slutt skulle en gjøre energiberegninger i en fisjonsprosess.

Den eksperimentelle prøven bestod av to oppgaver. Den første handlet om en gjennomiktig folie rullet opp som en sylindrisk fjær. Poenget var at desto mer vi bøyer folien, jo mer elastisk energi blir det lagret i den. Den elastiske energien avhenger av krumningen til arket, og de delene av arket som har størst krumning lagrer mest energi. Ved hjelp av en "presse" og en vekt skulle en så gjøre målinger og beregninger på denne sylindriske fjæren, samt finne bøyningstivheten ("fjærkonstanten") til folien og Youngs modul. Det var mange målinger som skulle gjøres, og hvis en fulgte instruksjonen nøye, var det ikke umulig å få til en god del på oppgaven.

Den andre eksperimentelle oppgaven handlet om krefter mellom en stavmagnet og en ringmagnet. Stavmagneten kunne bevege seg rettlinjert gjennom ringmagneten, og elevene ble bedt om å måle kraften mellom magnetene som funksjon av stavmagnetens posisjon. Videre var det spørsmål som handlet om å finne likevektsposisjoner og symmetrier i oppsettet.

Resultater. Mange østasiatiske land gjør det alltid bra i fysikkolympiaden, og årets var ikke noe unntak. Den aller beste kom, som mange ganger før, fra Kina. Noe mer overraskende var det at de tyske elevene gjorde det så bra. Tyskland fikk 3 gull og 2 sølvmedaljer, og deltakerne derfra var strålende fornøyde!

Av de nordiske landene var Finland best med én

sølv, tre bronse og én hederlig omtale. Det er det beste resultatet Finland noen gang har oppnådd. Deltakerne fra Island var også fornøyde; og som sagt, vi er veldig godt fornøyde med det norske resultatet.

Alle de beste elevene har et omfattende treningsprogram bak seg med spesiell oppfølging og spesielle undervisningsopplegg over lang tid. For mange av landene, og særlig de asiatiske, er det meget høy prestisje og interesse knyttet til fysikkolympiaden. De norske elevene har riktignok gått gjennom tre uttakingsrunder og en ukes kurs på UiO, men dette er ganske lite sammenlignet med hvordan f.eks. kinesiske elever får forberede seg.

Både elevene og lederne hadde imidlertid et fint og interessant opphold. Som vi har påpekt i forbindelse med tidligere olympiader, er det fint å se hvor lett våre elever får kontakt med ungdommer fra en rekke ulike land, og hvordan de får oppleve forståelse for hverandre på tvers av kulturgrenser. Fysikkolympiaden og interessen for fysikk, kan dermed også være med på å gi ungdom større forståelse for hverandre i en urolig verden. En av våre deltakere har skrevet dette til oss:

Turen var alt i alt veldig gøy. Organiseringen kunne vel vært litt bedre, siden vi som oftest bare fikk minimalt med opplysninger om hva som skulle skje, men det gikk fint likevel. Innkvarteringen var vel heller ikke av det mest luksuriøse slaget, men den var stort sett overkommelig. Maten var veldig god (spesielt med tanke på at de måtte lage mat til over 400 mennesker to eller tre ganger om dagen), og jeg synes guide-opplegget fungerte veldig bra. I tillegg fikk man lett kontakt med de andre deltagerne, siden vi bodde så tett sammen, noe jeg opplever som positivt. (Allsang til gitar om kveldene var gøy, men litt forstyrrende den natten de holdt på til klokka tre.) Sett under ett synes jeg turen var bra.

Oppgavene med løsninger og resultater finnes på: <http://ipho2010.hfd.hr/>

Mer informasjon om Fysikk-OL finner du på: <http://www.fys.uio.no/skolelab/fysikkol/>

Proessen for å ta ut neste års deltakere er allerede i gang. Første runde avholdes i begynnelsen av november, og på vårparten får vi vite hvem som skal delta i finalen som skal holdes i Bangkok i Thailand, i juli 2011.

Carl Angell

Landskonferansen om fysikkundervisning på Gol

Landskonferansen om norsk fysikkundervisning ble første gang arrangert på Ustaoset i 1990 av Faggruppen for undervisning i Norsk Fysisk Selskap og Norsk Fysikkråd. Etter en ny undervisningskonferanse ved Hafjell utenfor Lillehammer i 1994, ble Norsk fysikklærerforening stiftet. Norsk fysikklærerforening, som fortsatt er Faggruppen for undervisning i Norsk Fysisk Selskap, har siden arrangert flere undervisningskonferanser. Målet for disse konferansene har vært faglig oppdatering, utveksling av erfaringer og metoder, å styrke undervisningen og fysikkfagets plass i utdanningssystemet, drøfting av fagets innhold og form, samt drøfting av fysikkdidaktiske problemstillinger.

Fra 8. til 11. august i år var over hundre fysikklærere fra videregående skoler, universiteter og høyskoler samlet på Gol til nok en landskonferanse om fysikkundervisning for å diskutere fysikkundervisning ut fra en rekke perspektiver. Sentrale temaer var: Fysikk som kulturbærer, valg og bortvalg av fysikk, TIMSS Advanced, hva er lys, mørk energi og materie, nanoteknologi, fysikk og trafikk, siste nytt fra CERN, og mye mer. Vi fikk også demonstrert en rekke fysikkforsøk som kan brukes i undervisningen.

Et hovedpunkt på programmet var imidlertid: "Klima og myter – hva skal vi formidle i skolen?" Dette var overskriften på en temadag om klimaspørsmål. Et meget sterkt panel bidro til en spennende og utfordrende dag. Olav Orheim fra Forskningsrådet, Knut Alfsen og Pål Presterud fra CICERO, Pål Brekke fra Norsk Romsenter og Lasse H. Petterson fra Nansensenteret bidro alle med interessante og innsiktsfulle bidrag både i sine foredrag og i diskusjonen. Etter de innledende foredragene utarbeidet konferansedeltakerne spørsmål til panelet. Her fikk man virkelig anledning til å stille de spørsmålene elevene (og alle vi andre) vil ha svar på. Diskusjonen bar preg av rikelig med engasjement, både fra innleiderne og deltakerne i salen.

Landskonferansen om fysikkundervisning har nå gjennom flere år utviklet seg til det viktigste møtestedet for diskusjon om utviklingen av fysikkundervisningen i Norge. Her drives det fysikk (nesten) hele døgnet i en fin blanding av foredrag, diskusjoner og sosialt samvær. "Blåturen" har alltid vært et høydepunkt, og årets var intet unntak: Fysikk på golfbanen – med reinsdyrskav og forfriskninger!

Fysikklærerforeningen har dessuten flere æverdige tradisjoner der ordenspromosjonen etter festmiddagen er ganske spesiell. Den må bare oppleves! Takk til alle deltakere for noen fine dager på Gol. Vi gleder oss allerede til neste konferanse.

Carl Angell, Arne Auen Grimenes, Karl Torstein Hetland og Morten Trudeng

∞

Bokomtale

Per Chr. Hemmer, Anders Johnsson, Kjell Mork og Ivar Svare: Fysikk i Trondheim gjennom 100 år. Institutt for fysikk, NTNU, 2010, ISBN 978-82-8052-200-9 (176 sider), 250 kr.

Jubileumsbok frå NTNU

I Trondheim kan dei få det til! Der er det ikkje slik at "Om hundre år er allting gløymt". Så her har vi fått ei historiebok om fysikkstudiet og forskinga i Trondheim frå NTH kom i gang til i dag. Ho er skriven av fire av dei som har vore med og prega denne saga i vel halvparten av dei hundre åra ho spenner over: Per Chr. Hemmer, Anders Johnsson, Kjell Mork og Ivar Svare. Det har vorte ei pen bok og ei triveleg, interessant og nyttig bok. Papiret er fint, illustrasjonane er mange og gode.

Det var ein gong at ikkje alle meinte at det hadde noko for seg å starte med ingeniørutdanning i Trondheim. Teknisk Ukeblad meinte for eit sekel sidan at opplegget ved den nystarta NTH kom til å gå på røysa all den tid rektor og dei fyrste professorane var "en samling teoretikere av reneste vand uden praktisk innsigt og erfaring".

Men som alle veit, så gjekk det ikkje slik. Til fyrste studentkullet sa rektor Sæland profetisk at "vår høyskole, så fjernt den enn ligger fra de store kultursentre, høyskolenes ytterste forpost mot nord – ikke lenger skal være bare en utpost, men snart innta rang som et teknikkens, vitenskapens og kulturens brennpunkt".

Eg er sikker på at (nær sagt) alle som har studert i Trondheim vil skåle på at Sæland var sannspådd. NTH fekk tidleg rykte på seg for å vera ein eliteinstitusjon, der det var opptakskrav som sertifiserte at hadde ein studert der så var ein ein av dei beste av norsk ungdom. Samanlikna med trondheimsutdanning var det å ha studert på plassar som Zürich

litt suspekt etter krigen! Det var NTH-ingeniører som bygde landet, "teoretikere av reneste vand uden praktisk indsigt og erfaring" var andre stader.

Som over alt ellers var det etter krigen den store ekspansjonen i naturvitenskap skjedde. I 1949 hadde talet på studentar i klassene for Teknisk fysikk kome opp i omtrent fem, – så vart det populært å studere fysikk. Miljøet som starta innafor NTH breidde seg utover til NLHT/AVH og enda opp i det nåverande NTNU.

Alle som har fullført sivilingeniørstudiet, teke doktorgrad eller undervist i fysikk på NTH, NLHT, AVH eller NTNU, finn ein namnet på i boka. Klassene ved sivilingeniørstudiet i fysikk er komplette frå starten i 1932 til 2010. I tillegg er det i overkant av 400 realfagskandidatar. Det er omtrent 2500 namn, og av desse namngjevne burde alle som er i live glede seg over historia.

Men ikkje berre dei, for gode historier er det flust av. Det er også godt å bli mint på kva som vart forventa av ungdomen før i tida. Professor Westin la opp til ei arbeidsveke på 80 timar for fysikkstudiet ved NLHT i 1962. Dette var etter mønster frå NTH. Det vart pruta ned til 65 timar!

Alle som er interesserte i naturvitenskap og forskningspolitikk vil ha glede av å lesa boka. For fysikkmiljøet i Trondheim er nok det norske miljøet som har hatt størst politisk påverknadskraft. Utfallet av striden om kjernekraftutbygginga her til lands er vel beste eksempelet på det. Når Stortinget hausten 1979 bestemte at det var uaktuelt å byggje kjernekraftverk her i landet da, så er eg sikker på at det var fysikkmiljøet i Trondheim som var viktigaste premissleverandøren for det vedtaket. Og eg er nokså sikker på at det var protestane frå NTH-miljøet som førde til at norsk skulevesen ikkje rota det til i matematikkundervisninga, ved at dei fekk politikarar til å forstå at det som var "moderne matematikk", undervist på barnestadiet, var keisarens nye klede.

Nå må eg nok seia at fyrste halvparten av boka er den mest velskrevne og velredigerte. Siste delen er nok merkt av at forfattarane synest at dei må ha med litt om alt og alle. Miljøet har vorte så stort det siste halvsekelet, og det har vore så mange reformer at det er ikkje greitt å strukturere historieforteljinga. Men det har sjølvstøtt også noko for seg, lesarane av "Fra Fysikkens Verden" finn omtale av alle dei av sine kjenningar som ser Nidarosdomen til dagleg.

Boka kan tingast frå Institutt for fysikk, NTNU, ved konsulent Eli Monsøy, 7491 Trondheim. E-post eli.monsoy@ntnu.no, telefon 73593478.

Hallstein Høgåsen

Nye Doktorer

Nicolaas Ervik Groeneboom



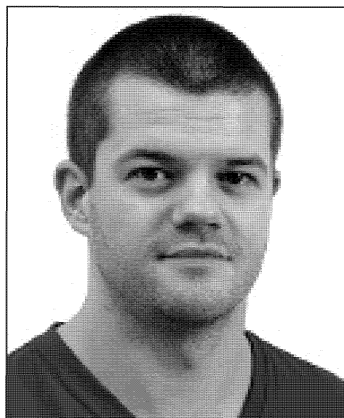
M.Sc. Nicolaas Ervik Groeneboom disputerte 16. juni 2010 for PhD-graden ved Universitetet i Oslo med avhandlingen *Searching for anomalies in the Cosmic Microwave Background*.

Den kosmiske bakgrunnstrålingen er kanskje det viktigste fenomenet som benyttes for å studere det tidlige universet. Dagens kosmologiske standardmodell er blitt godt bekreftet gjennom analyser av bakgrunnsstrålingen, men hviler på et krav om at universet må være isotropt, nemlig at det "ser likt ut" i alle retninger. Hvis bakgrunnsstrålingen har avvik fra isotropi, kan det være et tegn på at det er mangler med vår forståelse av universet.

Groeneboom har utført statistiske analyser for å finne ut hvor godt alternative universmodeller passer med den observerte bakgrunnsstrålingen. Han har hatt fokus på anisotrope universmodeller hvor universet ikke "ser likt ut" i alle retninger. Det kom derfor som en overraskelse da han oppdaget en stor sannsynlighet for en rotasjonsstruktur i den kosmiske bakgrunnsstrålingen. I utgangspunktet var dette inkonsistent med standardmodellen, men det ble også vist at denne rotasjonsstrukturen mest sannsynlig har opphav i systematikk fra selve satellitteksperimentet. Dermed har ikke signalet et kosmologisk opphav, hvor grunnen er enkel nok: Rotasjonsaksen er veldig nær solsystemets, som er altfor spesiell til å kunne være en effekt fra det tidlige universet.

Arbeidet er utført ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved UiO med førsteamanuensis Hans Kristian Eriksen som hovedveileder, og ble finansiert av Forskningsrådet.

Jarle Husebø



M.Sc. Jarle Husebø disputerte 14. nov. 2009 for PhD-graden ved UiB med avhandlingen *Monitoring depressurization and CO₂-CH₄ exchange production scenarios for natural gas hydrates*.

Naturgasshydrater er fast materie bestående av vann og naturgass ved høye trykk og lave temperaturer. Metanhydrat er det vanligste hydratet i naturen. Det er et hvitt stoff, ofte kalt brennbar is.

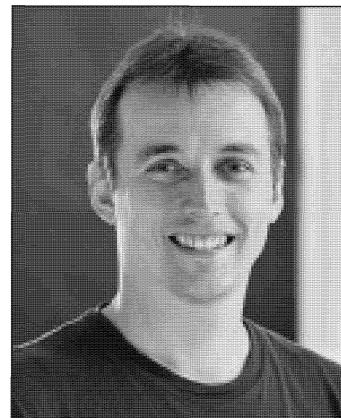
Doktorarbeidet har i stor grad vært rettet mot bedre forståelse av hydratdannelse, faseoverganger og produksjonsmetoder av gass fra hydratforekomster. Magnetisk resonansavbildning (MRI) er benyttet for å utforske ulike produksjonsmetoder. Avbildning gir et unikt innblikk i faseoverganger for hydratsystemer i porøse bergarter, og tredimensjonale MRI-avbildninger er blitt analysert ved hjelp av programvare utviklet i doktorarbeidet.

En lovende produksjonsmetode for gass fra hydratreservoarer er injeksjon av karbondioksid (CO₂). Siden CO₂-hydrat er termodynamisk mer stabilt enn metanhydrat, vil en slik injeksjon initiere en direkte utveksling mellom metan og karbondioksid uten å smelte hydrat i stor skala. Denne metoden er meget fordelaktig ved at en injiserer og lagrer drivhusgass og produserer naturgass, og er i så måte klimanøytral. En annen fordel er at den strukturelle integriteten til de hydratmettete sedimentene opprettholdes og reduserer faren for kollaps i havbunnen. Ved en slik produksjonsmetode kan en få tilgang til en av verdens største energiforekomster på en forsvarlig og miljøvennlig måte.

Doktorarbeidet har vært en del av et samarbeidsprosjekt mellom UiB og ConocoPhillips i Oklahoma. Veileder har vært professor Arne Graue.

∞

Wojciech Jacek Miloch



M.Sc. Wojciech Jacek Miloch disputerte 23. oktober 2009 for PhD-graden ved UiO med avhandlingen *Numerical studies of interaction between finite-sized objects and plasmas*.

I tillegg til frie elektroner, ioner og atomer kan plasma være i kontakt med objekter som støv, satellitter, meteroider eller prober. Disse objekter opplades gjennom kontakten med plasmaet med karakteristiske tidsskala og i et omfang som avhenger av objektenes bevegelsestilstand, geometri og elektriske egenskaper. Dette leder til vekselvirkninger mellom plasma og objekter av ikke-lineær natur som representerer betydelige utfordringer fra et teoretisk analysesynspunkt.

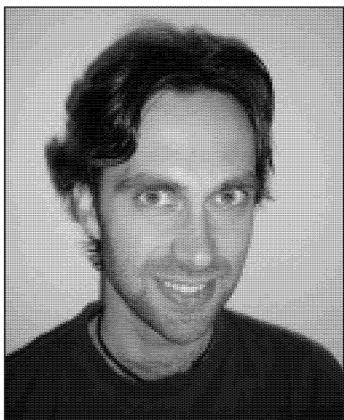
I avhandlingen sin har Wojciech Miloch studert disse fenomener ved hjelp av en Particle-in-Cell-simuleringsmetode. Objekter med forskjellig geometri og elektriske egenskaper introduseres via relevante randbetingelser mellom plasma og objekt. Koden er utviklet av kandidaten selv som del av forskningsarbeidet.

Avhandlingen gir innsikt i ladningsfordelingen på objektet for forskjellige plasmatilstander, også med fotoemisjon. Avhandlingen belyser detaljer i evolusjonen av plasma-objektsystemet – et system med et rikholdig spektrum av mangeartede og overraskende fenomener. Arbeidet har betydning for forståelsen av naturlige fenomener, for tolkning av elektriske probedata fra raketter og satellitter, og for industrielle prosesser.

Arbeidet ble utført ved UiO under veiledning av professorene Hans Pécseli og Jan Trulsen, og dels ved University of Sydney med professor Sergey Vladimirov som veileder. Arbeidet ble finansiert av Forskningsrådet. Wojciech Miloch er nå postdoktor ved UiT.

∞

Øystein Rudjord



M.Sc. Øystein Rudjord disputerte 12. juli 2010 for PhD-graden ved Universitetet i Oslo med avhandlingen *Non-Gaussianity in the CMB: Directional analysis and application of needlets*.

På et tidlig stadium i universet da de første atomene ble dannet, ble det frigjort mye stråling som fortsatt kan observeres som "kosmisk bakgrunnsstråling". Denne strålingen inneholder verdifull informasjon om hva som skjedde i det tidlige universet. En av forutsigelsene til dagens kosmologiske modeller er at bakgrunnsstrålingen skal være gaussisk, som innebærer at den skal ha bestemte statistiske egenskaper. Dersom dette ikke stemmer overens med observasjonene, kan det enten bety at vår forståelse av det tidlige universet ikke er riktig, eller så kan vi ikke stole på målingene.

I doktorgradsarbeidet har Øystein Rudjord studert metoder for å kartlegge hvor godt denne forutsigelsen stemmer med målingene gjort av satellitten Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Mest interessant er en metode som gjør det mulig å undersøke hvorvidt de gaussiske egenskapene varierer forskjellige steder på stjernehimmelen. Så langt virker det som den gaussiske forutsigelsen stemmer med observasjonene, men metodene som er beskrevet i avhandlingen vil også bli verdifulle for å studere dataene fra ESAs eksperiment, Planck. Dette eksperimentet forventes å gi de beste målingene av bakgrunnsstrålingen hittil.

Arbeidet ble utført ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo, med førstemanuensis Frode Hansen som veileder, og ble finansiert gjennom en stipendiatstilling.

∞

Lars Erik Walle



Siv.ing. Lars Erik Walle forsvarte 18. des. 2009 sin avhandling *Surface science studies of TiO₂ single crystal systems*, for graden PhD i fysikk ved NTNU.

Titandioksid er et materiale med en rekke anvendelser, bl.a. innen katalyse, solceller, energilagring, gass-sensorer og som biokompatibelt materiale. TiO₂ finnes i flere faser, der rutil og anatase er de viktigste når det kommer til bruksområder.

Walle har benyttet synkrotronbasert fotoelektronspektroskopi og røntgen-absorpsjonsspektroskopi til å studere adsorbater og tynne metallfilmer på en-krystall TiO₂-overflater, med hovedfokus på anatasefasen. TiO₂-overflater kan prepareres med varierende mengde oksygenvakanser i det ytterste atomlaget. En pågående diskusjon har vært rollen til disse vakansene i titandioksids evne til å splitte vann. Walle har vist at vannsplitting også opptrer på overflater fri for oksygenvakanser.

Gullpartikler < 5 nm på oksidssubstrat har katalytiske egenskaper, men mekanismen er ennå ikke godt forstått. Walle har studert oppvekst av tynne gullfilmer og deres vekselvirkning med CO på anataseoverflater. Avhandlingen tar også for seg ultratynne TiO_x-filmer, med en tykkelse på kun 2 atomlag, på metallet platina. Slike filmer kan fungere som modellsystemer for nanoflak, som igjen er byggesteinene i bl.a. nanorør og nanostaver.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk ved NTNU, og ved Uppsala universitet og synkrotronlaboratoriet MAX-lab i Lund. Professor Anne Borg, NTNU, og dosent Anders Sandell, Uppsala universitet, har vært veiledere. Lars Erik Walle er nå postdoktor ved Institutt for fysikk, NTNU.

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 2/10

Kappløp

Ei jente og en gutt løper 100 m om kapp. Jenta vinner og krysser målstreken når gutten er 5 m bak henne. I et nytt kappløp velger jenta å starte 5 m bak gutten slik at hun må løpe 105 m. Hvis begge løper med samme fart som i første løpet, hvem krysser da mållinjen først – eller blir det uavgjort?

Oppgaven løses enkelt ved å bestemme når jenta og gutten er nøyaktig ved siden av hverandre. Med den samme farten som i første løp, vil jenta ha løpt 100 m når gutten har løpt 95 m. De er altså ved siden av hverandre når det er 5 m igjen til mål. Jenta krysser derfor målstreken først i det andre løpet også.

FFVT 3/10

Kryssing av elv

Tre ektepar skal krysse en elv og finner en robåt med plass til to personer. Alle ektemennene er svært sjalu og tillater ikke at noen kone er sammen med andre menn uten at de selv også er til stede. Både menn og kvinner kan ro. Hvordan kan kryssingen organiseres uten at dette kravet blir brutt?

∞

SKRIV I
FRA
FYSIKKENS
VERDEN

De 10 språkvettreglene

- 1. Det er ingen skam å sette punktum**
En leservennlig periode har sjelden mer enn 22–25 ord.
- 2. Har du flere ting på hjertet, så si én ting om gangen**
Prøv ikke å si to ting samtidig. Server momentene porsjonsvis, og avslutt gjerne setningen før du begynner på en ny.
- 3. Vær høflig mot leseren**
Tenk på leseren når du skriver, og velg ord som du vet han forstår. Må du bruke et vanskelig ord, skal du huske på at det ikke er forbudt å forklare det.
- 4. Bli ikke smittet av substantivsjuken**
Skriv ikke: Kari foretar innhøsting av epler – når du like gjerne kan skrive: Kari høster (inn) epler.
- 5. Vær gjerne høyrevridd når du skriver**
Sørg for at (hoved)verbet kommer langt ut til venstre i setningen, og spre resten av setningsinnholdet ut til høyre.
- 6. Du skal ikke pynte deg med ord**
Motstå fristelsen til å bruke sjeldne fremmedord, moteord eller vitenskapelig klingende "påfugl-ord".
- 7. Vær ikke redd for den konkrete uttrykksmåten**
Mener du en spade, så skriv spade – ikke arbeidsredskap.
- 8. Sløs ikke med ord og bokstaver**
En kort uttrykksmåte er i regelen bedre enn en lang. Skriv ikke: Idrettslaget er en trivselsfremmende faktor i relasjon til lokalmiljøet – når du like gjerne kan skrive: Idrettslaget skaper trivsel i bygda.
- 9. Vær ikke redd for det personlige tonefallet**
Personord som du, De, dere, jeg, vi er tillatt i skrift også.
- 10. Bruk ørekontrollen**
Venn deg til å lese høyt for deg selv det du har skrevet. Det kan hjelpe deg til å sile bort de mest papirknitrende uttrykkene.

Vis språkvett!

∞

Retningslinjer for forfattere

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

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

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publisierbar. 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, møtetreferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

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

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

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

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

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. 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. (Student 60 kr.)
Lossalg 40 kr. pr. nummer.