Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 2007
69. årgang

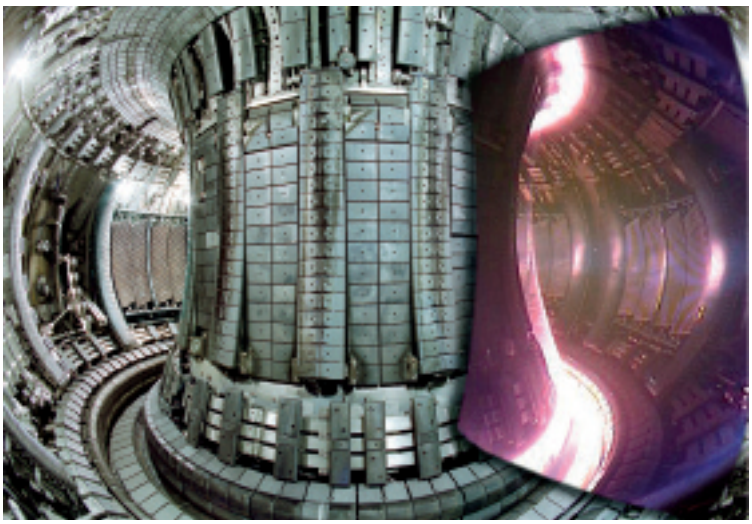
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Arne T. Skjeltorp
Nobelprisen i fysikk 2007 112
Sven Oluf Sørensen
Tysklands atombombeprosjekt . . . 115
Odd Erik Garcia
Fusjonsenergi og plasmafysikk. . . 123
Fra Redaktørene 110
Nytt fra NFS. 110
Nye æresmedlemmer
Endringer i NFS
In Memoriam. 111
Marius Kolsrud
Fysikk i skolen 128
Merknad om arbeid og energi
Mer om arbeid og energi
Kommentar 129
Nye realfag i videregående skole
Bokomtaler 130
Flekkeøy: Sandslott og flodbølger
Grøn og Hervik:
Einstein's theory of relativity
Nye Doktorer. 133
PhD Katarina Grujic
Dr.scient. Stian Solbø
PhD Aksel Straume
Trim i FFV 134



Verdens største fusjonseksperiment, JET i England
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Som mange av våre lesere vet har den nåværende redaksjon søkt om og fått avskjed i nåde. Det foreliggende nummer av FFV er derved vårt siste. Redaksjonssekretæren fortsetter en stund til, mens redaktørene sier takk for seg.

Det er med et visst vemod vi nå avslutter en 20 år lang karriere som redaktører. Men når det yngste medlem av redaksjonen blir 70 år ved slutten av året er det på tide med både en foryngelse og en fornyelse.

Det finnes kandidater til å overta som redaktører, men det gjenstår å finne en ordning for mye av det praktiske arbeidet, som løpende ajourføring av abonnementsregister, regnskap og annet nødvendig administrativt arbeid.

Tiden som redaktører har vært lærerik og interessant. Av og til har arbeidet hopet seg opp, spesielt i begynnelsen. Men etter at vi fikk Karl Måseide som redaksjonssekretær er arbeidet med bladet blitt vesentlig lettere. Uten Karl ville helt sikkert startfasen bli langt tyngre også for nye redaktører.

Vi har lært mye, både om det å gi ut et blad, og om det å fylle bladet med meningsfylt stoff. Vi har også lært mye av og om våre skrivende kolleger. Uten dem ville selv telefonkatalogen vært en langt mer spennede trykksak enn FFV. Å skrive populært om til dels kompliserte emner er ikke enkelt, men heldigvis er det flere som har tatt den utfordringen.

Vi har også lært at FFV er en viktig del av virksomheten til Norsk Fysisk Selskap. Et blad som FFV blir et lim og et synlig signal om at Selskapet eksisterer og lever i beste velgående. Samtidig har vi også kunnet glede oss over flere lesere for hvem interessen for fysikk som fag ble en evigvarende ungdomsforelskelse som ikke nødvendigvis endte i et ekteskap.

Vi ønsker en ny redaksjon og tidsskriftet alt det beste, og vi gleder oss til å være vanlige lesere som får bladet i postkassa til glede og adspredelse fire ganger i året.

∞

Nytt fra NFS

Nye æresmedlemmer i NFS

Finn Ingebretsen, Oivin Holter, Anne Borg (president i NFS) og Karl Måseide

På Fysikermøtet i Tromsø den 10. august 2007, ble Øivin Holter, Finn Ingebretsen og Karl Måseide fra Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, utnevnt til æresmedlemmer i Norsk Fysisk Selskap. De har i en årrekke utgjort redaksjonen i Fra Fysikkens Verden, Finn Ingebretsen og Øivin Holter fra 1987 og Karl Måseide fra 1991. I dette lange tidsrommet har de produsert 80 hefter, skrevet 80 ledere, og lest og bearbeidet mer enn 300 manuskripter. Disse redaktørene innførte også det nåværende A4-formatet, og laget dermed et mer "bladevillig" tidsskrift. Vi som har bidratt med manuskripter har kunnet glede oss over redaksjonens hjelp med alt fra ufordøyde setninger til uheldige formuleringer og korrekt plassering av komma.

Redaksjonssekretæren og redaktørene har utgjort "krumtappene" i tidsskriftet, og det norske fysikersamfunnet er takknemlig for det arbeidet redaksjonen har gjort. Norsk Fysisk Selskap hilser de nye æresmedlemmene og vil på vegne av alle som har gledet seg over bladet takke for deres store innsats.

Anne Borg og Gunnar Løvhøiden

∞

Endringer i NFS fra 2008

Året 2007 nærmer seg slutten med raske skritt, og 2008 bringer endringer for Norsk Fysisk Selskap. Som de fleste kanskje har fått med seg, overtar dagens visepresident, professor Gunnar Løvhøiden, Fysisk institutt, UiO, som president fra nyttår.

Ny visepresident blir førsteamanuensis Øyvind Frette, Institutt for fysikk og teknologi, UiB.

Stipendiat Øyvind Svensen, Institutt for fysikk og teknologi, UiB, overtar som Selskapets sekretær. I denne forbindelse får også Selskapet ny adresse:

Norsk Fysisk Selskap
Institutt for fysikk og teknologi, UiB
Allégaten 55
5007 BERGEN
e-post: *Oyvind.Svensen@ift.uib.no*

Vi vil få ønske Gunnar, Øyvind og Øyvind lykke til med arbeidet i NFS! Vi vil også ønske alle våre medlemmer en riktig God Jul og et Godt Nytt År, og samtidig takke for all hyggelig kontakt vi har hatt med dere de siste fire årene!

Anne Borg, president, NFS
Henning Frydenlund Hansen, sekretær

∞

In Memoriam

Marius Kolsrud (1919–2007)

Så er han borte for godt, professor Marius Kolsrud. Han døydde måndag 15. oktober i ein alder av 88 år. Han, som lenge var ein av dei mest markante lærarane på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, er ikkje meir.

Marius Kolsrud vart fødd den 21. april 1919 inn i ein gåverik familie. Ikkje berre faren, Sigurd, var professor ved Universitetet i Oslo, men også farbroren, Oluf, – og bror hans, Knut, vart det også.

Etter realartium på Stabekk i 1938, byrja Marius på Blindern. Han vart arrestert i den tyske aksjonen i 1943 og sendt til Stavern. Heldigvis vart det ikkje tysklandsopphald på han.

Professor Egil Hylleraas, som hadde lagt merke til den flinke studenten, fekk han inn på Statens Kontrollaboratorium på Rikshospitalet, der han var til etter at freden kom. Medan han var der gjorde han seg fortent til Deltagermedaljen, og han starta arbeidet som førde fram til hovudoppgåva. Det var i all forstand nyttig arbeid, praktisk så vel som teoretisk, innanfor røntgendiagnostikk. Han laga utstyr som gjorde det mogleg å ta bilete av suksessive tunne skikt i det ein skulle undersøke (planigrafi), slik at ein kunne skaffe seg informasjon om objektet i tre dimensjonar.

Så gjekk han over i rein teori. Då han tok embetseksamen med innstilling i 1948, hadde han alt fungert i eit nyoppretta universitetslektorat i teoretisk fysikk.

Med unntak av perioden 1952–53, då han arbeidde hos Peierls i Birmingham, var Marius Kolsrud ved Universitetet i Oslo heile sitt yrkesaktive liv. Fyrst som universitetslektor, frå 1963 som dosent, frå 1967 som professor etter Egil Hylleraas, og frå 1986 som seniorstipendiat.

Som pedagog gjorde Kolsrud ein stor innsats for norsk fysikk. Han var ein heilt sentral person i undervisninga i fellespensumet i teoretisk fysikk til fysikk hovudfag. Hans virtuositet og entusiasme var fengande. Ein heil generasjon av norske fysikarar frå Universitetet i Oslo vart prega av innsatsen hans.

I tillegg til undervisningsgjerninga si hadde Kolsrud ein solid forskningsaktivitet, og han heldt fram med sitt vitskapelege arbeid i alle fall til han var 70. I ti år (1969–79) var han i styret for NORDITA.

Marius Kolsrud var medlem av Det Norske Videnskaps-Akademi og av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab.

Hallstein Høgåsen

∞

Nobelprisen i fysikk 2007

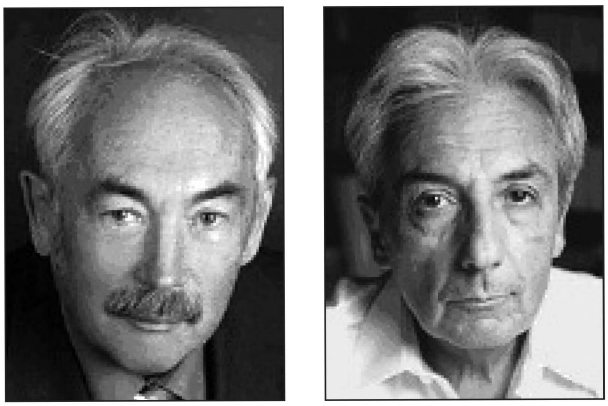
Arne T. Skjeltorp *

Nobelprisen i fysikk for 2007 er blitt tildelt Peter Grünberg og Albert Fert for deres oppdagelse av gigantmagnetoresistansen (GMR). Oppdagelsen, som ble gjort i 1988, har revolusjonert måten man avleser data på fra harddisker i PC-er, laptops og MP3-spillere. Dette gjennombruddet innvarsler også en ny generasjon av elektronikk, den såkalte spintronikken. GMR er et av de første eksempler på en storskala teknologisk utnyttelse av nanovitenskap. Oppdagelsen og videreutviklingen av GMR er også en ny bekreftelse på at praktisk talt alt av nyvinninger som vi kommer i kontakt med i dagliglivet er utviklet og forbedret gjennom grunnforskning.

Bakgrunn og betydning

Magnetoresistans (MR) er et fenomen som oppstår ved at motstanden forandrer seg i en elektrisk leder når denne utsettes for et ytre magnetisk felt. Allerede for 150 år siden målte den britiske fysikeren W. Thompson (Lord Kelvin) at variasjonen i den elektriske motstanden også var avhengig av hvilken retning magnetfeltet hadde i forhold til strømretningen i en leder. Han viste at en elektrisk strøm går lettere gjennom en jerntråd når det er et magnetfelt på langs av tråden enn når feltet er på tvers. Fenomenet kunne ikke forklares ut fra datidens kunnskaper. Denne retningsavhengige, eller anisotrope, magnetoresistansen vet en nå skyldes en kvantemekanisk effekt, den såkalte spinnbanekoplingen. Selv om den magnetfeltavhengige motstandsforandringen er meget liten, under en prosent, har den fått flere viktige teknologiske anvendelser, spesielt i forbindelse med lesehoder for magnetiske disker og sensorer for måling av magnetiske felt.

* Institutt for energiteknikk og Fysisk institutt, Universitet i Oslo



Peter Grünberg og Albert Fert

Det mest brukte materiale for disse formålene var en legering av nikkel og jern, $Fe_{20}Ni_{80}$, med betegnelsen "permalloy". Etter hvert utover på 1980 tallet ble det klart at det ikke var mulig å forbedre MR metoden ytterligere, og en helt ny teknologi "måtte til" for å kunne holde tritt med stadig økende krav til større lagringstetthet på harddisker osv.

I 1988 oppdaget tyskeren *Peter Grünberg* ved Forschungszentrum Jülich i Tyskland, og franskmannen *Albert Fert* ved Université Paris-Sud; Unité Mixte de Physique CNRS/THALES, Orsay, Frankrike, uavhengig av hverandre en helt ny fysisk effekt, gigantmagnetoresistansen, eller GMR (Giant MagnetoResistance), i spesielle nanostrukturerte materialer. Det ble da påvist at selv svake magnetfelt resulterte i store variasjoner i den elektriske motstanden som et resultat av GMR-effekten.

Det var akkurat en slik uventet oppdagelse som måtte til for å kunne flytte grensene for avlesning av data fra harddisker med større lagringstetthet. Grünberg var forutseende og fikk patentert oppdagelsen med henblikk på slike anvendelser. Det tok ikke lang tid før andre forskere begynte å arbeide med utvikling av lesehoder basert på GMR-effekten, og den første kommersielle utgaven ble lansert av

IBM i 1997, som et resultat av forskning utført av Stuart Parkin. GMR-teknologien, som i dag brukes av alle harddiskprodusenter i verden, gjør at vi kan legge hele platesamlingen vår på en harddisk i en Ipod som får plass i bukselomma.

På en harddisk ligger informasjonen lagret på ulike spor med mikroskopiske små områder der magnetiseringen har forskjellig retning, mot høyre og mot venstre i sporet. Informasjonen plukkes ut ved at et lesehode "fyker" over disken langs sporene og registrerer de magnetiske forandringene. Når magnetiseringen er til venstre er det f.eks. en 0-bit, og når den er mot høyre er det en 1-bit. Desto mindre og mer kompakte harddisker lages, desto mindre blir også de magnetiske feltene fra de mikroskopiske områdene som inneholder informasjonen i form av motsatt magnetisering.

Dersom en vil pakke informasjonen stadig tettere på en harddisk må en derfor ha stadig mer følsomme lesehoder. Et lesehode som er basert på GMR effekten kan nettopp avføle svært små variasjoner i et magnetfelt og sende strømpulser som reflekterer lagringen av bits i form av 0 og 1.

Denne GMR-effekten kunne imidlertid ikke vært oppdaget uten teknikker som ble utviklet på 1970-tallet for å fremstille svært tynne filmer av ulike typer materialer. Realiseringen av GMR forutsetter faktisk at man kan framstille ulike sjikt av materialer som er bare noen få atomlag tykke. Det kan derfor sies at GMR er et av de første eksempler på en storskala teknologisk utnyttelse av nanovitenskap. Det er også nok et eksempel på at ny epokegjørende teknologi aldri kan bli utviklet før det foreligger genuine nye vitenskapelige oppdagelser fra grunnforskning.

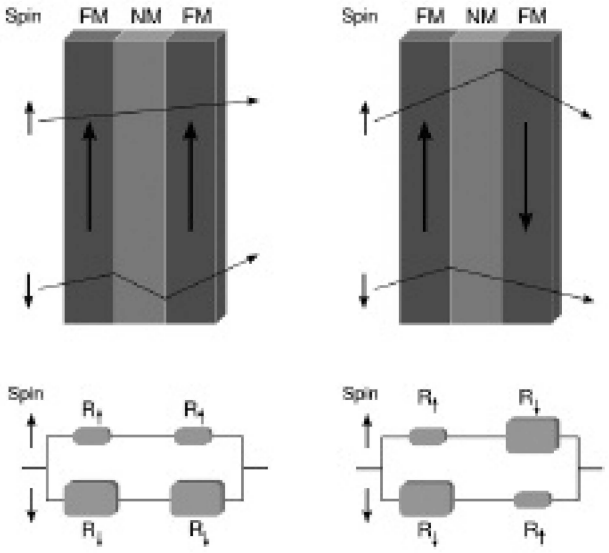
Elektrisk motstand i magnetiske materialer og GMR

Resistansen, eller motstanden for elektrisk strøm som går gjennom et metall, oppstår ved at elektronene spres fra urenheter og defekter i materialet, slik at de ikke kan gå rett fram. Motstanden øker jo mer elektronene spres.

Når metallet er magnetisk påvirkes spredningen av elektronene også av retningen på magnetiseringen. Dette skyldes at elektronene har en kvantemekanisk egenskap, et spinn, som kan ha to motsatte retninger, omtrent slik en snurrebass kan rotere mot høyre eller mot venstre. Elektronene er dermed små magneter med to motsatte retninger på magnetiseringen.

Et magnetisk materiale kjennetegnes ved at det har en opplinjering, slik at de fleste elektronspinnene peker i samme retning (parallelt), mens et mindre antall peker i motsatt retning (antiparallelt). Elektroner med ulike spinnretninger som beveger seg gjennom det magnetiske materialet vil også spres i ulik grad fra urenheter og defekter i materialet. Hvilken spinnretning som spres mest er avhengig av materialene.

Et eksempel på et enkelt system som oppviser GMR, består av tre lag med materialer: ett lag med ikke magnetisk metall omgitt av to lag med magnetisk metall, se figur 1. Her vil elektronene med motsatt spinn spres svært forskjellig avhengig av retningen på magnetiseringen i de to magnetiske lagene. For de elektronene som går inn i det første



Figur 1. Et eksempel på et enkelt system som viser GMR, består av tre tynne lag med materialer: ett lag med umagnetisk metall (UM) omgitt av to lag med ferromagnetisk metall (FM). Her vil elektroner med motsatt spinn spres svært forskjellig avhangig av retningen på magnetiseringen i de to magnetiske lagene. Dersom retningen på magnetiseringen er den samme i begge lagene, kan de elektronene som har parallelt spinn gå lett gjennom systemet uten å spres for mye, og den totale motstanden blir lav. Om retningen på magnetiseringen er motsatt i de to lagene, kommer noen av elektronene til å ha motsatt spinn i ett av lagene og blir derfor spredt. Dette fører til at den totale motstanden blir høy. Kilde: *http://en.wikipedia.org/wiki/Giant_magnetoresistive_effekt*

laget (1) med magnetisk metall og har spinn antiparallelt med retningen på magnetiseringen, vil spredningen være mye større enn for de elektronene

som har spinn parallelt med magnetiseringen. Når elektronene kommer inn i det umagnetiske laget (2), vil alle elektronene spres like mye, uavhengig av spinnretningen.

Dersom magnetiseringen i de to magnetiske lagene peker i samme retning, vil det innebære at de elektronene som har parallelt spinn slipper lett igjennom uten stor spredning. Den totale resistansen er dermed lav. Hvis der imot de to magnetiske lagene har motsatt retning på magnetiseringen, vil alle elektronene i ett av de to lagene ha antiparallelt spinn. Det er derfor ingen elektroner som kan gå lett gjennom alle lagene, og motstanden blir derfor høy.

Prinsippet for virkningsmåten til et disklesehode som baserer seg på GMR-effekten, er som følger: I lag (1) er magnetisering fastlåst til bare å være i en retning, mens magnetiseringsretningen i lag (3) påvirkes av retningen på magnetiseringen i sporene i harddisken. Dermed oppnås nettopp den effekten vi er ute etter: De to magnetiske lagene i lesehodet vil ha avvekslende parallelt og antiparallelt rettede felt, som fører til at resistansen, og dermed strømmen, gjennom lesehodet varierer. Bit 0 kan tilsvare høy strøm og bit 1 lav strøm.

Grünberg nøyde seg med å lage tre lag som beskrevet ovenfor, mens Fert utvidet prinsippet til opp mot et trettitall lag. Den franske gruppen kunne observere en magnetfeltavhengig motstandsforandring på rundt 50 %, mens den tyske gruppen så bare en 10 % forandring. Begge gruppene observerte imidlertid den samme GMR-effekten.

For å produsere sine flerlagsfilmer med nanometertykkelse, brukte både Grünberg og Fert en epitaksi-teknikk for å oppnå ordnet krystallinsk vekst på et monokrystallinsk substrat. Denne metoden var ganske omstendelig og egnet seg lite til masseproduksjon. Stuart Parkin ved IBMs laboratorium i USA, viste så at det lot seg gjøre å oppnå samme effekt med en enklere teknikk, såkalt "sputtering", som er en gassdeponeringsprosess der gassatomene dannes ved at et materiale bombarderes med energetiske ioner. Den store følsomheten til GMR-lesehodene kombinert med enkel produksjonsprosess, har ført til at disse er blitt standard i alle harddisker. Det skal eksistere ca. 1 milliard slike lesehoder per i dag.

Videreutvikling og "spin-offs"

GMR-oppdagelsen har også ledet til en ny vitenskap, den såkalte spintronikken, på engelsk "spintronics". Her utnyttes både elektronets ladning og dets spinn. En forutsetning for spintronikk er metoder for å kunne lage tynne filmer ned på nanonivå. Spinnretningen på elektronene beholdes bare over korte nanoavstander. I tykkere materiallag forandrer spinnretningen seg, og det er derfor ikke mulig å utnytte de ulike egenskapene til spinnretningen, som beskrevet ovenfor.

Spintronikken baner vei for nye oppdagelser og anvendelser ved utvikling av en ny generasjon "klassiske" enheter for informasjonsprosessering. Det gjelder f.eks. spinn transistorer, spinn-dioder, optospintronikk-komponenter, datalagring osv. En ser for seg at slike enheter blir raskere, får lavere energiforbruk og økt lagringstetthet. Enda lenger frem blinker "qubits" og realiseringen av en praktisk kvantecomputer.

Referanser

1. Nobelkomiteens begrunnelse: *http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/press.html*
2. Peter Grnbergs originalartikkel: *Enhanced magneto resistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange.* av G. Binasch et al., Physical Review B, **39,** No. 7 (1989)
3. Albert Ferts originalartikkel: *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices* av M.N. Baibich et al., Physical Review Letters **61,** No. 21 (1988)

∞

Husk adresseforandring!

Tysklands atombombeprosjekt – Del I

Sven Oluf Sørensen *

Historien om hvorledes vestallierte fysikere og kjemikere under den annen verdenskrig konstruerte en atombombe er detaljert behandlet i en omfattende vitenskapelig litteratur. Langt mer uklare og kontroversielle er fremstillingene av det tyske atomenergi- og atombombeprosjektet under den samme epoken. I disse finner man f.eks. ofte meget motsetningsfylte karakteristikker og tolkninger av de tyske hovedaktørenes handlingsmønster. I det følgende vil vi skissere noen av hovedtrekkene i de tyske atomenergieksperimentene i perioden 1939–1945. Artikkelen vil bli trykt i to deler.

Frigjøring av energi ved uranfisjon

I den kronologiske fremstillingen av de oppdagelsene som førte til frigjøringer av atomenergi ved uranfisjon er det naturlig å starte med Chadwicks oppdagelse av nøytronet i 1932. Kort tid efter startet Fermi i Roma en serie eksperimenter hvor forskjellige grunnstoffer ble bestrålt med nøytroner, hvorved oppsto en rekke kunstig radioaktive atomkjerner. Blandt annet ble uran bombardert, hvorved det ble dannet radioaktive elementer som Fermi og det radiokjemiske miljøet tolket som "transurane" atomkjerner.

Østerrikerinnen Lise Meitner hadde samarbeidet med radiokjemikeren Otto Hahn på Keiser Wilhelm Institut for kjemi (KWI) i Berlin, siden 1908. I 1934 begynte de to, sammen med Fritz Strassmann, et studium av Fermis transuraner. Den 13. mars 1938 kom "Anschluss", den tyske okkupasjonen av Østerrike, og Lise Meitner ble, som jødinne, avskjediget fra KWI for kjemi. Den 13. juli 1938 flyktet hun til Grooningen i Holland, og i november 1938 fikk hun en stilling ved Siegbahninstituttet i Stockholm.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Figur 1. Otto Hahn (1879–1968)

Hahn og Strassmann fortsatte imidlertid sine studier av transuranene i Berlin. Lise Meitner hadde hatt en sentral rolle i oppbyggingen av den radiokjemiske forskningen ved KWI for kjemi, og høsten 1938 var det en intens brevveksling mellom henne og Hahn. Allerede før Lise Meitner hadde flyktet fra Berlin, mente Hahn at han hadde funnet barium (atomnummer 56) i det nøytronbestrålte uran (atomnummer 92). Vitenskapshistorisk er det interessant at Lise Meitner var reservert over at Hahn beskjeftiget seg med disse "funn" av barium og anbefalte ham å stoppe undersøkelsene. Men Hahn og Strassmann fortsatte sine studier av transuranene. Og i tidsskriftet *Die Naturwissenschaften* den 6. januar 1939, publiserte de, noe nølende, at de definitivt hadde funnet barium i det bestrålte uranmaterialet. I tidsskriftet *Nature* fremsatte Lise Meitner og hennes nevø, Otto Frisch, den 16. februar 1939, den riktige tolkningen av Hahn og Strassmanns oppdagelse, nemlig at urankjernen ved bestråling med nøytroner kan spaltes i to noenlunde like store fragmenter, som på grunn av den elek-

trostatiske frastøtingen slynges fra hverandre med energier av størrelsesorden 100 MeV. Vitenskaps historisk er det interessant at allerede i september 1934 hadde en annen radiokjemiker, østerrikerinnen Ida Tacke Noddack, i *Zeitschrift für Angewandte Chemie* gitt en lignende tolkning av Fermis transuraner. Hun skriver i sin avhandling:

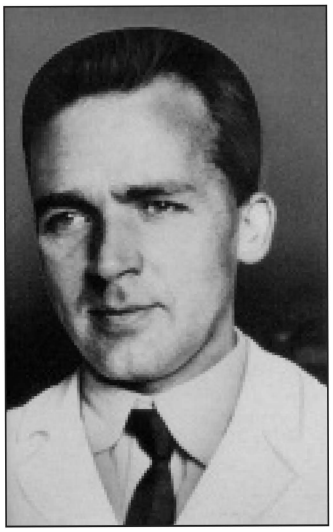
Es wäre denkbar, dass bei der Beschiessung schwerer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere grössere Bruchstücke zerfallen, die zwar Isotope bekannter Elemente, aber nicht Nachbarn der bestrahlten Elemente sind.

Man gjør seg naturlig det tankeeksperimentet: Hvordan ville verdenshistorien forløpet hvis uranfisjonen hadde blitt oppdaget fem år tidligere?

Allerede i sin neste avhandling i *Die Naturwissenschaften*, den 10. februar 1939, forutsier Hahn og Strassmann at det vil bli frigjort nøytroner i uranfisjonsprosessen. I tidsskriftet *Nature*, den 22. april 1939, verifiserer H. von Halban, Frédéric Joliot og L. Kowarski fra Collège de France i Paris, denne hypotesen, og angir at ca. 3,5 nøytroner vil bli emittert.

Disse oppdagelser førte til at man allerede våren 1939 ble klar over mulighetene for å fremkalle kjede reaksjoner i uran, og at dette kunne føre til kjerne fysiske bomber med sprengkraft av en helt annen størrelsesorden enn i konvensjonelle våpen.

Disse studier fant sted bare noen måneder før utbruddet av den annen verdenskrig, 1. september 1939. På grunn av deres militære potensiale førte de videre undersøkelser av uranfisjonsprosessene og deres mulige tekniske anvendelse til et våpenteknisk kappløp mellom tyske, russiske og angloamerikanske kjernefysikere med mål å produsere en atombombe.



Figur 2. Fritz Strassmann (1902–1980)

Figur 3. Lise Meitner (1878–1968)

Begynnelsen

Et av de første skritt i retning av et tysk atombombeprosjekt under den annen verdenskrig var en forelesning som Wilhelm Hanle fra universitetet i Jena, holdt på universitetet i Göttingen i april 1939. Umiddelbart før Hanle skulle holde sitt foredrag fikk han i hendene artikkelen i *Nature* fra Paris-gruppen, hvor det ble rapportert at mer enn ett nøytron ble emittert i fisjonsprosessen. Tittelen på Hanles forelesning var: *Energiegewinnung aus eine Uranspaltungsmashine.* Til stede på kollokviet var Hanles sjef, professor Georg Joos fra universitetet i Jena. Det umiddelbare resultat av forelesningen var at Joos og Hanle sendte et brev til riksundervisningsminister Bernhard Rust hvis ministerium kontrollerte de tyske universitetene og forskningsinstitusjonene. Ministeriet reagerte med en bemerkelsesverdig hurtighet og beordret professor Abraham Essau til å sammenkalle et møte for å diskutere atomenergiproblemet. Essau hadde vært professor i fysikk ved universitetet i Jena, med spesialitet høyfrekvent elektronikk. Da han hadde vært et mangeårig medlem av nazipartiet var han som takk, blitt utnevnt til president for Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) i Berlin i 1939, og sjef for ministeriets forskningsråd.

Konferansen fant sted i all hemmelighet den 29. april 1939, under ledelse av Essau, i ministeriets bygning i Unter den Linden i Berlin. Deltagere var Joos, Hanle, Hans Geiger, Walther Bothe, Gerhard Hoffmann og ministeriets representant Wilhelm Dames. Hahn var selvfølgelig selvskreven, men slapp å delta da han var på foredragsturné i Sverige.

Han ble representert på konferansen av Josef Mattauch fra KWI for kjemi i Berlin.

Et resultat av konferansen var at det ble besluttet et eksportforbud av uran fra Tyskland. Videre ble det anbefalt at de mest fremtredende kjernefysikerne i Tyskland skulle samles i en felles forskningsgruppe under ledelse av Essau.

På samme tid som denne kontakt fant sted mellom de tyske fysikerne og undervisningsministeriet, ble et annet initiativ tatt av to fysikere fra universitetet i Hamburg. Den 24. april 1939, bare to dager etter at Paris-gruppen hadde publisert sin avhandling i *Nature*, sendte professor Paul Harteck og hans assistent Wilhelm Groth et brev til det tyske Reichskriegsministerium hvor de innleder med å skrive:

Wir gestatten uns, Sie auf die neueste Entwicklung in der Kernphysik aufmerksam zu machen, da sie unseres Erachtens viel leicht die Möglichkeit eröffnet, Sprengstoffe von einer Wirkung herzustellen, welche um viele Grössenordnungen den derzeitig in Verwendung befindlichen überlegen ist.

Brevet havnet hos en av lederne i forskningsavdelingen i det tyske Heereswaffenamt, HWA, professor Erich Schumann. Denne ga brevet videre til hærens ekspert på eksplosiver og kjernefysikk, Kurt Diebner, som senere ble en viktig aktør i det tyske atomenergiprosjektet.

Allerede på dette tidlige tidspunkt så man tendensen til det som skulle komme til å karakterisere tysk atombombeforskning under hele krigen, nemlig rivaliserende grupper. I denne initialfasen var det riksundervisningsministeriet ved Essau, og HWA ved Schumann. I løpet av kort tid ble den siste gruppen den dominerende. Det ble besluttet å holde en ny hemmelig konferanse den 16. september 1939, under ledelse av HWA.

En ung kjernefysiker som senere kom til å spille en viss rolle i det tyske atomenergiprosjektet, var den 27-årige Erich Bagge, som var assistent hos Werner Heisenberg ved universitetet i Leipzig. Han fikk den 6. september 1939, en uke etter krigsutbruddet, en innkallelse til HWA i Berlin. Da han ankom HWA i Hardenbergstrasse 12, ble han mottatt av Diebner. Da Bagge spurte hva han skulle gjøre for HWA, svarte Diebner: *"Atombombe!"* Bagge ble sammen med Diebner satt til å velge ut deltagere til konferansen den 16. september.

Konferansen ble holdt i regi av HWA i Berlin. Deltagere var eksperimentalfysikerne Bothe, Diebner, Siegfred Flügge, Geiger, Hahn, Harteck, Hoffmann og Mattauch. Da Bagge sa: "Herr Diebner, vi burde vel også ha med en teoretiker med et stort navn – jeg synes det skulle være Heisenberg", ble han avvist med den begrunnelse at atomenergiprogrammet var et rent eksperimentelt prosjekt.

På konferansen ble det besluttet at all atomenergiforskning i Tyskland skulle samles og koordineres av HWA på KWI for fysikk i Berlin. Diebner ble utnevnt til å lede prosjektet. Dette vakte imidlertid motstand hos sjefene på de forkjellige universitetene som ønsket å arbeide på sine egne institutter. Tyskland fikk derfor aldri et samlende sentrum for atomenergiforskning, i motsetning til Amerika og Sovjetunionen. Det tyske uranprosjektet ble under krigen drevet av et par hundre fysikere, fordelt på ca. tyve institutter.

Doktorene Karl Wirtz og Carl Friedrich von Weizsäcker som arbeidet på KWI for fysikk i Berlin, var meget reservert over å få Diebner, som var medlem av nazipartiet, som sjef. Etter en del konspirasjoner fikk de knyttet Tysklands ledende teoretiske fysiker, Heisenberg, til instituttet som rådgiver (Berater), og fikk dermed i praksis manøvrert Diebner ut.

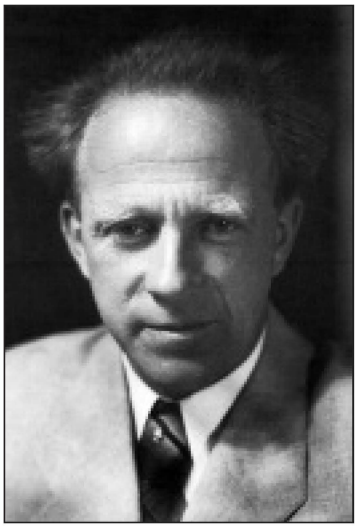
På den annen side begynte Diebner å bygge opp et atomenergilaboratorium i Gottow, ca. 40 km syd for Berlin. Gottow var en del av hærens store forskningsanlegg, Kummersdorf, for sprengstoff og raketter.

Disse forhold førte til at den daværende direktør for KWI for fysikk, den hollandske nobelpristager Peter Debye, den 10. oktober 1939 fikk valget mellom å ta tysk statsborgerskap og fortsette i sin stilling i Berlin, eller å beholde sitt hollandske statsborgerskap som betød at han måtte si opp sin stilling. Debye valgte det siste og reiste til USA.

Bare noen dager før konferansen den 16. september 1939 i HWA, hadde en rekke arbeider blitt publisert som var relevante for spørsmålet om teknisk utnyttelse av uranfisjonen. Det viktigste var selvfølgelig Niels Bohr og John Wheeler: *The Mechanism of Nuclear Fission,* som ble publisert i *Physical Review* den 1. september 1939. Her ble det redegjort for at den hyppigste uranisotopen U238 ($\sim$ 99 %) bare fisjonerer for nøytroner med energi større enn ca. 1 MeV, mens den sjeldne uranisotop U235 ($\sim 0,7$ %) fisjonerer for alle nøytronenergier, og med et fisjonsvirkningstversnitt som øker sterkt med avtagende nøytronenergi. – Et annet arbeid var en artikkel publisert i juni 1939 av Flügge fra KWI for kjemi i Berlin–Darlem i *Die Naturwissenschaften: Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nützbar gemacht werden?*

Under konferansen ble disse publikasjonene drøftet meget intenst i forbindelse med muligheten for å konstruere det som de tyske fysikerne kom til å kalle en "uranmaskin". Man kom da selvfølgelig inn på rent teoretiske problemer, og i den forbindelse ble det besluttet å avholde en ny konferanse den 26. september 1939, i regi av HWA. Til denne konferansen ble de to teoretiske fysikerne Heisenberg og von Weizsäcker, invitert. Et hovedresultat av møtene 16. og 26. september i HWA, var at det ble avtalt en arbeidsdeling innen denne "Arbeit gemeinschaft Kernphysik", eller som den senere ble uformelt kalt, *"Uranverein"*.

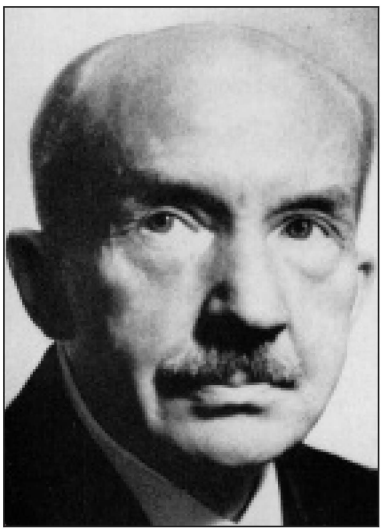
I denne initialfasen av det tyske militære atomenergiprosjektet var det to relaterte hovedmål. Det ene var å bygge en energiproduserende uranmaskin, hvis militære anvendelse i første rekke skulle være i undervannsbåter og langdistansefly. Det andre var å konstruere en atombombe. For å oppnå det første var det nødvendig å benytte en "moderator" som kunne bremse de hurtige nøytronene produsert i fisjonsprosessen ned til "termiske" energier, hvorved de hadde bedre sjanse til å frembringe fisjon i den letteste uranisotopen U235. Harteck ved universitetet i Hamburg, mente allerede sommeren 1939 at dette best kunne oppnåes ved å la nedbremsingen av nøytronene foregå utenfor uranmaterialet. Den beste konfigurasjonen i en uranmaskin skulle derfor være et system av parallelle plater av henholdsvis uran og moderator.



Figur 4. Werner Heisenberg (1901–1976)

Heisenberg, som ble tildelt oppgaven å utarbeide en teori for en uranmaskin, spilte en helt sentral rolle i det tyske atomenergiprosjektet. Han tok som utgangspunkt Hartecks modell med en stabel av parallelle uranmetallplater adskilt fra hverandre med en moderator. Han leverte til HWA to arbeider, den 6. desember 1939 og den 29. februar 1940. I disse studier, som ble retningsgivende for det videre arbeid innen Uranverein, konkluderer han med å skrive bl.a.: "Anriking av uran 235 er den eneste vei til å produsere eksplosiver mange størrelsesordener kraftigere enn de hittil sterkeste eksplosiver. ... For å produsere energi kan imidlertid vanlig uran bli brukt, uten anriking av uran 235, hvis det blir brukt i forbindelse med en "moderator". Vanlig vann er ikke egnet til dette. Tungt vann og meget ren grafitt skulle på den annen side kunne brukes."

Før man satte i gang for fullt med å konstruere en energiproduserende uranmaskin – en uranreaktor – var det nødvendig eksperimentelt å måle en rekke kjernefysiske parametre, som virkningstverrsnitt, isotopforhold etc. Dette ble utført på en hel serie tyske universiteter og forskningsinstitutter.



Figur 5. Walther Bothe (1891–1957)

Et sentralt problem for Uranverein var hvilken form for moderator som skulle velges. Mellom juni 1940 og januar 1941 utførte de to senere nobelpristagere Bothe og Hans Jensen ved KWI for medisin i Heidelberg, målinger av diffusjonslengden av termiske nøytroner i ren grafitt levert av firmaet Siemens. De fant ut at den var overraskende lav, svarende til en stor absorpsjon av nøytroner. Bothe dro av disse målingene den slutning at kullstoff og grafitt ikke kunne anvendes som moderator i en uranreaktor. Det er den allminnelige mening i dag at Heidelberg-fysikernes resultat skyldtes at

deres grafitt ikke hadde den tilstrekkelige renhetsgrad. Det kan i den forbindelse nevnes at Fermis vellykkede reaktoreksperiment i Chicago i desember 1942, benyttet blokker av grafitt som moderator. Heidelberg-fysikernes målinger førte til at tyskerne følte seg tvunget til i stedet for grafitt å benytte det vanskelig tilgjengelige tungt vann som moderatormateriale.

Helt frem til natten mellom 15. og 16. februar 1944, da KWI for kjemi ble lagt i ruiner av allierte bombefly, utførte Hahn og hans medarbeidere meget omfangsrike kjemiske undersøkelser av fisjonsfragmentene fra uran.

Videre ble i årene 1940–1944 masse- og energifordelingen av uranfisjonsfragmentene undersøkt av Willibald Jentschke og Friedrich Prankl ved universitetet og Instituttet for Radiumforskning i Wien. Det samme problem ble tatt opp av Arnold Flammersfeld, Jensen og Wolfgang Gentner ved KWI for medisin i Heidelberg. På det samme instituttet undersøkte Bothe, Gottfried von Droste og F. Kirchner energispektrene av nøytronene fra uranfisjons prosessen.

Videre ble virkningstverrsnittet for nøytron deuteronspredning studert av Bagge i Leipzig ved hjelp av et Wilsons tåkekammer. I 1939–40 ble teorien for nøytronabsorbsjon i resonnansområdene av U238 utarbeidet av Flügge og Heisenberg i KWI for fysikk i Berlin.

Plutonium

Oppdagelsen av uranfisjonen var et resultat av ønsket om å finne og studere transurane elementer. Gjennom hele 1939 var man i laboratorier over hele verden intenst opptatt av å studere fisjonsprosessen, ikke minst på grunn av dens militære anvendelser. Men i nær sammenheng med disse studier var man engasjert i å forsøke å produsere transurane elementer. Et av motivene for denne aktiviteten var selvfølgelig at atomkjerner tyngre enn uran skulle være enklere å få til å fisjonere enn uran.

Den første definitive oppdagelse av et transurant element var de to amerikanske fysikere McMillan og Abelsons publikasjon i *Physical Review* den 15. juni 1940, av at de hadde funnet en kjerne med atomnummer 93 ved bombardement av naturlig uran med nøytroner, produsert ved syklotronen i Berkeley. Britiske fysikere, med Sir James Chadwick i spissen, sendte amerikanerne en skarp protest mot denne publikasjonen som de mente burde vært holdt hemmelig. Amerikanerne forsvarte seg med at de mente det var usannsynlig at uranforskning skulle få noen militær betydning. Men allerede sommeren 1940 forbød Amerika publiseringen av resultater fra uranforskning.

Det er riktig å bemerke at disse oppdagelser av transurane element lå nærmest i luften. Allerede i mai 1940 hadde Kurt Starke ved KWI for kjemi, publisert en forsøksrekke som pekte på eksistensen av et element med atomnummer 93 (neptunium). Det samme hadde to fysikere fra Wien, Josef Schintlmeister og Friedrich Hernegger, kommet med. Deres resultater var imidleritd så usikre på grunn av den lave intensitet av deres nøytronstråler, at deres rapporter ble upåaktet.

Den 14. desember 1940 bombarderte Glenn Seaborg og medarbeidere i Berkeley, uran med deuteroner, og 23. februar 1941 identifiserte de et nytt element med atomnummer 94 som de et år senere ga navnet *plutonium.*

Dette nye transurane element viste seg å være fisjonabelt for alle nøytronenergier, i likhet med U235. Det ville derfor være like anvendbart til en atombombe som U235. Men mens U235 bare kunne ekstraheres fra naturlig uran ved en meget avansert teknologi, kunne plutonium, på grunn av at det er et annet grunnstoff enn uran, rent kjemisk separeres fra det nøytronbestrålte uran.

Figur 6. Freiherr Carl-Friedrich von Weizsäcker (1912–2007)

Den første i det tyske Uranverein som forsto betydningen av disse oppdagelsene var Heisenbergs tidligere elev von Weizsäcker som var husteoretiker i Hahns gruppe på KWI for kjemi i Berlin. Han hadde lest *Physical Review* fra sommeren 1940, og etter å ha oppklart for seg selv visse uklarheter for-

fattet han den 17. juli 1940, en fem siders rapport: *Eine Möglichkeit der Energiegewinnung aus U238*, som han sendte HWA. Helt til slutt i denne rapporten skrev von Weizsäcker: *Diese* (han kalte det nye elementet "Eka Re") *kann in dreifachen Weise verwendet werden: 1) zum Bau sehr kleiner Maschinen 2) als Sprengstoff 3) durch Beimischung zur Umwandlung anderer Elemente in grossen Mengen.* På denne rapporten var det skrevet *"Geheim"*.

Oppdagelsen av plutonium ble retningsgivende for atombombeprosjektene både i Tyskland og hos de allierte. Håpet om å kunne konstruere en atombombe var før oppdagelsen av plutonium bestemt av å kunne produsere en tilstrekkelig mengde ren U235, eller en sterkt anriket mengde naturlig uran. Nu hadde det åpnet seg en ny mulighet i uranreaktorer å skaffe til veie en tilsvarende mengde plutonium.

De engelsk-amerikanske atombombene som sommeren 1945 ble brukt mot Japan, ble produsert etter to forskjellige metoder. Den ene var å ekstrahere U235 fra naturlig uran ved hjelp av ultrasentrifuger, gassdiffusjon og elektromagnetisk separasjon med massespektrografer. Den andre var å produsere plutonium i uranreaktorer.

De tyske kjernefysikerne forsøkte også å benytte den første metoden med elektromagnetisk separasjon (Manfred von Ardenne), termisk diffusjon (Harteck, Clausius), ultrasentrifuger (Groth) og isotop-"sluser" (Bagge). Disse metoder ville imidlertid for å produsere tilstrekkelig mengder sprengbart materiale, ha krevet meget store fabrikker. Dette var vanskelig i krigens Tyskland. De tyske fysikerne var derfor henvist til å prøve veien om plutoniumproduserende uranreaktorer. De kalte selv denne veien: *Eine gerade Strasse zur Bombe.* Det ble forsøkt på en hel rekke delvis konkurrerende institutter spredt over hele Tyskland: Berlin, Hamburg, Leipzig, Heidelberg, Gottow, Stadtilm, Haigerloch osv. Denne virksomhet var basert på to typer råstoffer, uran og moderator, dvs. tungt vann. Disse fantes ikke i Tyskland og måtte importeres fra utlandet. Her kom de tyske erobringene i tidsrommet 1938–40 de tyske fysikerne til hjelp.

Uran

Et sentralt problem i det tyske atomenergiprosjektet var anskaffelse av uran. Etter den tyske okkupasjonen av Tjekkoslovakia i september 1938, kom uranbergverkene i Sankt Joachimsthal, de viktigste og eldste i Europa, under tysk kontroll. Tyske firmaer, i første rekke Auergesellschaft i Oranienburg utenfor Berlin, ble prioritert i utnyttelsen av denne situasjonen. Lederen av dette fremragende radiologiske firma var fysikeren Nikolaus Riehl, som hadde vært elev av Hahn og Meitner. Våren 1939 hørte han til de aller første som gjorde HWA oppmerksom på muligheten for en teknisk anvendelse av uranfisjonprosessen og tilbød derfor HWA Auergesellschafts tjenester.

Blandt det materiale som ble tatt i Belgien etter det tyske felttoget i mai 1940, var også store mengder av uranoksyd og natriumuranat. Det tilhørte det belgiske firma "Union Minière du Haut Katanga" som drev urangruver i Belgisk Kongo. Det beløp seg til ca. 3500 tonn, hvorav to tonn ble ført til Berlin. Her fikk Auergesellschaft en kontrakt med HWA om å produsere noen tonn raffinert uranoksyd. Da det ble ønsket å redusere dette oksydet til metallisk uran, hadde Auergesellschaft ingen fasiliteter for denne prosessen. Dette ble da overlatt til firmaet Degussa i Frankfurt, som hadde aksjemajoriteten i Auergesellschaft og stor reputasjon for å prosessere sjeldne metaller. Det var de to firmaene Auer og Degussa som forsynte de tyske kjernefysikerne med uran til deres reaktoreksperimenter under hele krigen.

Tungtvann

Det andre hovedproblemet for det tyske atomenergiprosjektet var anskaffelsen av tungt vann som moderatormateriale for uranreaktorer. Den eneste fabrikk i verden som på det tidspunkt hadde en industriell produksjon av tungt vann var Norsk Hydro på Vemork ved Rjukan i Telemark. Dermed ble Norge trukket inn som en viktig aktør i det tyske atombombeprogrammet.

Produksjonen av tungt vann på Vemork var resultatet av et imponerende ingeniørarbeid som før krigen ble utført av bl.a. professor Leif Tronstad og sjefsingeniør Jomar Brun. I perioden 1934–1938 hadde anlegget produsert 40 kg tungt vann, og i slutten av 1939 var produksjonen 10 kg pr. måned.

Etter at fysikerne i løpet av 1939 ble klar over moderatorer som nødvendige komponenter i kjernefysiske uranreaktorer, ble deres interesse rettet mot tungt vann. Den 15. januar 1940 skrev Harteck et vennlig brev til Heisenberg hvor han understreket at tungt vann var like nødvendig for prosjektet som uran, og foreslo at man skulle starte i Tyskland med fremstilling av tungt vann i stor målestokk. Men allerede den 4. januar 1940 hadde det vært et møte

på Diebners kontor i Berlin, hvor bl.a. Heisenberg, Wirtz og eksperten på tungt vann, professor Karl-Friedrich Bonhoeffer fra Leipzig, var til stede. Der spurte Diebner Heisenberg om han ville tilråde at man i Tyskland bygget et større anlegg for produksjon av tungt vann. Heisenberg anbefalte imidlertid ikke at man på dette tidspunkt satte i gang med en stor høyteknologisk produksjon av tungt vann før man hadde bestemt eksperimentelt en rekke grunnleggende kjernefysiske parametre. Her viste det seg for første gang et flere ganger tilbakevendende adferdsmønster hos Heisenberg under den annen verdenskrig. Mens andre deltagere i det tyske prosjektet ofte favoriserte hurtige løsninger og snarlige overganger til store eksperimenter, anbefalte Heisenberg å gå frem langsommere før mer grundige og systematiske undersøkelser var foretatt. Vitenskapshistorisk er denne tendens interessant for spørsmålet om Heisenberg i virkeligheten var genu int interessert i å produsere en tysk atombombe, eller om han, som f.eks. Edward Teller mente, delvis saboterte prosjektet.

I januar 1940, bare et par måneder før det tyske angrepet på Norge, fant en rekke møter og begivenheter sted i Frankrike og Norge. Den 14. januar 1940 hadde den franske bankmann og agent for *Deuxième Bureau* (Frankrikes *Secret Service*), Jacques Allier, et møte med juridisk direktør for Norsk Hydro, Bjarne G. Eriksen, som var i Paris i forretningsøyemed. Allier var på møtet som en offisiell representant for *Banque de Paris et des Pay-Bas* som hadde store finansielle interesser i Norsk Hydro. Eriksen fortalte Allier at man få dager tidligere hadde en representant for det tyske gigantfirmaet I.G. Farben, som eide 25 % av aksjene i Norsk Hydro, besøkt Hydros hovedkvarter i Oslo og kommet med et eiendommelig tilbud. I.G. Farben ønsket å kjøpe hele Hydros lager av tungt vann og foreslo at Hydros produksjon skulle tidobles slik at Tyskland kunne kjøpe ekstra 100 kg tungt vann pr. måned. Hydro hadde på det tidspunkt 200 kg tungt vann og produserte 10 kg pr. måned til rent vitenskapelig bruk.

En måned senere, den 14. februar 1940, hadde Allier et møte i Paris med den franske forsvarsminister Raoul Dautry og nobelpristageren Joliot-Curie. Allier var i tvil om hvorfor tyskerne absolutt ville ha oppkjøpsrett på tungt vann og spurte Eriksen som også var til stede, hva Eriksen hadde svart I.G. Farben. Eriksen svarte at han ikke ville la Hydro selge tungt vann før han hadde sjekket med eksperter hva dette måtte bety. Ekspertene forklarte Allier hva de mente tyskerne ville bruke det tunge vannet til, og Hydro bestemte at tyskerne skulle få det tunge vannet de allerede hadde bestilt, og så skulle eksporten til Tyskland stoppes. Allier var lettet.

Allier mente at man måtte få det tunge vannet ut av Norge så fort som mulig. I mars 1940 ankom Allier til Oslo og tok inn på den franske legasjonen. Han fikk en venn til å kjøre seg til Vemork hvor han møtte Hydros generaldirektør Axel Aubert som viste seg meget imøtekommende. Den 9. mars bestemte Hydro at 185 kg tungt vann fra Rjukan skulle sendes til Frankrike. Aubert ba Allier å hilse premierminister Éduard Daladier og si at Hydro ønsket ikke en "centime" i betaling før Frankrike hadde vunnet denne krigen. Videre skulle all fremtidig produksjon av tungt vann bli reservert for Frankrike.

Det er en dramatisk historie hvordan 26 kanner med tungt vann ble transportert fra Rjukan til Oslo, og den 12. mars fløyet til Montrose i Scotland og deretter via Edinburgh og den engelske kanal ankom Paris den 16. mars. Der ble de plassert i et bombesikkert rom i Collège de France.

Den 10. mai 1940 startet Tyskland sitt angrep på Frankrike. Etter noen uker brøt den franske frontlinjen sammen og tyske tropper nærmet seg Paris. Joliot Curie og hans medarbeidere ønsket å transportere det tunge vannet til England. Etter å ha blitt fraktet den 17. juni til Bordeaux, ble det tunge vannet, sammen med de to fysikerne Halban og Kowarski, den 21. juni ført på kulldamperen "Broompark" over kanalen til Falmouth Boads i England. Der ble det tunge vannet lagret, først i et fengsel, og senere i Windsor Castle.

Etter det tyske angrepet på Norge den 9. april 1940, og innmarsjen i Rjukan den 3. mai 1940, forandret selvfølgelig situasjonen seg til tyskernes favør. I slutten av september 1940 reiste Harteck, Wirtz og ingeniøren Erhard Schoepke fra Wehrwirtschaftstab Norwegen i Oslo, til Rjukan og tok opp forhandlinger med ledelsen i Norsk Hydro på Vemork. Dessuten deltok I.G. Farbenindustrie i møtene. Der lærte de at hele Norsk Hydros beholdning av tungt vann var evakuert noen uker før til Frankrike, og at Norsk Hydro bare var i stand til å produsere forsvinnende små mengder i overskuelig tid. – Tyskerne foreslo, og Norsk Hydro gikk med på det, at produksjonen av tungt vann på Vemork skulle økes ved en ekspansjon av elektrolyseanlegget til 1,5 tonn pr. år. I februar 1941 bekreftet Norsk Hydro at de etter utvidelsene skulle bli i stand til i 1941 å levere ett tonn tungt vann, og i de neste

årene å levere 1,5 tonn pr. år.

Men "samarbeidet" mellom Norsk Hydro og det tyske atomenergiprosjektet gikk av naturlige grunner alt annet enn knirkefritt. Blant annet ble leveransen av tungt vann langt fra den som var forlangt av tyskerne. Dette gjenspeilet seg i den årlige produksjon av tungt vann på Vemork frem til november 1943, da den stoppet på grunn av det allierte luftangrepet på Vemork. Produksjonen var:

1940 – 282 kg
1941 – 871 "
1942 – 1179 "
1943 – 487 "
Til sammen: 2,8 tonn.

Den 15. januar 1942 fikk Norsk Hydro ordre fra Wehrwirtschaft Norwegen om å sende Jomar Brun til Berlin for å diskutere mulighetene for å innføre på Vemork en ny tysk metode (isotoputbytningsmetoden) for produksjon av tungt vann. Det første møtet fant sted den 20. januar 1942 i Forschungabteilung I i Hardenbergstrasse 10, som var et militært kontor under ledelse av Oberregierungsrat Dr. Rasche fra HWA. På dette møtet deltok blant andre Diebner, Harteck, Jensen, Wirtz og Berlitz fra I.G. Farbenindustrie.

Tyskerne var fast bestemt på å innføre den nye metoden på Vemork, og forhandlingene dreiet seg vesentlig om problemene med å skaffe de nødvendige konstruksjonsmaterialene. Det ble bestemt at I.G. Farbenindustrie skulle ta seg av dette.

Etter en ukes forhandlinger i Berlin kom Jomar Brun tilbake til Vemork hvor han ble involvert i de nye produksjonsmetodene. I løpet av 1942 ble han i besittelse av teknisk detaljerte arbeidstegninger over alle sider av de nye metodene, og hvor de nye apparatene var plassert i fabrikken. Disse ble mikrofotografert og med kurerer sendt hemmelig over til Bruns samarbeidspartner, Leif Tronstad, som i oktober 1941 hadde etablert seg som en av lederne for Det norske Forsvarets Overkommandos kontor FO4 i London, som kaptein, og senere som major. Han hadde fra norsk side ledelsen av operasjonene mot den tyskdominerte industri i Norge og den tekniske veiledning vedrørende sabotasje, våpen og rekruttering og trening av personell til Kompani Linge.

Tungtvannsaksjoner

Basert på den informasjon som Jomar Brun og hans medarbeidere hadde bragt til England, begynte i 1943 en rekke omfattende allierte angrep på anleggene for tungt vann på Vemork. Disse "tungtvannsaksjonene" er vel dokumentert og detaljert behandlet i film og litteratur i ettertid. Rent sumarisk var forløpet:

Den 19. november 1942 ble to Horsa glidefly transportert med to Halifax bombefly og 34 spesielt trenede engelske commandos fløyet mot Norge. Det ene glideflyet havnet i vannet utenfor Stavanger. Det andre crashet sammen med transportsflyet i en fjellside utenfor Egersund. De overlevende, hvorav flere var hardt såret, ble fanget og skutt av det tyske Gestapo.

Den 16. februar 1943 landet en gruppe norske fallskjermsoldater fra England på Hardangervidda, og natten mellom 27. og 28. februar 1943 sprengte de etter en utrolig dristig operasjon anlegget for tungt vann på Vemork. Allerede i midten av april var anlegget reparert, men våren 1943 begynte tyskerne å se etter anlegg nærmere Tyskland som kunne tjene som fabrikker for produksjon av tungt vann. Aktuelle kandidater var Leuna anleggene til I.G. Farbenindustrie og de italienske Montecatini elektrolyseanleggene i Meran. Den 16. november 1943 ble Vemork og Rjukan bombardert av 140 amerikanske fly. Dette ledet til full stopp av Hydros produksjon av tungt vann. Tyskerne var reservert overfor tanken å bygge opp et sabotasjesikkert tungtvannsanlegg på Vemork, da det ville invitere de allierte til nye luftangrep som ville forstyrre Norsk Hydros ammoniakkproduksjon som var viktig for den tyske ammunisjonsindustrien.

Etter det amerikanske bombardementet besøkte Reichskommisar Terboven Vemork, og den 16. desember 1943 bestemte han at anlegget for tungt vann skulle nedlegges og det gjenværende utstyr sendes til Tyskland.

Den 20. februar 1944 ble fergen "Hydro" senket på Tinnsjø av norske sabotører. 27 av 53 personer ble reddet. Det er noe uklart hvor meget tungt vann som gikk tapt.

Tatt i betraktning at det på en konferanse den 4. juni 1942 i Berlin mellom de tyske kjernefysikerne og den politiske og militære ledelse, ble besluttet at man ikke skulle satse primært på en atombombe, men heller konsentrere kreftene om å konstruere en energiproduserende uranreaktor, har det vært hevdet at tungtvannsaksjonene på Rjukan i 1943 ikke var avgjørende for Tysklands mulighet til å produsere en atombombe. I den forbindelsen kan det imidlertid være riktig å sitere en av de tyske hovedaktørene, Diebner, som uttalte etter den an-

nen verdenskrig: *When one considers that right up to the end of the war, in 1945, there was virtually no increase in our heavy water stocks in Germany, and that for the last experiments early in 1945 there were in fact only two and a half tons of heavy water available, it will be seen that it was the elimination of German heavy-water production in Norway that was the main factor in our failure to achieve a self sustaining atomic reactor before the war ended. From early 1944, the lack of sufficient heavy-water dogged the German researches at every stage.*

∞

Fusjonsenergi og plasmafysikk

Odd Erik Garcia *

I det siste halve århundret har det pågått et stort internasjonalt forskningsprosjekt med formål å produsere kontrollert kjernefysisk fusjon hvor lette hydrogenisotoper smelter sammen og danner energetiske heliumkjerner og nøytroner. Denne prosessen vil kunne brukes til pålitelig fremstilling av emisjonsfri elektrisk energi i århundrer fremover. Nylig ble det vedtatt å bygge et stort internasjonalt forsøkseksperiment i Frankrike, ved navn ITER. I denne artikkelen presenteres status og utfordringer for fusjonsforskning basert på magnetisk innesperring.

Energikilden som driver sola og andre stjerner, og dermed også livet på jorda, er fusjon av lette atomkjerner. I denne prosessen frigjøres store mengder energi. I stjerner er plasmaet innesperret av det enorme gravitasjonstrykket. I laboratoriet kan vi bruke sterke magnetfelt til å holde på de elektrisk ladede partiklene i et smultringformet kammer, se forsidefiguren. Til venstre sees vakuumkammeret uten plasma, og til høyre sees stråling fra områder hvor plasmaet er i kontakt med veggene under en plasmautladning.

Etter utviklingen av hydrogenbomben ble det fort klart at fremstilling av kontrollert fusjonskraft til fredelige formål er en formidabel utfordring. Fusjonsforskningen ble derfor deklassifisert av stormaktene i 1958, og har siden vært kjennetegnet ved et utstrakt internasjonalt samarbeid.

*Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Tromsø

Fusjon og energi

Sammensmeltning av atomkjerner krever at de kolliderende partiklene har hastigheter som er store nok til at kjernenes frastøtende elektriske krefter overvinnes. Den reaksjonen som har størst sannsynlighet for fusjon involverer hydrogenisotopene deuterium (D) og tritium (T). Disse vil ved høye energier smelte sammen og danne en heliumkjerne (He) og et nøytron (n),

$$\mathrm{D} + \mathrm{T} \rightarrow \mathrm{He} + \mathrm{n}.$$

Heliumkjernen som dannes i reaksjonen vil ha en energi på 3,5 MeV mens nøytronet har en energi på 14 MeV. Isotopen tritium kan utvinnes ved reaksjoner mellom metallet litium (Li) og nøytroner,

$$\mathrm{Li} + \mathrm{n} \rightarrow \mathrm{He} + \mathrm{T}.$$

Rundt plasmakammeret i en fusjonsreaktor må det være en beskyttende kappe for å skjerme blant annet superledende magneter mot nøytronstrålingen. Denne kappen vil inneholde litium for lokal produksjon av tritium, som deretter brukes som drivstoff til fusjonsprosessene. Råstoffer for denne fusjonsreaksjonen finnes det rikelig av i naturen. Vann inneholder nemlig 30 mg deuterium per liter, og det finnes omtrent 60 mg litium per liter jordskorpe. I praksis betyr det at snaut 300 liter jord og 400 liter vann kan gi en energimengde som svarer til forbrenning av vel 300 000 liter olje, eller det en nordmann forbruker i løpet av hele livet.

En fusjonsreaktor vil ikke gi utslipp av drivhus-

gasser, men på grunn av nøytronstrålingen fra fusjonsprosessene vil den etterlate radioaktivt materiale. Dette er imidlertid mye mindre enn fra fisjonskraftverk, og etter omtrent 50 år vil radioaktiviteten ha falt til et nivå som ligger under det som finnes i slagget fra en tilsvarende energiproduksjon med kull. De fleste materialene fra et uttjent fusjonskraftverk vil kunne gjenbrukes i nye reaktorer, og det forventes ikke å være nødvendig med langtidslagring av radioaktivt materiale.

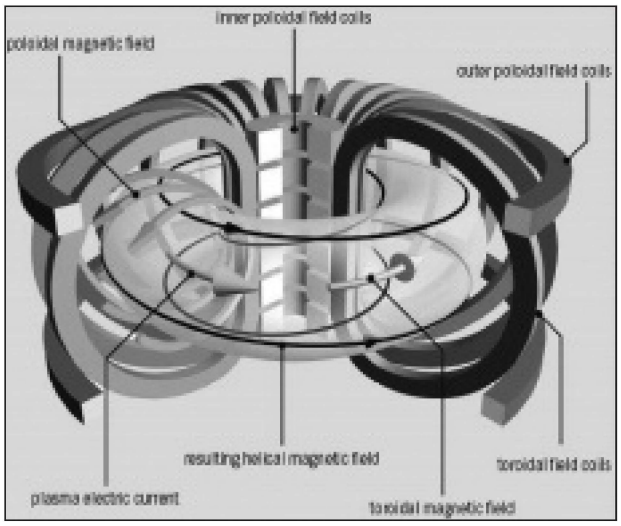
En annen fordel sammenlignet med fisjonskraftverk er at fusjonsprosessen ikke kan løpe løpsk. Fusjonsraten for deuterium og tritium har et maksimum ved omtrent 200 millioner kelvin. Ved høyere temperaturer avtar energiutviklingen og temperaturen vil falle tilbake til det normale nivået. Plasmaet i et fusjonskraftverk vil fylle et volum på omtrent 1000 m^3, men partikkeltettheten er relativt lav. Plasmaet veier kun et par gram og gir ikke drivstoff nok til mer enn ett minutts forbrenning uten eksternt påfyll. Hvis kontrollsystemene skulle svikte, eller andre uforutsette hendelser inntreffe, vil plasmaet umiddelbart kjøles ned på grunn av kontakt med materielle vegger.

For at fusjonsprosessen beskrevet ovenfor skal kunne produsere energi i en tilnærmet termisk likevektstilstand, må temperaturen være av størrelsesorden 100 millioner kelvin. Ved slike temperaturer vil alt stoff være i plasmatilstand, hvor elektronene er revet løs fra atomkjernene. Umiddelbare problemer forbundet med kontrollert termonukleær fusjon, er oppvarmingen av plasmaet til den enormt høye temperaturen, innesperringen av plasmaet og håndteringen av vekselvirkninger med materielle vegger i en reaktor. I de følgende avsnitt diskuteres disse utfordringene.

Magnetiserte plasma

I et magnetisk felt vil elektrisk ladede partikler gyrere på tvers av feltlinjene og strømme langs dem. Et plasma kan derfor innesperres ved hjelp av magnetiske felter. Det mest lovende konseptet for magnetisk innesperring av plasma er en geometri som kalles for en *tokamak*, illustrert i figur 1.

Et sterkt toroidalt magnetfelt dannes av eksterne strømspoler. Det smultringformede plasmaet utgjør en sekundærvikling i en transformator hvor den toroidale elektriske strømmen bidrar med en magnetfeltskomponent vinkelrett på torusen. Til sammen resulterer dette i en likevekt med heliske magnetfeltlinjer som vist i figur 1. Dette er den mest



Figur 1. Illustrasjon som viser den magnetiske geometrien for en tokamak. Eksterne strømspoler genererer et toroidalt magnetfelt mens transformereffekten bidrar med en poloidal magnetfeltskomponent.

lovende geometrien for en fusjonsreaktor, og det finnes i dag mange slike eksperimenter for grunnleggende studier av blant annet oppvarming og stabilitet av plasma.

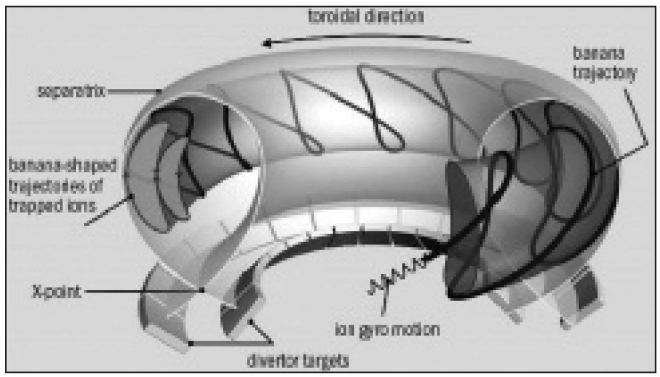
Et vedvarende problem i forsøk på magnetisk innesperring av plasma er tap av partikler og varme på tvers av magnetfeltlinjene til veggene. Dette skyldes to forskjellige mekanismer. Kollisjoner mellom elektroner og ioner fører til slik transport, men dette er normalt svært lite for varme fusjonsplasma i sterke magnetfelt. Det meste av transporten forårsakes av kollektive plasmabevegelser som igjen skyldes at den magnetiske likevekten er ustabil. Etter mange års forskning har man utviklet teoretiske modeller og eksperimentelle rutiner for å kontrollere de mest voldsomme plasmabevegelsene.

Senere forskning har resultert i betydelige forbedringer i innesperringsgraden blant annet ved hjelp av elektriske strømmer i plasmaet drevet av elektromagnetiske bølger. Teoretiske studier etterfulgt av detaljerte målinger har vist at dette er assosiert med formasjon av differensiell rotasjon av plasmakolonnen. De resulterende skjærstrømningene undertrykker kollektive bevegelser, og dermed turbulent transport på tvers av feltlinjene. Selv om de fysiske mekanismene ikke er fullt ut forstått, er slike forbedringer av innesperringen eksperimentelt reproduserbare og bektraktes som et standardscenario for fremtidige eksperimenter.

Hurtige ioners dynamikk

I en fusjonsreaktor vil plasmaet varmes opp hovedsakelig av de energetiske heliumkjernene som dannes i fusjonsprosessene. Nåværende eksperimenter opererer vanligvis med rene deuteriumplasma for å unngå akkumulering av radioaktivt tritium, og fokuserer på grunnleggende studier av blant annet magnetisk innesperring, ekstern oppvarming og plasma–vegg vekselvirkninger. Neste generasjon eksperimenter vil operere med en blanding av deuterium og tritium for å produsere fusjonsenergi og plasmaoppvarming fra heliumkjernene. I forberedelsene til fremtidige fusjonsforsøk er derfor studier av hurtige ioners dynamikk blitt et mer og mer sentralt emne.

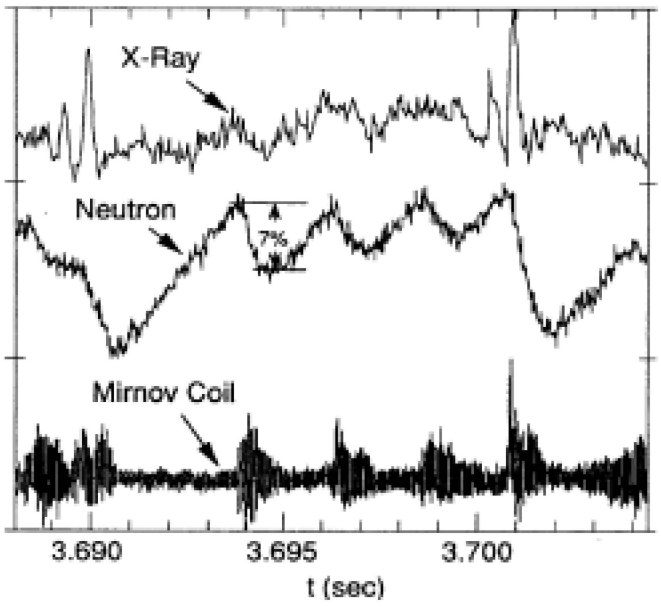
Plasma kan varmes opp ved å bombardere det enten med stråler av elektrisk nøytrale partikler eller med elektromagnetiske bølger. De hurtige ionene som dermed produseres har helt spesielle baner i plasmaet. Som illustrert i figur 2 består disse banene av hurtig gyrasjon på tvers av magnetfeltet,



Figur 2. Illustrasjon som viser driftbanene til hurtige ioner og avledning av de magnetiske flatene i en tokamak.

og en langsom drift som sveiper over store deler av plasmakolonnen. Når den resulterende partikkelbanen avbildes på et plan vinkelrett på torusen, har den en bananlignende form. Slike langsomme svingninger kan være i resonans med bølgemoder i bakgrunnsplasmaet. Det fryktes at dette kan føre til en omfordeling av de hurtige heliumkjernene i fusjonsreaktorer slik at plasmaoppvarmingen, og dermed fusjonsraten, reduseres betydelig.

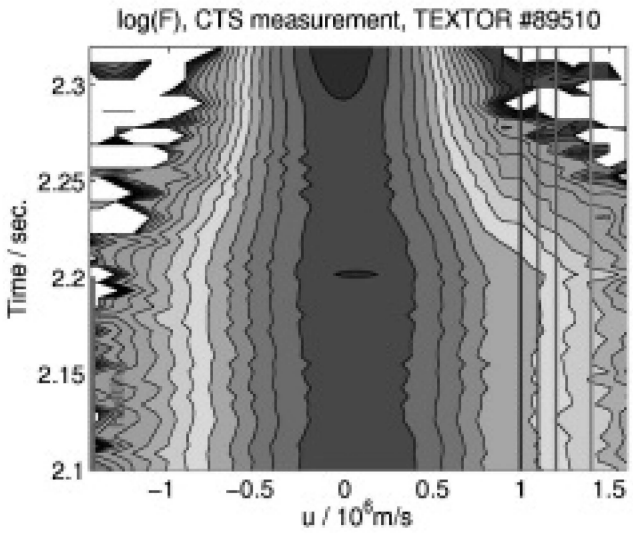
Målinger i eksternt oppvarmede plasma i den amerikanske TFTR-maskinen, har vist sterke indikasjoner på anomalt tap av de hurtige ionene og reduksjon av fusjonsprosessene. Et instrument som måler nøytronfluksen fra maskinen har vist sterke svingninger i fusjonsraten, som presentert i figur 3. Reduksjonen i nøytronstrålingen



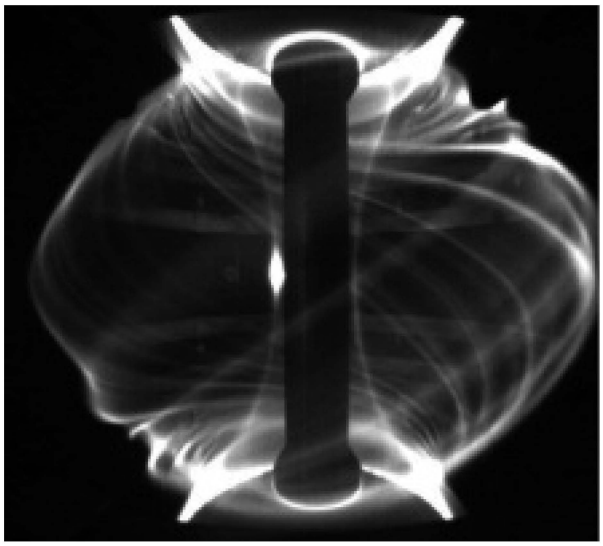
Figur 3. Målinger av røntgenstråling, nøytronfluks og magnetfeltsaktivitet under sterk ekstern oppvarming av plasma i den amerikanske TFTR-tokamaken.

samsvarer med fluktuasjoner i magnetfeltet som forventet fra bølgemodene i plasmaet. Samtidig viser røntgenstrålingen at der ikke er tilsvarende svingninger i bakgrunnsplasmaet. Fortolkningen av disse målingene er derfor at vekselvirkninger med bølgemoder i plasmaet fører til at de hurtige ionene omfordeles, plasmaoppvarmingen reduseres, og fusjonsprosessene avtar. På grunn av en betydelig ekstern oppvarming i dette eksperimentet gjenopprettes fusjonsprosessene og periodiske svingninger oppstår. Å unngå slike anomale tap og kontrollere de hurtige ionene, er et av de viktigste målene for de kommende fusjonsforsøkene.

For å kunne studere de hurtige ionenes dynamikk, er det viktig å ha gode diagnostikker. Nylig er det utviklet et avansert system for å måle ionenes hastighetsfordeling ved bruk av mikrobølger. Denne metoden registrerer fluktuasjoner i elektronskyen rundt de hurtige ionene. Et eksempel på resultat fra slike målinger på TEXTOR-eksperimentet i Tyskland, er presentert i figur 4. Her vises hvordan hastighetsfordelingen til de hurtige ionene relakserer til det termiske bakgrunnsnivået når den eksterne oppvarmingen slås av etter 2,2 s. I dette tilfellet avtar hastigheten til de hurtige ionene i meget god overensstemmelse med teoretiske beregninger basert på partikkelkollisjoner. Denne målemetoden vurderes nå installert på neste generasjons fusjonseksperimenter.



Figur 4. Tidsutviklingen av ionenes hastighetsfordeling i et eksperiment på den tyske TEXTOR-maskinen hvor den eksterne oppvarmingen slås av etter 2,2 sekunder.



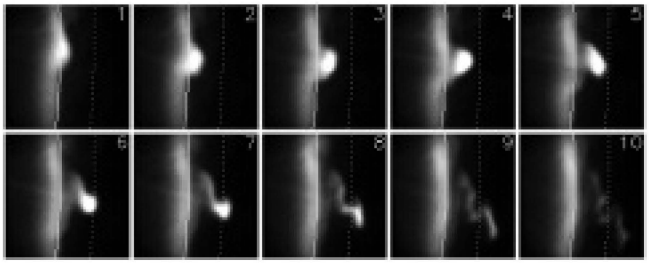
Figur 5. Vidvinkelbilde av filamenterte plasmastrukturer i randen av det engelske MAST-eksperimentet. Disse strukturene følger de lokale magnetfeltlinjene rundt i maskinen.

Plasma–vegg vekselvirkninger

Et annet betydelig problem for fremtidige fusjonsreaktorer er vekselvirkningen mellom det varme plasmaet og materielle vegger. For å kontrollere utslipp av partikler og varme vil man avlede magnetfeltet ute ved randen av plasmaet, som vist i figur 2. Den magnetiske geometrien har derfor et X- punkt, og utenfor dette treffer feltlinjene såkalte avledningsplater. Her skal vekselvirkningene kontrolleres blant annet ved hjelp av lokale skyer med nøytrale partikler. Dette vil gi en betydelig reduksjon av plasmatemperaturen ute ved randen, og en del av energitransporten skjer gjennom stråling. På denne måten kontrolleres plasma–vegg vekselvirkningene slik at sterk oppvarming av vakuumkammeret, måleinstrumenter og bølgeantenner unngås. I dette avledningsvolumet vil også heliumasken fra fusjonsreaksjonene pumpes ut under eksperimentene.

Men det er fremdeles mange problemer forbundet med partikkel- og varmefluksene ut av plasmaet. Ett av dem er at randplasmaet har vist seg å være meget ustabilt, noe som ofte fører til store og gjentatte varmeflukser ut av plasmaet. Vidvinkelbildet fra et eksperiment på MAST- maskinen i England, figur 5, viser at der er strukturer med høyt trykk som er strukket ut langs magnetfeltlinjene. Sterk stråling fra vekselvirkninger mellom plasmaet og veggene ses i bunnen og i toppen av maskinen, hvor feltlinjene treffer avledningsplatene. For å håndtere de store varmefluksene som slik transport gir, vurderes det å bygge disse platene av karbonfiber i fusjonsreaktorer. Karbon er nemlig et veldig gunstig materiale siden det ikke har noen væskefase. I motsetning til metaller, kan det derfor ikke smelte ved store varmeflukser. Men i likhet med metaller kan urenheter løsne fra platene, og karbon har en sterk tendens til å holde på tritium. Karbonvandring i reaktorene vil derfor føre til at radioaktivt tritium gjemmer seg i selv de mest utilgjengelige områder av kammeret. Bruken av karbon på overflater i kontakt med plasmaet, må derfor reduseres til et absolutt minimum.

En annen utfordring for fremtidige reaktorer er transport av partikler og varme til kammerveggene i maskinene. Det har nemlig vist seg at turbulente strømninger fører til transport på tvers av magnetfeltlinjene i alle magnetiske geometrier og innesperringsregimer. Et typisk eksempel på radiell bevegelse av små strukturer med høyt trykk i det amerikanske NSTX-eksperimentet er vist i figur 6.



Figur 6. Målinger av lokaliserte strukturer som beveger seg på tvers av magnetfeltet i randen av det amerikanske NSTX-eksperimentet.

Disse bildene viser strålingen fra plasmaet sett på tvers av magnetfeltlinjene i randområdet. De er registrert av et høyhastighetskamera med en eksponeringstid på 2 μs og som kan ta 100 000 bilder i sekundet. Hver ramme i denne figuren har en størrelse på 23×23 cm. Den radielle hastigheten til strukturene er opp mot en tidel av den akustiske hastigheten som er karakteristisk for plasmaets bevegelse langs magnetfeltlinjene. Avstanden langs feltlinjene til avledningsplatene er flere titalls meter, mens den radielle bredden av randlaget bare er noen få centimeter.

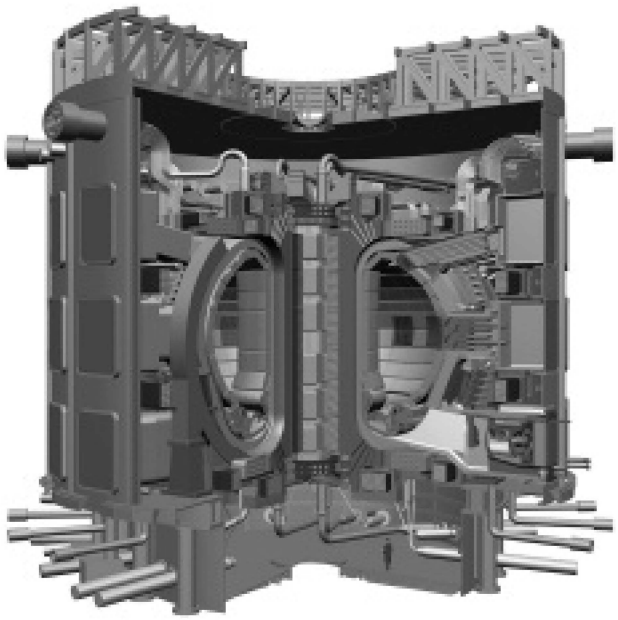
Turbulente bevegelser kan altså føre til betydelig transport av plasma og varme til veggene. Dette resulterer i erosjon av veggmaterialene og utslipp av urenheter som videre kan medføre store energitap på grunn av stråling i plasmakjernen. Det vurderes nå å bruke wolfram og beryllium til kammerveggene i neste generasjons eksperimenter da disse metallene tåler store varmeflukser. Men dannelsen av forskjellige legeringer samt vekselvirkninger med karbon, kan endre disse metallenes egenskaper. Materialforskning er derfor en integrert del av fusjonsprogrammet, og flere av de største eksperimentene brukes nå til å utprøve forskjellige veggmaterialer for fremtidige reaktorer.

ITER og veien fremover

Sommeren 2005 vedtok EU, Japan, Kina, Russland, Sør- Korea og USA å gå sammen om å bygge og utnytte et fusjonsforskningseksperiment ved navn ITER, som på latin betyr *veien*. Senere har også India sluttet seg til samarbeidet, så vel halvdelen av verdens befolkning er nå representert i denne vitenskapelige bestrebelsen. Det ble senere vedtatt at ITER skal bygges i Cadarache i Frankrike, med byggestart neste år. Konstruksjonen vil ta 10 år og koste omtrent 40 milliarder kroner. Utnyttelse over de følgende 20 år og deretter avvikling, vil koste ytterlige 40 milliarder kroner. De første eksperimentene på ITER ventes å begynne i 2016.

Det formelle hovedmålet med ITER-eksperimentet er å demonstrere den vitenskapelige og teknologiske gjennomførbarheten av fusjonskraft for fredelige formål. Mer spesifikt skal ITER påvise forlenget produksjon av fusjonskraft i deuterium–tritiumplasma med en kraftforsterkningsfaktor på 10, slik at det meste av plasmaoppvarmingen kommer fra fusjonsprosessene selv. Videre skal ITER implementere og teste viktige teknologier og prosesser for fremtidige fusjonsreaktorer. Dette inkluderer superledende magneter, materialkomponenter som tåler de store partikkel- og varmefluksene ut av plasmaet, og fjernstyring av ekstern oppvarming, diagnostikker, osv. Til sist skal ITER utvikle og teste metoder for lokal produksjon av tritium i kappemoduler som inneholder litium.

En illustrasjon av ITER-eksperimentet er presentert i figur 7. Plasmakammeret vil ha en indre radius på 2 m, en ytre radius på 6 m og en høyde på 4 m. Superledende magneter vil generere et toroidalt magnetfelt med styrke på over 5 T. Hele maskinen vil derfor være omsluttet av en kryostat med en temperatur på 70 K som danner et sekundært vakuumkammer. Den elektriske strømmen i plasmaet vil være på mer enn 10^7 A, og avledningsplatene skal tolerere varmeflukser på over 10^7 W/m^2. ITER vil være en størrelsesorden større enn de største nåværende eksperimenter, og det er bred enighet i forskermiljøene om at man nå er klar for dette neste steget.



Figur 7. Illustrasjon av ITER-eksperimentet som viser vakuumkammeret, kappemodulene, den sentrale solenoiden, kjølesystemer og oppvarmingantenner. Legg merke til referansepersonen nederst i bildet.

Den fusjonsenergi som vil produseres i ITER skal ikke utnyttes til produksjon av elektrisk energi. ITER skal bare brukes til vitenskapelige og teknologiske studier av mangetisk innesperring og av veggmaterialer. Forsøksanlegget skal utvikle en effekt på 5×10^8 W, som svarer til et alminnelig energikraftverk. Pulslengdene i ITER skal vare opptil 10 minutter. Halvveis gjennom forsøksfasen med

ITER, det vil si om 20 år, er planen å bygge en prototyp på et fusjonskraftverk. En demonstrasjonsreaktor vil i så fall kunne stå klar om vel 30 år, og en virkelig kommersiell utnyttelse av fusjonsenergi kan tidligst begynne om ca. 40 år.

Produksjon av elektrisk energi ved termonukleær fusjon har mange lovende utsikter. Der finnes rikelig og geografisk spredt råstoff, der er ingen utslipp av drivhusgasser, og det radioaktive avfallet har meget kort halveringstid. Ulempene er først og fremst at det er svært kostbart og tidskrevende å utvikle den nødvendige teknologien. Det ligger fremdeles mange utfordringer og mye spennende forskning på veien til en slik nærmest uuttømmelig energikilde.

Videre lesnad

1. Gerhard Berge: *Fusjonsenergi - Energikjelda som ikkje tek slutt.* Fra Fysikkens Verden **49,** Nr. 1, 5-11 (1987)
2. Hans Pécseli: *Plasmafysikk.* Fra Fysikkens Verden **53,** Nr. 4, 86-91 (1991)
3. R.A. Pitts, R. Buttery and S. Pinches: *Fusion: the way ahead.* Physics World, Mars (2006)
4. T.K. Fowler: *The fusion quest.* Baltimore, Maryland: The John Hopkins University Press (1997)
5. Internett: *www.iter.org*
6. Internett: *www.efda.org*

∞

Fysikk i skolen

Sluttmerknad om arbeid og energi

Vi er enig med Geir Arge (FFV nr. 3/2007) om at det er viktig at skolefysikken blir klar og motsigelsesfri for våre elever. Det betyr at det er viktig hvordan vi definerer våre begreper. Vi har gjort rede for to mulige definisjoner av arbeid, *angrepspunktmodellen* og *tyngdepunktmodellen* (FFV nr. 2/2007). Vi gjorde ikke noen hemmelighet av at vi foretrekker tyngdepunktmodellen og mener at den er en enklere og klarere modell. Arge argumenterer for angrepspunktmodellen, ikke bare som en alternativ definisjon, men som den *riktige* definisjonen.

Som en mantra gjentar Arge at arbeid er energioverføring fra en gjenstand til en annen. Til støtte for sitt syn trekker han frem en rekke engelskspråklige autoriteter som alle bruker begrepet *energy transfer.* Arge oversetter "energy transfer" med *energivoerføring fra en gjenstand til en annen,* og understreker flere ganger at energy transfer ikke inkluderer energiomforming. Arges konklusjon står og faller med definisjonen av arbeid og av begrepet energy transfer. Blant annet bruker han sin forståelse av energy transfer i et eksempel med en akselererende bil. Han hevder at resultantkraften som akselererer bilen, ikke gjør noe arbeid ettersom angrepspunktet er momentant i ro. Videre at det aldri kan være snakk om arbeid ettersom det er bilen som omformer egen kjemisk energi til egen kinetisk energi.

La oss se nærmere på én av Arges autoriteter, John Ogden, som er redaktør av det britiske dugnadsprosjektet *Advancing Physics,* heretter kalt *APhy.* Prosjektet involverer en stor gruppe fysikere fra ulike nivåer i det britiske fysikersamfunnet. Siden resultatet, læreboken *APhy,* kan betraktes som et konsensusprodukt, er vi enig med Arge i at læreboken blir en tungtveiende autoritet (selv om den som alle lærebøker må gjøre kompromisser i balansegangen mellom fagfysikk og didaktisk popularisering). På side 116 i *APhy* (2000) behandles nettopp den akselererende bilen:

The kinetic energy is the energy the car has when going with velocity v. To calculate how much this is, you need to know how much energy was put in as it speeded up. That is, you need to know what force accelerated it and over what distance the force acted. Then the energy going from fuel burning with oxygen to the motion of the car is:
Energy transferred = work done = force x distance.

Dette er det eneste stedet hvor det fysikkverket som Arge refererer til, tar opp definisjonen av mekanisk arbeid. Vi er litt overrasket over å finne at Arges autoritet er uenig med Arge i flere aspekter ved dette eksemplet. *APhy* er uenig i den snevre tolkningen av "energy transfer", og *APhy* er uenig i at de akselererende kreftene ikke utfører noe arbeid på bilen. En "googling" på energy transfer gir mer støtte for en bredere forståelse av begrepet energy transfer til å omfatte eksempler som den akselererende bilen, trappegjengeren og så videre.

Vi mener ikke at saken blir avgjort bare ved å veie autoriteter mot hverandre, men når Arge har hengt så mye av sitt resonnement nettopp på sin forståelse av autoritetenes bruk av begrepet energy transfer, bortfaller en viktig del av hans begrunnelse for å bruke angrepspunktmodellen.

Den andre delen av begrunnelsen handler om hva som er rimelig fra et fysikkdidaktisk synspunkt. Det er jo dét spørsmålet vi fysikklærere må ta stilling til. Angrepspunktmodellen fokuserer på energioverføring mellom en gjenstand og dens omgivelser. Dette er ofte meget vanskelig å ta stilling til. Tenk på en bil som bremser med rullende eller med låste hjul, eller som kolliderer med en fjellvegg. Et fullstendig energiregnskap ville jo måtte innbefatte seismologiske målinger!

Energi ligger på et høyere abstraksjonsnivå enn kraft. Richard Feynman sier: *It is important to realize that in physics today, we have no knowledge of what energy is.* Likevel vil Arge definere begrepet arbeid ved hjelp av begrepet energi. Det er jo et skoleeksempel på hva man kaller *obscurum per obscurius*, å bekjempe tåke med tettere tåke.

Vi mener det er enklere å definere arbeid ved hjelp av det konkrete begrepet kraft. Feynman sier: *We may ask 'why' we want to calculate the work done. The answer is that it is interesting and useful to do so, since the work done on a particle by the resultant of all the forces acting on it is exactly equal to the change in kinetic energy of that particle. That is, if an object is being pushed, it picks up speed, and*

$$\Delta(v^2) = \frac{2}{m}\vec{F} \cdot \Delta\vec{s}.$$

Så enkelt kan det gjøres!

Jan Pålsgård og Christian Callin

∞

Mer om arbeid og energi

I Geir Arges artikkel "Problem i undervisningen om energi" (FFV nr. 3/2007), har han tolket det siste leddet i likning (4), friksjonskraft ganger tyngdepunktets tilbakelagte strekning, som rotasjonsenergi. Dette er imidlertid en unaturlig tolkning siden verken friksjonskraften eller tyngdepunktets tilbakelagte strekning har noe med rotasjonsenergi å gjøre.

Dette eksempelet dreier seg om en kule som triller nedover et skråplan. Å analysere slike problemer bare ved hjelp av krefter og energi gir ikke en utfyllende innsikt. Betraktninger basert på kraft og energi må suppleres med analyse som benytter kraftmoment, treghetsmoment og spinnlikningen for å oppnå bedre forståelse av hva som skjer.

For eksempel virker det paradoksalt ut fra angreps punktmodellen at bevegelsesenergien til en bil som akselererer på et horisontalt underlag øker til tross for at friksjonskraften ikke gjør noe arbeid fordi angrepspunktet, bilhjulenes kontaktpunkt med bakken, ikke har noen forflytning.

På den annen side virker jo også tyngdepunktmodellen kunstig i et slikt eksempel, siden vi vet at friksjonskraften ikke angriper i tyngdepunktet, slik at det å tolke friksjonskraft ganger tyngdepunktets forflytning som arbeid egentlig er ganske uforståelig. Som sagt, her må det suppleres med en betraktning basert på spinnlikningen anvendt på bilhjulene for å forstå hva som skjer. I slike kompliserte situasjoner strekker verken angrepspunktmodellen eller tyngdepunktmodellen til. Fysikeren må bruke alle tilgjengelige, relevante deler av mekanikken. Grovt kan man si at tyngdepunktmodellen egner seg godt til å beskrive legemets energi, mens angrepspunktmodellen supplert med spinnlikningen egner seg godt når det gjelder arbeid.

Uansett er det å formidle en god og rimelig komplett forståelse av dynamikken til en kule som triller ned et skråplant, en fin utfordring.

Øyvind Grøn

∞

Kommentar

Nye realfag i videregående skole

I FFV nr. 3/2007 beskriver Anders Isnes det nye programfaget Geofag og forsvarer dets plass i skolen. Problemet med Geofag og andre "sekundærfag" (til en viss grad gjelder dette også biologi) er at det for elever som ønsker å studere disse fagene på universitetsnivå ofte er en blindvei å ta dem som fag i den videregående skolen. Dette fordi elevene ved å ta disse i VGS ikke får mulighet til å oppnå tilstrekkelig bakgrunn i grunnlagsfagene matematikk, fysikk og kjemi til å kunne gjennomføre et universitetsstudium nettopp i disse sekundærfagene. Nå er foreløpig de *formelle* kravene til grunnlagsfagene lave ved norske universiteter, men skal norske elever studere realfag utenfor Norge møter de strengere krav. Bare for å ta et nært og typisk eksempel: Ved Københavns universitet

er det et absolutt krav for opptak til samtlige realfagstudier, inklusive biologi og geofag, at studenter med norsk VGS har 3MX, 2FY og 3KJ. For bachelorprogrammene i fysiske og kjemiske fag, også 3FY, i enkelte programmer kan kravet om 3KJ erstattes av 2KJ og et fire-ukers intensivt forkurs i sommerferien før studiestart. Se *http://studier.ku.dk/optagelse/optagelsespjece2008* og *http://www.ciriusonline.dk* for de spesifikke krav til danske fagnivåer og hvordan norske R94-betegnelser oversettes til dem. Tilsvarende krav har de fleste universiteter utenfor Norge funnet det naturlig å sette. Man lærer basisfagene i videregående skole for å ha en basis for å kunne lære sekundærfagene på universitetet. Er det fornuftig at vi stiller oss utenfor? Eventuelt burde det være mulig å ta fire realfag på høyeste nivå i VGS, det er det i de fleste land vi sammenligner oss med.

Per B. Lilje

∞

Svar fra Anders Isnes

Jeg er enig med Per B. Lilje i at vi trenger gode fagkunnskaper i matematikk og fysikk for en rekke studier i universitets- og høgskolesektoren. I Norge i dag er det noen steder spesielle krav for opptak til studier, mens andre steder bygger kurs på oppgitte fag og nivåer fra videregående skole. Selv om programområdet for realfagene heter studiespesialiserende programområde, er disse fagene i dag også ment å være allmenndannende fag. De fleste av de som velger fysikk i videregående skole, studerer ikke dette faget eller liknende fag i høyere utdanning seinere. De ønsker å studere fagene for å ha det som ballast i andre studier, eller fordi det gir ekstra poeng inn i høyere utdanning.

Er så det å velge geofag eller teknologi og forskningslære, for å ta med de to nye realfagene, en blindvei for elevene? Det er avhengig av bredden i de fagvalgene elevene gjør og hvilke fag de kombinerer. Tilbudet har blitt bredere, men god studieveiledning bør veilede elevene inn mot de fagene de trenger for videre studier. Med det regelverket vi har for Kunnskapsløftet, kan elever på Vg2 få plass til hele 4 realfag, dersom de ønsker å være "ekte" realister. De kan for eksempel velge fysikk, matematikk og kjemi, og dessuten få plass til geofag eller biologi, eller teknologi og forskningslære. De som velger slik, vil riktignok komme opp i 32 undervisningstimer per uke, men det hadde mange elever i den gamle ordningen også. Studieveiledning er svært viktig mht. å velge fornuftig i forhold til videre studier, men vi må ikke la det som er gode studievalg for noen, styre fagtilbudet til alle de som kan tenke seg å studere såkalte "sekundærfag". Disse fagene kan tjene som interessevekkere for elever som kanskje ikke hadde til hensikt å studere realfag i videregående skole.

Anders Isnes
Leder av Naturfagsenteret

∞

Bokomtaler

Eirik Grude Flekkøy: Sandslott og flodbølger. Den fantastiske fysikken omkring oss. J.W. Cappelens Forlag, 2006. ISBN-13: 978-82-02-25671-5 (148 sider) 359 kr.

Smakebiter som gir mersmak

Jeg er nettopp ferdig med å lese ei bok som er den aller beste reklame for faget fysikk. Det var fornøyelig og en ren nytelse å lese *"Sandslott og flodbølger. Den fantastiske fysikken som omgir oss"*, av Eirik Grude Flekkøy. Dette er en herlig trykksak med vakre bilder og lettfattelige skisser og tegninger. Boka er overkommelig, for den tar kun for seg utvalgte fenomener som blir enkelt og mesterlig forklart. Den bekrefter at det virkelig spennende i denne verden er den mangfoldige naturen som omgir oss. Fysikkens oppgave er å forklare det vi sanser, ved å finne fram til de prinsipper som vi kaller fysikkens lover.

Dette er kvalitativ fysikk på sitt aller beste, for her unngår en bruken av matematikk på et pedagogisk beundringsverdig vis. Boka handler i grunnen om hverdagslivets fysikk. Og den viser at for den som opplever verden med nyfikenhet og oppdagerglede, er her så mangt å undres over. Det er slett ikke nødvendig å ty til eksotiske ting som relativitetsteoriens svarte hull eller kvantemekanikkens partikkel/bølge-dualitet for å finne "skrinet med det rare i".

Her finner vi svaret på hva som skjer når tyngde kraften kjemper mot andre naturkrefter. Det gjelder høyden på fjell og hvorfor katter greier seg med ni liv. Vi skjønner også at det er nokså tvil-

somt å fastslå at insekter er så mye sterkere enn oss mennesker bare fordi de kan løfte mye mer enn sin egen kroppsvekt. Fra fysikken i denne boka forstår en også at det slett ikke er sant når det hevdes at glasset ikke er fullt før det renner over.

Vi får den enkle forklaringen på at himmelen er blå, at solnedgangen er rød og hvorfor regnbuen har sine vakre farger. Her savner jeg virkelig en figur som viser den lysgangen i regndråpene som gir opphav til den sekundære regnbuen. Likeledes kunne det vært spandert en figur der det blir gjort rede for fargespillet i bensinsøl. Her er et ordentlig kapittel om det aktuelle fraktalbegrepet. Da forstod jeg hvorfor jeg synes det er så lett å tegne naturtro trær. Jeg fattet også hvorfor todimensjonale hunder må få fordøyelsesbesvær.

Her lærte jeg også at en gardbruker kan være nokså trygg om siloen er fylt av vann. Men den samme siloen kan faktisk briste om den blir fylt med korn. Det sies at det er farlig å bygge sitt hus på sandgrunn. Forfatteren lærer oss at det er vel så risikabelt for bygningen om tomta består av kvikkleire. Jeg var også glad for den fine utgreiingen av hva det kommer av at elver graver i yttersvingene sine og legger fra seg materialet i innersvingene. Jeg fant også en begrunnelse som var vidunderlig i all sin enkelhet, for hvordan en blanding av små og store korn vil separeres når blandingen blir utsatt for vind eller tyngdekraft. Leseren får en utmerket forklaring på metallers blankhet og farge.

Det er virkelig morsomt at verden er slik innrettet at noen få byggesteiner og spilleregler gir oss hele mylderet av de forskjelligste naturopplevelser. Men helheten inneholder jo noe mer enn de enkelte delene. Vi kan stelle i stand de mest besynderlige mønstre og kompliserte sammensetninger. Naturen er så gavmild at alt som ikke er skikkelig forbudt, blir realitet.

Jeg har knapt noe å utsette på denne fine boka. Det er bare å pøse på med positive superlativer når karakter skal settes. Disse lettfattelige betraktningene griper det vesentlige. En ubetydelig innvending må være at det egentlig ikke var Galileo Galilei som først observerte ringene rundt Saturn. Det var Christian Huygens som i 1655 greidde å skjelne disse ringene fra planeten selv. Men så hadde han da også et bedre teleskop enn Galilei, som forundret måtte nøye seg med å erklære at Saturn så ut til å ha to utvekster på hver side som hankene på ei gryte.

Jeg synes også at forklaringen på at månen har bunden rotasjon er noe mangelfull. Egentlig var det ikke indre friksjon i deformasjonen skapt av tidevannskraften fra jorda som bremset rotasjonen til månen. Denne friksjonen bevirket at månen dro med seg deformasjonen i rotasjonsbevegelsen sin. Derfor pekte ikke denne deformasjonen direkte mot jorda. Dermed kunne tyngdekrafta fra jorda gripe tak i deformasjonen og utøve et ytre kraftmoment på månen. Nettopp dette kraftmomentet forandret spinnet til månen inntil den som nå, alltid vendte samme side mot jorda.

"Cognito, ergo sum", hevdet Descartes. Tar vi utsagnet på alvor, så er vel sørgelig mange mennesker uten eksistensberettigelse. Boka til Eirik Grude Flekkæy er ikke lektyre for det sløve mennesket som kvier seg for å bruke sine sanser og sin tenkeevne. Det er ei enestående bok for den som har bevart sin barnlige nysgjerrighet og sitt naturlige vitebegjær.

Henning Knutsen

∞

Øyvind Grøn og Sigbjørn Hervik: Einstein's general theory of relativity. With modern applications in cosmology. Springer, 2007. ISBN-13: 978-0-378-69199-2 (538 sider) $ 109,–.

Detta har vi venta på så lenge!

Kurset for Einstens mesterverk, den generelle relativitetsteorien, har nå eksistert i en respektabel mannsalder ved Universitetet i Oslo. Den flittige fysiker Øyvind Grøn har undervist dette kurset mesteparten av denne tiden. Han har hatt rikelig med tid til å finne fram til hvordan dette vanskelige stoffet skal presenteres på best mulig pedagogisk vis. Øyvind er også en iherdig og våken vitenskapsmann som vet hvor forskningsfronten til enhver tid befinner seg.

Endelig kommer stoffet fra forelesningene ut i bokform, og det var sannelig på tide. Men disse forelesningsnotatene har bare tjent som en slags innledning og grunnstamme for den nye boka: *Einstein's general theory of relativity. With modern applications in cosmology.* Øyvind har skrevet og publisert den sammen med Sigbjørn Hervik, og der har han fått med seg en særdeles produktiv forsker. Det er med vemod jeg må meddele at kurset på Blindern etter hvert er blitt konsentrert og redusert til det absolutte minimum av det forsvarlige. Så får en til gjengjeld glede seg over at den teksten som nå foreligger, er omfangsrik, solid og fullverdig. Ivrige

studenter som ikke vil nøye seg med det magre grunnkurset, har nå en helt moderne tekst å arbeide videre med.

Jeg vil framheve at boka er oversiktelig og brukervennlig. Her er ikke bare teoristoffet delt opp i kapitler med underavdelinger, men eksemplene og oppgavestoffet har også begge fått sine egne lister med stikkord og overskrifter. Dermed blir det svært lett og tidsbesparende når en skal finne fram til det stoffet en til enhver tid er opptatt av og interessert i.

Einsteins spesielle relativitetsteori forteller at informasjon ikke kan bre seg raskere enn lysfarten i vakuum. Men Newtons gravitasjonsteori tar for gitt at gravitasjonsvirkning skjer momentant, uansett avstand. Denne skarpe motsetningen var en vesentlig motivasjon da Einstein skapte en ny teori for gravitasjon. Da er det jo heller ikke mer enn rett og rimelig at denne læreboka starter med to vakre 20-siders kapitler om dette grunnlaget som Einstein måtte erstatte.

Deretter følger mer enn hundre sider med avskrekkende og abstrakt matematisk stoff som dessverre er ganske nødvendig ballast for å tilegne seg det språket generell relativitetsteori uttrykker seg i. Her mener jeg bestemt at det vil være helt nødvendig for studenten å lese hvert eneste eksempel grundig. Han bør tenke på og streve med hvert eneste oppstilte problem han støter på. Bare da kan disse matematiske begrepene og relasjonene bli kjente og kjære. Heldigvis er de fleste oppgaver skrevet slik at svaret er gitt. Her skal jeg også få bemerke at en streng matematiker nok vil steile over at fundamentalteoremet for variasjonsregning blir betraktet som opplagt. En burde vel også ha gitt et argument for at en uten videre kan bytte rekkefølgen på derivasjon og variasjon av en størrelse.

Mange vil nok føle den matematiske turen som en slitsom ferd i mørke og tåke gjennom krattskog og villnis der en kan styrte utfor stupbratte skrenter og må hamle opp med ukjente og livsfarlige villdyr. Men når en endelig ser lys i denne tunnelen, er en også i besittelse av det redskap som trengs for å høste grøde på relativitetsteoriens marker.

Forretten blir så servert på sølvfat. Det er presentasjonen av Einsteins feltlikninger. Deretter følger nærmest en aperitiff når disse likningene blir linearisert slik at en kan si litt om de høyst aktuelle gravitasjonsbølger. Kapitlet om svarte hull er ikke bare en appetittvekker, for den eksakte utledningen av Kerr-metrikken for roterende svarte hull er en sjelden lekkerbisken.

Selve hovedretten representerer alt det fine stoffet om kosmologi. Det gjenspeiler selvsagt at det er på dette feltet begge disse forskerne har hatt sin mest betydelige virksomhet. Det er ypperlig at vi ikke bare får servert de homogene og isotrope universmodeller der materien er en perfekt væske, men også modeller som bryter begge disse symmetrier og dertil kan besitte vakuumenergi.

Kapitlet om metoden til å skjøte sammen metrikkene for to forskjellige løsninger av feltlikningene tror jeg er ganske enestående for denne læreboka. Kapitlene om braner og Kaluza-Klein-teori er vel tatt med for å gjøre teksten hypermoderne. Det gjenstår å se om dette stoffet vil tåle tidens tann. Det vil gjerne forbli teoretiske utlegninger og spekulasjoner uten rotfeste i solide observasjonelle bekreftelser.

Jeg kan bare konkludere med at Øyvind Grøn og Sigbjørn Hervik har levert ei grundig og solid lærebok. Den bør ikke bare bli lest av viderekomne studenter. Mange fysikere som har sin virksomhet ved videregående skoler, høgskoler eller universiteter, har nå anledning til å skaffe seg kjærkommen etterutdanning.

Henning Knutsen

∞

Retting

Vårt relativistiske univers

Bokkronikken om Brian Greene: *The Fabric of the Cosmos* som stod i FFV nr. 2 – 2007, var skrevet av Øyvind Grøn. Redaksjonen beklager at hans navn var utelatt.

∞

Studér fysikk!

Nye Doktorer

Katarina Grujić

M.Phil. Katarina Grujić forsvarte 22. juni 2007 sin avhandling *Manipulation of microspheres with integrated optics* for PhD-graden ved Universitetet i Tromsø.

Optisk fanging av mikroskopiske partikler har vakt stor interesse, og det er utviklet en "optisk pinsett", dvs. en sterkt fokusert laserstråle, som kan fange og manipulere forskjellige slags partikler. Vellykket fanging krever en sterk gradient i det optiske feltet. Denne teknikken er en ikke-invasiv og steril metode som kan brukes på levende celler.

Grujić viser at feltet på toppen av en bølgeleder som leder lys, kan fange mikropartikler og lede dem langs bølgelederen. Bølgeledere laget ved hjelp av Cs^+- Na^+ ionebytting i glass kan fange og lede partikler effektivt og stabilt. Denne teknikken kombineres med en Y-formet bølgeleder for å oppnå vellykket sortering av partikler. Grujić bruker to motgående stråler med varierende effekt for å kontrollere partikkelframdriften, og viser at denne teknikken kan brukes til å lage lange kjeder av partikler. Hun viser at det samtidig er mulig å eksitere optiske resonanser i dielektriske mikrokuler. Slike resonatorer kan ha høy Q-faktor. Katarina Grujić har vist hvordan lys kan brukes til å manipulere mikro- og nanopartikler. Dette kan bli et effektivt verktøy for mikro- og nanoteknologi, og kombineres med metoder for deteksjon og sortering for å utgjøre en komplett "Lab-on-a-chip" for biologiske mikropartikler som celler.

Katarina Grujić har hatt doktorstipend fra UiT, og førsteamanuensis Olav Gaute Hellesø har vært veileder. Hun har nå et overgangsstipend ved UiT.

∞

Stian Solbø

Siv.ing. Stian Solbø har forsvart avhandlinga *Statistical Speckle Filtering in the Wavelet Domain and Flood Mapping with Synthetic Aperture Radar* for graden dr.scient. ved Universitetet i Tromsø.

Solbø har studert metoder til å behandle bilder fra Syntetisk Aperture Radar (SAR) som er viktige for kartlegging og miljøovervåking på grunn av muligheten til å avbilde bakken selv når det er overskyet eller mørkt. De viktigste SAR-sensorene for sivilt bruk er i satellittene Envisat og Radarsat.

SAR-bilder er ofte forringet av en type støy som kalles "speckle", og som gjør bildene kornete og vanskelige å analysere i datamaskiner. For å gjøre SAR-data lettere å arbeide med, anvender man derfor ofte et filter som fjerner effektene av speckle. Solbø har utviklet nye speckle-filtre som bygger på multiskala-antagelser om speckleprosessen og muliggjør sterk filtrering av homogene områder i bildene, samtidig som detaljer bevares. De nye speckle-filtrene bygger på statistiske modeller for wavelet-transformerte SAR-bilder.

I avhandlingen presenteres også en algoritme for å kartlegge flom fra SAR-bilder. Denne metoden ble utviklet i et EU-finansiert prosjekt kalt FloodMan.

Solbø var gjesteforsker ved CNR-IFAC i Italia, under det akademiske året 2003-2004. Han er nå ansatt som forsker ved Norut i Tromsø, hvor han vil arbeide med å utvikle nye metoder for å hente ut data fra satellitter for kartlegging og forskning på miljø og klima. For tiden er han i Antarktis hvor han deltar i et norsk-amerikansk forskningsprosjekt for å studere hvordan nedbørsmengdene i det indre av kontinentet vil påvirkes av klimaendringer.

∞

Aksel Straume

Cand.scient. Aksel Straume forsvarte den 28. juni sin avhandling *Magnetic flux density measurements and mobile phone provocation studies. Investigations in the 50 Hz and the mobile phone frequency regions,* for PhD-graden ved NTNU.

Straume målte lavfrekvente magnetfelt og undersøkte virkningen av radiofrekvente felt (RF) fra mobiltelefoner. Magnetisk flukstetthet over fortau i Trondheims sentrum ble målt sommer og vinter. Verdiene var lave også ved elektrisk oppvarming av fortauer. Nettstasjoner viste de høyeste verdiene, maks. 37 μT. Internasjonale terskelverdier ble ikke overskredet. Lavfrekvente magnetfelt rundt mobiltelefoner ble også kartlagt med samme resultat.

Det rapporteres ofte om ubehagelig varme ved mobiltelefonbruk. Straume studerte ved IR-fotografering, hvordan hudtemperaturen ved øre/kinn øker ved samtaler. Oppvarmingen skyldes at selve telefonen utvikler varme og reduserer varmetap fra huden. Økt temperatur pga. RF kunne ikke måles.

Et omfattende forsøk hvor personer med hodepine som de selv knyttet til mobiltelefonbruk deltok, ble utført i samarbeid med neurologisk klinikk, St. Olavs hospital. Forsøkspersonene fikk symptomer både med og uten RF-eksponering, uten statistisk signifikante forskjeller. Eksperimentene støttet altså ikke en hypotese om at RF kan gi direkte opphav til hodepine. Ubehaget utløses sannsynligvis fordi personen bevisst eller ubevisst, forventer å få hodepine ved mobiltelefonsamtaler.

Arbeidet ble utført ved Seksjon for biofysikk og medisinsk teknologi, NTNU. Professor Anders Johnsson var hovedveileder og førsteamanuensis Gunnhild Oftedal, HiST, medveileder. Straume er nå ansatt som petrofysiker ved StatoilHydro.

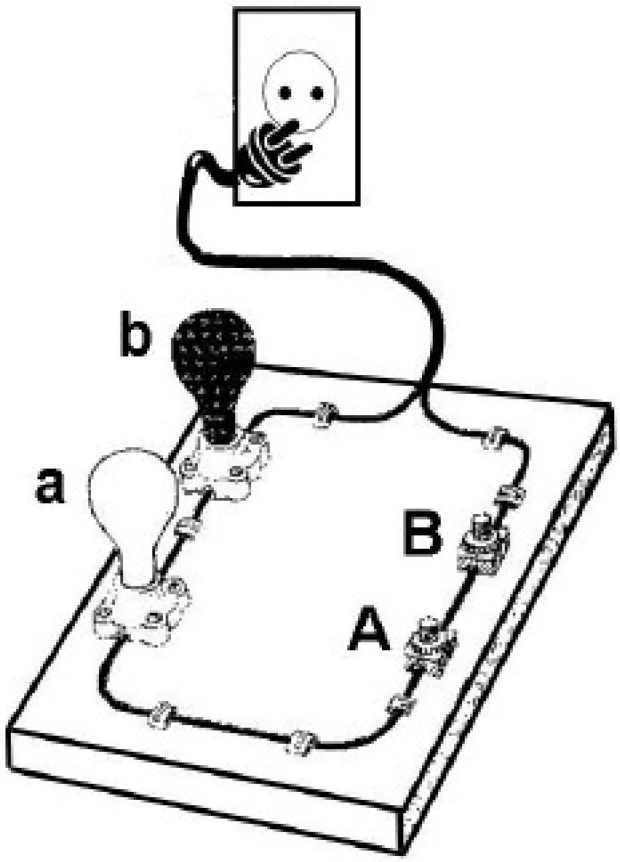
∞

Trim i FFV

FFVT 4/07

Et lampeparadoks

To lyspærer, a (klar) og b (matt), er koplet i serie i en strømkrets som fører vekselstrøm, se figuren. Lyspærene kan slås av og på av to brytere, A og B. Med begge bryterne *på*, lyser både a og b. Hvis en av lyspærene skrus ut, slukner den andre. Men med bryter A *på* og B *av*, lyser bare a. Tilsvarende vil bare b lyse når B er *på* og A er *av*. Det virker altså som om hver bryter kontrollerer hver sin lyspære!



Enda mer merkelig er det kanskje at lyspærene kan bytte plass, og likevel fortsetter bryter A å styre lyspære a mens bryter B styrer b. Ingenting er skjult i treplaten som komponentene er montert på. Hvordan henger dette sammen?

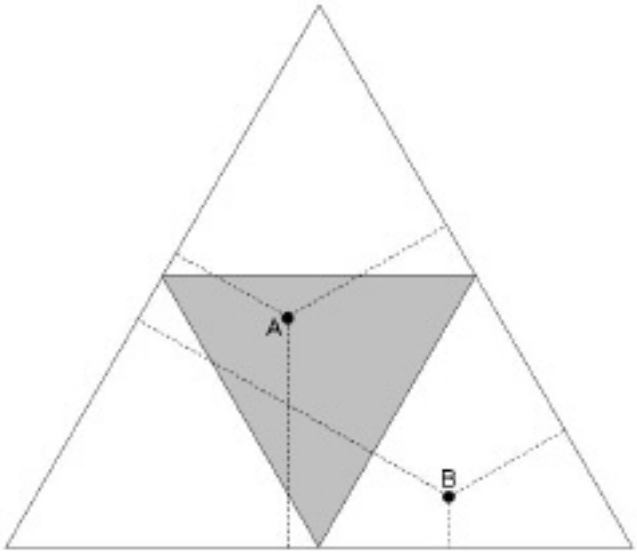
Løsning FFVT 3/07

Å lage en trekant av en pinne

Oppgaven var hvordan en kunne dele en rett pinne i tre deler slik at bitene kunne danne en trekant.

Til hjelp tegnes en likesidet trekant med en innskrevet skravert trekant med hjørner midt på den store trekantens sider, se figuren. Arealet av den store trekanten er fire ganger så stort som den skravertes. To tilfeldige punkt, A og B, er avmerket sammen med prikkede linjer fra disse punktene vinkelrett på sidene til den store trekanten.

Summen av lengdene av de tre prikkede linjene fra A og B (og fra alle tenkte punkter inne i den store trekanten) er den samme, og lik høyden i den store trekanten. Tre små trekanter med hver sin sidekant som grunnlinje og en prikket linje som høyde, utgjør hele den store trekanten.



Når et punkt, A, ligger innenfor den skraverte trekanten, er den lengste prikkede linjen kortere enn summen av de to andre. Det er da mulig å lage en trekant av de tre linjene fra A, men ikke av linjene fra B. Analogien til brekking av en pinne er enkel. Summen av de tre pinnebitene tilsvarer den store trekantens høyde. Hvert punkt i den store trekanten representerer en måte å knekke pinnen på, og de tre prikkede linjene representerer bitenes lengde. For å kunne lage en trekant av bitene, må den lengste være kortere enn summen av de to andre.

Ved knekking på to tilfeldige steder er det like stor sjanse for at tilsvarende punkt faller innenfor den store trekanten. Men bare punkter innenfor den skraverte delen gir mulighet for å lage av en trekant av bitene. Arealet med skravering er 1/4 av hele arealet. Sannsynligheten blir derfor $0,25$.

Etter første knekking på et tilfeldig sted, og valg av den lengste biten til annen gangs knekking på et tilfeldig sted, er det mer vidløftig å finne sannsynligheten for mulig trekantdannelse. Men sannsynligheten for at de tre bitene skal kunne danne en trekant blir: $(2 \cdot ln2 - 1)/2$, eller $0,193$.

En uriktig løsningsmetode ble publisert i *Scientific American,* og resulterte i mange leserinnlegg.

Oppgaven er hentet fra Martin Gardner: *The 2nd Scientific American Book of Mathematical Puzzles and Diversions*, (University of Chicago Press, 1987, ISBN 0-226-28253-8), side 220-229. Den feilaktige løsningen er gjennomgått der, og en referanse finnes til den riktige.

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Anne Borg
Institutt for fysikk, NTNU
e-post: anne.borg@phys.ntnu.no

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

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

Selskapets sekretær:
Stip. Henning Frydenlund Hansen
Institutt for fysikk, NTNU,
Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim.
Tlf.: 73 59 07 26, Fax.: 73 59 77 10
e-post: henning.hansen@phys.ntnu.no
Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter
Professor Finn Ingebretsen
Fysisk institutt, UiO

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO

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

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: oivin.holter@fys.uio.no
e-post: finn.ingebretsen@fys.uio.no
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227
Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.