Fra Fysikkens Verden

Nr. 1 – 2008
70. årgang

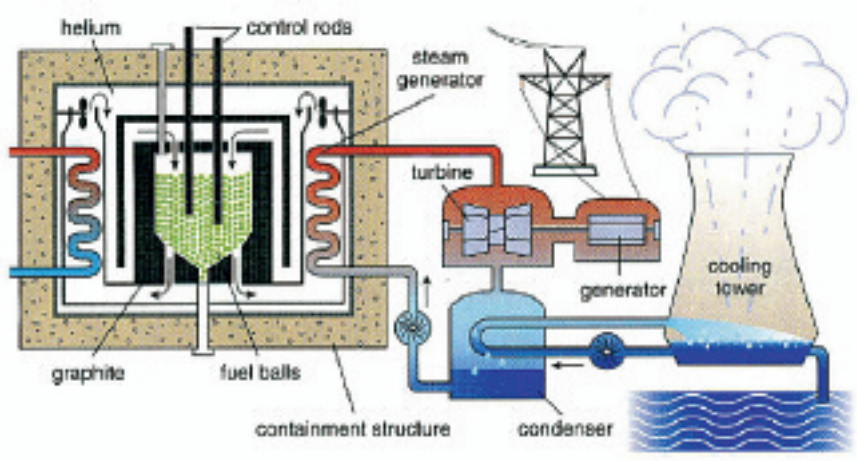
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øystein Elgarøy
Øyvind Grøn

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Sven Oluf Sørensen
Tysklands atombombeprosjekt II . 6
Jon Samseth
Reaktorar for det 21. hundreåret . . 22
Fra Redaktørene 2
Nytt fra NFS. 2
Nye redaktører i FFV
FFV Gratulerer 2
Finn Ingebretsen
Kaare Aksnes
In Memoriam. 5
Torbjørn Almaas
Indeks 2007 17
Hva skjer 26
Hvordan beregnes påsken?
Konferanse om fysikkundervisning
Bokomtaler 27
M. de Graef og M.E. McHenry: Structure of Materials
J.A. Connor: Keplers heks
N. Straumann: General Relativity
G. Einevoll: Hva er fysikk
D.A. Lorentzen og A. Egeland: Vinterhimmelens lysorgel
Nye Doktorer. 33
Dr.scient. Victoria Popsueva
Trim i FFV 33
Nytt fra NFS 34
Nye medlemmer
Limericks om fysikk. 35



Heliumkjølt reaktor med brenselkuler
(Frå M.S. Kazimi, American Scientist 91, 408 (2003))
(Sjå artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Med dette nummeret av Fra Fysikkens Verden innleder vi vår gjerning som redaktører. Vi vil benytte anledningen til å takke Finn Ingebretsen og Øivin Holter for deres lange og imponerende innsats i redaktørstolene. Ord som "å hoppe etter Wirkola" dukker uunngåelig opp i hodet idet vi tar fatt på oppgavene. Dessuten retter vi en dobbelt takk til Karl Måseide, både for hans innsats som redaksjonssekretær sammen med Finn Ingebretsen og Øivin Holter, og for at han blir med oss videre.

Fra Fysikkens Verden kan med en viss rett sies å være selve livsnerven i Norsk Fysisk Selskap. Men bladet har også en viktig rolle å spille som formid ler av interessant, viktig og aktuell kunnskap om fysikk. Fysikkens betydning for samfunnet burde etter hvert ha blitt opplagt for ethvert opplyst menneske. Klima- og energidebatten hadde tjent mye på om aktørene hadde hatt bedre fysikkunnskaper. Like viktig synes vi det er å fremheve hvilken kilde til glede og undring fysikken er. Fysikken har spilt en viktig rolle i utviklingen av vårt moderne verdensbilde, og ingen burde derfor få lov til å regne seg blant "kultureliten" uten å ha kjennskap til fysikkens lover!

Den viktigste saken vi ønsker å jobbe med, er å utvide leserkretsen til bladet betraktelig. Dersom det er økonomisk mulig, ønsker vi å øke bruken av fargeillustrasjoner. Bladet burde på samme måte som tidsskriftet til Norsk Astronomisk Selskap, "Astronomi", være til salgs hos Narvesen. For å få til dette er vi som alltid før avhengige av interessante og velskrevne bidrag. I disse tellekanttider er det dessverre ikke slik at formidlingsvirksomhet belønnes likt og over hele fjøla. Vi håper at dette vil endre seg, og appellerer i mellomtiden til idealismen hos våre potensielle bidragsytere. Vårt høyeste ønske er at norske fysikere skal sørge for at vår tid som redaktører blir travel!

∞

Nytt fra NFS

Nye redaktører i FFV

Fra Fysikkens Verden er Norsk Fysisk Selskaps kanskje viktigste og synligste ansikt utad. Øystein Elgarøy og Øyvind Grøn har nå overtatt den viktige redaktøroppgaven i tidsskriftet.

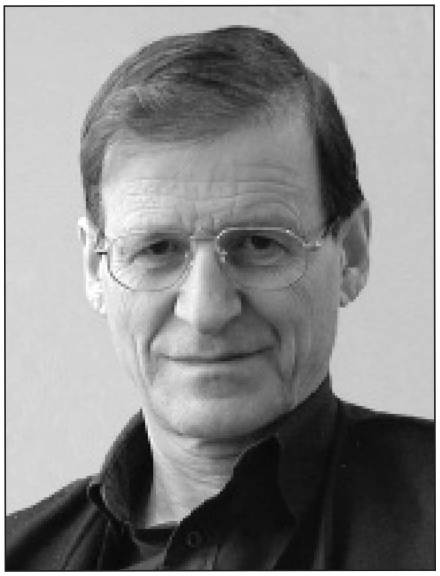
Elgarøy er professor ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo (UiO), og Grøn er professor ved Fysisk institutt, UiO, og ved Høgskolen i Oslo. Begge redaktørene har et bredt interessefelt innen fysikken, og med deres spesialinteresse innen kosmologi og relativitetsteori ser vi frem til spennende lesnad om aktuelle fenomener innen de fysiske vitenskaper. Vi ønsker de nye redaktørene lykke til!

Gunnar Løvhøiden
president i NFS

∞

FFV Gratulerer

Finn Ingebretsen 70 år



Professor Finn Ingebretsen fylte 70 år den 15. desember 2007, og gikk dermed over i pensjonistenes rekker ved Fysisk institutt. Vi kjenner jubilanten

som friluftsmann, musikkelsker, lærer og forsker, så det er ingen grunn til å tro at han vil legge inn årene ennå. Ved markeringen på Fysisk institutt, ga kollegaer og venner ham følgende limerick:

Når Finn fyller 70 i år
og ønsker om lykke han får,
forblir han for visst
energitrompetist
og kjerneprofessoren vår!

Allerede som 19-åring var han musikkinstruktør. Han tjente også Kongens Garde med sin trompet og glede til musikken. Etter dette var han lærer i ett år ved Holtet høgere skole, der han forøvrig tok sin artium i 1956.

Helt fra starten av sin forskerkarriere (cand.real. i 1964) har Finn interessert seg for fysikken. Etter en periode som vitenskapelig assistent, hadde han et langt forskningsopphold ved Chalk River National Laboratories, Ontario i Canada. Her studerte han vinkelkorrelasjoner og levetider for gammaoverganger i eksiterte kjerner sammen med A.J. Ferguson som var verdensledende innen dette feltet. Arbeidet resulterte i Dr.philos.-graden ved Universitetet i Oslo i 1973. Jeg er sikker på at Finn må ha gjort sterkt inntrykk ved Chalk River, for stadig treffer jeg kjernefysikere rundt om i verden som ber meg hilse.

Ved hjemkomst til gamlelandet ble Finn ansatt som laboratorieingeniør ved Van de Graaff-akseleratoren på Blindern. Sammen med Trygve Holtebekk holdt han maskinen gående i mange år og uteksaminerte en rekke hovedfagskandidater. Her opplevde jeg for første gang multimedieverdenen: Finn fikk labbens PDP-7-computer til å spille musikk. PDP-en er nå på Teknisk museum, men det er ikke Finn! I dag finner vi ham med MP3 propper i ørene og med fortsatt glødende interesse i data.

Fra 1979 spilte Finn en stor rolle i oppbyggingen av Syklotronlaboratoriet på Blindern. Han bidro med viktige metoder, som f.eks. partikkelgjenkjenning, pile-up forkastning og tilbakefolding. Uten å gå mer i detaljer her, har disse metodene vært helt essensielle i den såkalte Oslo-metoden som syklotrongruppa er blitt kjent for. Finn har kontinuerlig gitt viktige bidrag til prosjektet, og det kan nevnes at han helt fram til i dag, mer enn villig, tar nattskift ved syklotronen. Finn har hatt flere lange forskningsopphold i utlandet og har en stor vitenskapelig produksjon.

Finn kjenner sitt ansvar som fagperson. Han har sittet i Det Akademiske Kollegium og uttallige komiteer, vært bestyrer for Fysisk institutt, gruppeleder i kjerne- og energifysikk, medlem i NOAC, NAVF, NFR, SOLNOR m.m., og sist, men ikke minst, vært redaktør i FFV i 20 år!

Ett av Finns kjennemerker er hans engasjement i undervisning. Han taler varmt for voksen- og videreutdanning i samfunnet og har forelest en rekke kurs ved Fysisk institutt. I fjor prøvde han å avslutte sin undervisning i fysikkurset FYS 1000, men uten hell. Han måtte erstattes av flere nye forelesere. Til tross for dette, deltar hån fortsatt med å lage oppgaver til kurset. Denne situasjonen er typisk når man prøver å erstatte Finn. Etter mange år som redaktør i FFV var det vanskelig å finne arvtakere. Resultatet ble at han tok på seg ansvaret for FFVs medlemsregister inntil videre. En slik dugnadsånd er sjelden i dag.

Energi og miljø engasjerer Finn, og han er medforfatter av boka "Fysikk og energiressurser". Under Tsjernobyl- ulykken fant vi ham avbildet i Aftenposten med kollegaer som sto bøyd over en dypfryser full med radioaktivt reinsdyrkjøtt. Vi kunne lese at de gjerne ville spise kjøttet. Etter dette har media sluttet å intervjue oss fysikere, men går heller til miljøvernorganisasjonene med slike saker.

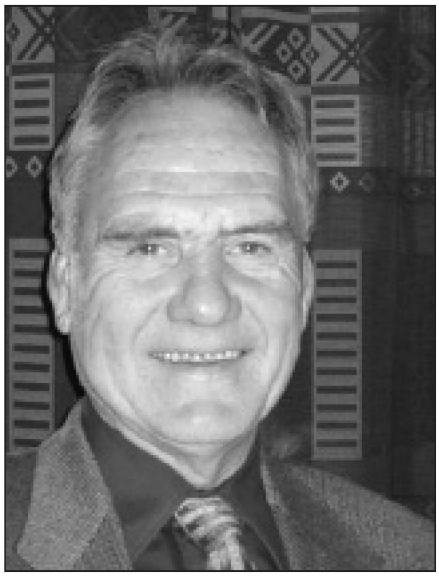
Finn blir tilsynelatende aldri opphisset eller hever stemmen, men det bobler og koker nok likevel enkelte ganger. Når han snakker om vindmøller og CO_2-lagring, merkes en svak dirring i stemmen. Finn sitter nå i det prestisjetunge Thoriumutvalget, og vi venter spent på rapporten som vil foreligge 15. februar 2008.

Finn er en god venn som vet å ta hensyn til sine medmennesker. Han presser seg aldri på, men innehar likevel den høyeste respekt. Kollegaer og venner gratulerer Finn på det hjerteligste og ønsker ham alt godt videre!

Magne Guttormsen

∞

Kaare Aksnes 70 år



Professor i astronomi ved Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo, Kaare Aksnes, fyller 70 år 24. mars 2008. Aksnes ble ansatt ved UiO og utnevnt i professoratet i 1988.

Etter hovedfag i astronomi ved UiO i 1963, reiste Aksnes med stipendium fra UiO til USA hvor han var forsker ved Smithsonian Astrophysical Observatory i Cambridge, Massachusetts, fra 1965 til 1967, og ved Jet Propulsion Laboratory i Pasadena, California, 1969–71. I 1969 tok han PhD-graden ved Yale University. Fra 1971 til 1978 var han astronom (Celestial Mechanican) ved Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics i Cambridge, Massachusetts. Aksnes kom tilbake til Norge som forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, hvor han var ansatt i tiden 1978–88. Fra 1980 til 1988 var han dessuten professor II i astrofysikk ved Universitetet i Tromsø.

Doktoravhandlingen, "A second Order Solution of an Artificial Earth Satellite based on an Intermediate Orbit" fra Yale University, omhandler bevegelser av kunstige satellitter; og avhandlingen er blitt et internasjonalt standardverk innen baneberegninger av planeter, måner, meteorer, kometer og kunstige sonder. Aksnes sin innsats har vært av stor betydning for utforskningen av planetsystemet, og her nevnes spesielt at hans innsats gjorde det mulig for begge NASAs Voyager-sonder mot Jupiter å passere og utforske alle de fire store Jupiter-månene. Banene ble beregnet slik at gravitasjonsvirkningen på sondene fra én måne gjorde det mulig å endre banene slik at sondene passerte den neste. Aksnes fikk en meget høy utmerkelse av NASA for denne innsatsen. Hans publikasjonsliste er omfattende, og han regnes i dag blandt verdens fremste forskere innen fagområdet celest mekanikk. Takket være professor Aksnes' faglige innsats er UiO blitt et internasjonalt anerkjent sentrum innen dette fagfeltet.

I 2003 fikk Aksnes ansvaret som President for *Commission 6, "Astronomial Telegrams" i International Astronomical Union (IAU)*. Denne kommisjonen har ansvaret for å sende ut alle betydelige astronomiske nyoppdagelser og nyheter til institusjoner i alle IAUs 65 medlemsland. Siden 1990 har Aksnes vært president i IAUs arbeidsgruppe for "Planetary System Nomenclature". Gruppen har ansvaret for å sette navn på forskjellige himmellegemer og på deres overflateformasjoner. Aksnes har sørget for at norske interesser er godt ivaretatt; 10 formasjoner på Månen har nå navn etter norske vitenskapsmenn og forfattere. Tradisjonelt har planeter og måner fått navn fra gresk og romersk mytologi, men nå forekommer også navn fra norrøn mytologi. På Jupiters måne Callisto heter den helt dominerende formasjonen Valhalla, og 9 andre formasjoner har også navn fra norrøn mytologi. Man benytter også navn fra samisk mytologi. Norske navn forekommer på mange andre objekter, og nå har i alt 54 steder navn med norsk tilknytning. Allerede i 1978, og lenge før Aksnes selv hadde noen innflytelse på navnsetting, fikk en av småplanetene i bane mellom Mars og Jupier, asteroide nr. 2067, hans navn. Tidligere var bare professor Svein Rosseland av nordmenn blitt vist en slik ære. En tredje asteroide fikk nylig navnet Abel etter at Aksnes fikk arrangert en spørreundersøkelse blant norske skoleelever.

Aksnes' innsats på det nasjonale plan har vært like betydelig. Han har veiledet en rekke studenter frem til cand.scient.- og dr.scient.-grad og lagt grunnlaget for å sikre fremtidige generasjoner av forskere innen dette området. I 1993 overtok Aksnes ansvaret for Almanakk for Norge. Han er almanakkomiteens formann og beregner kalendariet. Denne trykksak har et opplag på ca. 100 000 og inneholder foruten astronomiske opplysninger meget stoff av aktuell og generell interesse for allmennheten. Aksnes har bidratt med et stort antall populærvitenskapelige innlegg i dagspresse, radio og fjernsyn. I forbindelse med astronomiske begivenheter som stjerneskuddsvermer, kometer, sol- og måneformørkelser og asteroider, er Aksnes en vel kjent og skattet popularisator hos mediene og blant publikum.

Professor Aksnes har vært medlem av Det Norske Videnskaps-Akademi siden 1991. Han mottok i 1969 "Dirk Brouwer Memorial Prize" for sitt doktorgradsarbeid, og i 1981 fikk han "NASA Group Achievement Award" for sine baneberegninger for Voyager-prosjektet. I 2006 ble Kaare Aksnes tildelt Kongens fortjenstmedalje i gull.

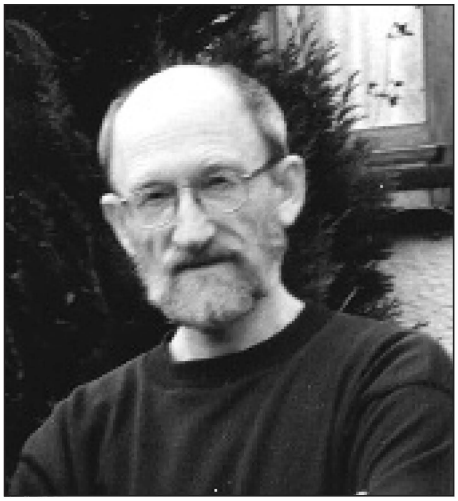
Vi gratulerer!

Oddbjørn Engvold

∞

In Memoriam

Torbjørn Almaas (1940–2007)



Torbjørn Almaas er nå gått inn i evigheten. Han døde 26. desember 2007. Hans lune smil og hyggelige ord skal ikke lenger glede oss. Den lumske sykdommen har tatt han fra oss, og en hedersmann er borte.

Torbjørn Almaas var født 30. april 1940 og vokste opp i Melhus der foreldrene drev kolonialbutikk. Deretter gikk ferden til Trondheim der han i 1959 tok sin realartium ved Trondheim Katedralskole. I 1969 avsluttet han sine studier med hovedfag i fysikk ved Universitetet i Trondheim.

Torbjørn giftet seg med sin livsledsager, Gunveig, i 1970 og flyttet da til Stavanger. Med Gunveig opplevde han den største lykke som kan bli et menneske forunt. De fikk to kjekke barn sammen. Eivind ble født i 1971 og Ingvild i 1973. På slutten av sitt liv ble han også bestefar, for da kom Torsten til verden.

I Stavanger arbeidet han først to år som lektor ved Revheim ungdomsskole. Deretter virket han som lektor ved Hetland videregående skole fram til 1983 da han ble ansatt ved daværende Stavanger Ingeniørhøgskole. Han var hele tiden med da denne utdanningsinstitusjonen ble inkorporert i Høgskolesenteret i Rogaland, som deretter ble Høgskolen i Stavanger, til lærestedet fikk den status det nå har: Universitetet i Stavanger.

Amanuensis Torbjørn Almaas underviste i matematikk og fysikk, og han var en ypperlig pedagog av høyeste klasse. Han var alltid særdeles godt forberedt og tok lærerjobben med største alvor. Han hadde ikke bare trygg og solid kunnskap om sitt fag, men besatt også en smittende begeistring for naturvitenskapen. Han hadde en merkelig intuitiv følelse av hvor studentene befant seg, og der traff han dem hjemme. Han ble en veldig populær foreleser. Det forteller vel alt at studentene avgjorde at de fikk påskjønne hans lærergjerning. De innstiftet sin egen ærespris, som han mottok med stolthet og glede. Ingen lærer kan oppleve å bli finere verdsatt.

Torbjørn var en beskjeden mann som aldri framhevet seg selv. Som person var han behagelig og omgjengelig og hadde et smil som varmet. Han var pålitelig, pliktoppfyllende og samvittighetsfull og hjalp sine kolleger. Tørrvittige, men gjennomtenkte kommentarer var hans varemerke.

Han var en ivrig fotballentusiast og en inspirerende instruktør på dansegolvet med den kroppsbeherskelse og rytmesans som kreves i swingtakter og tangodans. Dessverre ble den livsglade mannen stygt kvestet i en bilulykke noen få år før han gikk bort. Livet på arbeidsplassen ble med ett mer grått da han ikke lenger var til stede.

Torbjørn Almaas levde sitt liv med omtanke og omsorg for andre, for sin familie, for sine venner og bekjente, for sine kolleger og sine studenter. Det står, og skal stå, respekt av et liv levd på så hederlig vis.

Både ulykken og det evige skillet oppleves som uvirkelig. En forventer ennå å høre en stillferdig banking på døra, og at en blid venn treder inn for å drøfte faglige problem fra fysikkens verden med stort alvor. Og med skjemt og spøk slarver vi litt om verdens og livets mangfold av underfundigheter. Det er med sorg vi må leve med at Torbjørn er borte. Men det er med glede vi minnes hva han var og gav.

Henning Knutsen

∞

Tysklands atombombeprosjekt – Del II

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. Første delen av denne artikkelen stod i FFV nr. 4 – 2007.

Figur 7. Paul Harteck (1902–1985)

Reaktoreksperimenter

Fra nyåret 1940 av startet en hel rekke tyske institusjoner og laboratorier eksperimenter for å reali sere en uranreaktor.

Under sitt arbeid høsten 1939 med en teori for en uranreaktor, var Heisenberg opptatt av problemet å stabilisere en langsom nøytron-kjedereaksjon etter at den hadde startet opp. I desember 1939 var han kommet til at når temperaturen i uranmaterialet økte, ville virkningstverrsnittet for fisjon avta slik at reaksjonene bremses ned, og uranreaktoren ville automatisk innstille seg på en bestemt temperatur. Hvis denne teorien var riktig, måtte man anta at en kjedereaksjon i uran ville bli favorisert ved å utføre den ved lave temperaturer. Denne ideen ble tatt opp av Harteck i Hamburg. Den 8. april 1940 hadde han et møte med den nazistiske direktør Harold for Leuna-ammoniakkfabrikkene i Merseburg, og lanserte en plan for å bygge en reaktor i Hamburg med uranoksid (U_3O_8) bakt inn i fast karbondioksid som hadde en temperatur på -70°C. Harteck begynte å preparere grunn for eksperimentet, og skrev til Diebner i HWA i Berlin for å låne mellom 100 og 300 kg uran. HWA bekreftet at de ville låne Harteck minst 100 kg uran for en kort tid. Men parallelt med Hartecks søknad spurte Heisenberg Diebner på vegne av KWI for fysikk i Berlin, om 500 til 1000 kg uranoksid. Diebner anbefalte Heisenberg å komme til en overenskomst med Harteck, og etter en tautrekning mellom Hamburg og Berlin endte det med at Harteck fikk 185 kg uranoksid og 15 tonn frossen kulldioksid.

I den første uken av juni 1940 hadde Harteck bygget opp en reaktor 2,10 m høy og 1,80 m i kvadrat av tørris, med 5 lag av uranoksid. I sentrum av hele blokken hadde han plassert en radium–berylliumkilde for nøytroner. Ved å måle "formeringsfaktoren" K, definert som forholdet mellom det totale antallet nøytroner som strømmer ut av reaktoren pr. tidsenhet og antall emitterte nøytroner pr. tidsenhet fra radium berylliumkilden, kunne man få informasjon om en kjedereaksjon hadde funnet sted. Den 5. juni 1940 rapporterte Harteck til HWA at eksperimentet hadde begynt. Men på grunn

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

av for lite uranoksid ble det ikke observert noen nøytronmultiplikasjon.

I juli 1940 begynte man i Berlin å bygge et mindre trehus til bruk for eksperimenter med en uranreaktor. Bygningen ble reist på tomten til KWI for biologi og virusforskning, med KWI for fysikk som nabo. Det hemmelige laboratoriet fikk som dekknavn *"Virus Haus"*. Tidlig i oktober 1940 var laboratoriet klart til bruk. I det indre av bygningen var det et sirkelformet basseng, 2 m dypt. Veggene var murt av teglsten. Bassenget kunne fylles med vann, og en stor heisekran kunne løfte reaktoren opp og ned i vannet. Siderommene i huset var fylt med utstyr for å teste eksperimentene.

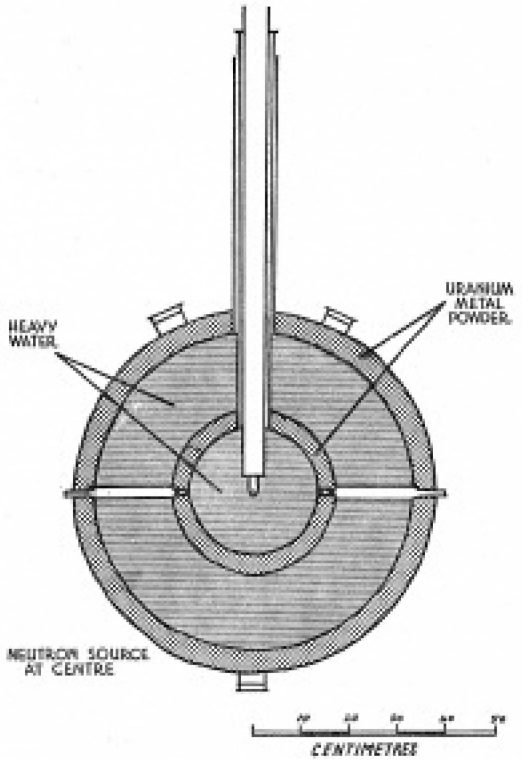
Figur 8. Karl Wirtz (1910–1994)

I desember 1940 begynte de første seriene av eksperimenter i Virus Haus, B-I og B-II. De ble ledet av Wirtz med teoretiske forberedelser av von Weizsäcker og hans assistent Karl-Heinz Höcker. Reaktorene besto av horisontale lag av plater av uranoksid og med parafin som moderator. Hele anlegget var senket ned i bassenget som var fylt med vann. Men eksperimentene ga ingen multiplikasjon av nøytroner. De ga allikevel fysikerne grunn til optimisme med at med tungtvann som moderator skulle det være mulig å oppnå et bedre resultat.

I mai 1941 utførte Bothe ved KWI for medisin i Heidelberg, et reaktoreksperiment med en blanding av 4 432 kg uranoksid og 435 kg vann. Selv om man i dette forsøket gjorde viktige observasjoner i nøytronproduksjonsprosessen oppnådde man heller ikke her noen nøytronmultiplikasjon.

I løpet av høsten 1941 begynte imidlertid de tyske reaktoreksperimentene å vise positive resultat. Heisenberg var mellom 1927 og høsten 1942 professor ved universitetet i Leipzig. Våren 1941 begynte Heisenberg sammen med Robert Døpel å sette opp et reaktoreksperiment, L-I, i Leipzig, med sfæriske skall av uranoksid og vann som moderator, og en radium berylliumkilde for nøytroner i sentrum av reaktoren. Men dette systemet førte heller ikke til nøytronmultiplikasjon.

Sommeren 1941 ble 150 liter tungtvann stilt til disposisjon for Leipzig-gruppen og anvendt i L-I-eksperimentet. Men heller ikke da kunne man påvise en sikker nøytronmultiplikasjon. Det samme ble resultatet med to andre eksperimenter, L-II og L-III. Først ved å anvende rent uranmetall i stedet for uranoksid, kunne man i februar–mars 1942 konstatere et gjennombrudd. Den 3. februar 1942 hadde firmaet Degussa forsynt Heisenberg og Døpel med 572 kg uran i pulverform. Reaktoren var lukket inne i to kuleformede hulskall av aluminium sammen med 140 liter tungtvann. Denne gangen var det ikke tvil om at flere nøytroner ble emittert fra reaktoren enn det som ble innført i den fra radium-berylliumkilden. Døpel og Heisenberg estimerte at økningen av nøytroner var ca. 13 %. Dette var bare et meget løst overslag, men de mente at hvis dette eksperimentet, L-IV, kunne utvides til å inneholde fem tonn tungtvann og ti tonn av rent uranmetall, ville de ha bygget verdens første kritiske reaktor.



Figur 9. Leipzig-reaktoren, L-IV, mai 1942.

Det eksisterer ingen fotografier av apparaturoppstillingen i L-IV, da det kort tid etter at de avgjørende målingene var utført, brøt ut en brann i reaktoren som ødela den totalt.

Ved årskiftet 1941/42 hadde Tysklands militære situasjon forandret seg fra krigsutbruddet i september 1939. Landet var nu i væpnet konflikt med både Sovjetunionen og USA. Disse forhold måtte nødvendigvis influere på det tyske rustningsprogrammet. Det førte til at den politiske og militære ledelse bestemte at bare prosjekter som kunne vente å gi resultater i den nærmeste fremtid, skulle prioriteres. Innen Uranverein var det derfor et behov for en konferanse for å klarlegge den videre strategi i det tyske atomenergiprosjektet.

Konferanser og organisasjon

Våren 1942 ble det avholdt en rekke konferanser i Berlin mellom de tyske fysikerne og den politiske og militære ledelse. Særlig var det to møter som ble avgjørende for det tyske atombombeprosjektets videre forløp. Det første fant sted den 26. februar 1942 i Haus der Deutschen Wissenschaft i Berlin. Invitert var ledende tyske politikere som riksfører Heinrich Himmler, øverstkommanderende for det tyske luftforsvaret, Hermann Göring, admiral Erich Raeder, den nylig utnevnte riksminister for rustning og ammunisjon, Albert Speer, feltmarskalk Wilhelm Keitel og Hitlers personlige adjutant, Martin Bormann. Alle viste interesse for konferansen, men meldte avbud på grunn av mer presserende gjøremål. Til stede på foredragene var blant andre undervisningsminister Bernhard Rust og den innflytelsesrike president for Kaiser Wilhelm Gesellschaft, Albert Vögler.

Erich Schumann holdt et innledningsforedrag, *Kernphysik als Waffe.* De andre foredragene ble holdt av fremtredende representanter for Uranverein. Heisenbergs foredrag, *Die theoretischen Grundlagen für die Energiegewinnung aus der Uranspaltung*, er i ettertid blitt grundig analysert med henblikk på det omdiskuterte spørsmålet om Heisenberg virkelig ville at Tyskland skulle produsere en atombombe. – Heisenbergs foredrag var en brilliant fremstilling av alle aspekter av den tekniske utnyttelse av uranfisjonen, både den sivile og den militære. Et punkt hvor han var meget eksplisitt var at han mente at uran 235 må sees på som et sprengstoff av en enorm styrke.

HWA sirkulerte på konferansen en 131 siders rapport hvor det ble detaljert diskutert prosjekt som flere av de tilstedeværende mente skulle vært holdt hemmelige. Anvendelsen av uranfisjon i bomber var selvfølgelig åpenbar. Videre ble bruken av energiproduserende reaktorer i undervannsbåter og langtrekkende fly, diskutert. Det ble understreket at plutoniumalternativet først kunne bli testet etter at man hadde klart å bygge en funksjonerende uranreaktor.

Den andre konferansen ble holdt den 4. juni 1942 i Harnack Haus, som var hovedkvarteret for Kaiser Wilhelm Institut i Berlin. Ved siden av Uranverein med Heisenberg i spissen, var den militære eliten representert ved bl.a. generalene Emil Leeb, Friederich Fromm og flyvåpenets generalfeltmarskalk, Erhard Milch.

Våren 1942 begynte den allierte "teppebombing" av tyske byer, og Lybeck, Rostock og Køln lå allerede i ruiner. Heisenberg gikk derfor i sitt foredrag direkte inn i det militære aspektet av uranfisjonsprosessen. Han forklarte meget instruktivt hvorledes en atombombe kunne bli konstruert og hvordan den funksjonerte. Han redegjorde for de to alternativene, uran 235 og plutonium. Meget av det Heisenberg nevnte var helt ukjent for flere av tilhørerne. Det gjorde for eksempel et sterkt inntrykk da feltmarskalk Milch etter Heisenbergs foredrag spurte ham om hvor stor en atombombe må være for å kunne ødelegge en storby; og Heisenberg svarte at den eksplosive ladningen ville være av størrelse som en ananas. Han understreket dette med en håndbevegelse. Dette svaret er vitenskapshistorisk viktig i det omdiskuterte spørsmålet om Heisenberg hadde forstått de tekniske prinsipper i atombombeproblemet.

Heisenberg uttalte også under sitt foredrag at man måtte regne med at amerikanerne hadde en funksjonerende uranreaktor i løpet av kort tid, men at de først ville ha en atombombe om ca. 2–3 år. Dette var jo en bemerkelsesverdig riktig prognose. Heisenberg mente også at Tyskland kunne ha en energiproduserende reaktor i nærmeste fremtid, men at man ikke hadde den økonomiske og industrielle kapasitet til å produsere en bombe.

I løpet av den måned som fulgte etter konferansen i Berlin den 4. juni 1942, ble det foretatt en del grunnleggende forandringer i organisasjonen av atomenergiforskningen i Tyskland. Det gamle Riksforskningsråd med Bernhard Rust som leder, ble erstattet av et nytt uavhengig organ med det samme navn, men med Hermann Göring som sjef. Dette nye forskningsråd skulle bli kontrollert av Görings Presidentale Råd med 21 kabinettmin-

istre, høyere offiserer og partiledere, blant andre Heinrich Himmler. Ikke en eneste vitenskapsmann var blant de utvalgte. I virkeligheten ville det nye rådets aktiviteter bli dirigert av en styrende underkomité. Noe overraskende utnevnte Göring et høyere æresmedlem av naziorganisasjonen SS, ministerialdirektør Rudolf Mentzel, til å lede rådets affærer for ham. Mentzel delegerte de administrative oppgavene til 11 fakultetsdirektører, alle fremragende vitenskapsmenn, men med sterke bånd til nazipartiet. De viktigste forskningsfeltene ville bli ledet av "spesial plenipotentiaries". Feltet kjernefysikk ble underlagt den tidligere omtalte Abraham Essau. Denne bragte inn Diebner som faglig leder av atomenergiprosjektet og stasjonerte ham på KWI for fysikk i Berlin. I den forbindelse uttalte Wirtz med bekymring: "Vi har fått en nazi på instituttet."

Men Diebners rolle som sjef for eksperimentene i Berlin ble kortvarig. Heisenbergs kampfeller, Wirtz og von Weizsäcker, overtalte ledelsen av KW Gesellschaft til å forstå at Heisenberg i realiteten var lederen av instituttets atomenergiprosjekt. Den 1. oktober 1942 ble Heisenberg direktør for KWI for fysikk i Berlin–Dahlem. Han hadde allerede vært engasjert i Wirtz' reaktoreksperiment B-I og B-II, og begynte nu å planlegge byggingen av en underjordisk, bombesikker kjempebunker til videre eksperimenter.

Rivaliserende grupper

Etter at Heisenberg hadde overtatt direktørstillingen på KWI i Berlin, forlot Diebner instituttet. Omstendighetene rundt disse forholdene er uklare, men det er allminnelig antatt at det skyldtes det kjølige forholdet mellom Diebner, som var medlem av nazipartiet, og gruppen omkring Heisenberg. Det kunne være at Heisenberg-gruppen anså Diebner for å være en middelmådig fysiker, og at på den annen side Diebner vurderte teoretikerne i Heisenberg-gruppen som ikke gode nok eksperimentatorer.

Etter at Diebner var fratatt ledelsen i Berlin, trakk han seg tilbake til Gottow. Der hadde han samlet om seg en gruppe yngre, meget kompetente fysikere med kontrakter fra HWA. Alle var medlemmer av nazipartiet.

Disse uoverensstemmelser førte til at det var behov for en ny konferanse mellom de rivaliserende gruppene for å avgjøre hvilke reaktoreksperimenter som skulle utføres, det vil si hvem som skulle

Figur 10. Kurt Diebner (1905–1964)

kontrollere dem, fordele uran og tungtvann osv. Møtet ble holdt den 7. mai 1943 i Physikalisch–Technischen Reichsanstalt i Berlin, med Essau som leder. Deltagere var blant andre Bothe, Harteck, Heisenberg, Höcker og Weizsäcker, med Werner Czulius og Diebner fra Gottow-gruppen. Hensikten med møtet var å forsøke om man kunne samle seg om ett enkelt større reaktoreksperiment. Dette viste seg ikke å være mulig, og som kompromiss ble vedtatt at man skulle utføre to separate eksperimenter. Det ene var ved KWI for fysikk i Berlin–Dahlem (Heisenberg, Wirtz) og det andre i Gottow (Diebner). Konkurransen mellom disse to gruppene ble nu forsterket. Ved siden av rent personlige motsetningsforhold oppsto det også konflikter blant annet på grunn av fordelingen av materialet til reaktorene. Gottow-gruppen trengte mer uran og tungtvann for å kunne fortsette sine reaktoreksperimenter, men det meste av det tunge vannet var lagret i kjelleren på KWI for fysikk i Berlin under kontroll av Heisenberg. Men en økende spenning mellom Essau og Heisenberg kom Diebner til hjelp. Essau ga Heisenberg ordre pr. telefon om å flytte 600 liter tungtvann til Chemische–Technische Reichsanstalt (CTR) hvor Gottow-gruppen allerede var i gang med en rekke lavtemperatur-reaktoreksperimenter.

Et annet motsetningsforhold mellom Berlin- og Gottow-gruppen var divergerende syn på utformingen av uranmaterialet. De tyske fysikerne hadde hittil vært enige om at Hartecks modell med alternerende lag av plater av uran og moderator, var den beste geometrien for en reaktor. Dette hadde f.eks. Heisenberg og Døpel benyttet i sitt Leipzig-eksperiment, L-IV. Diebner og hans medarbeidere

hadde også til å begynne med benyttet plater av uran. – Diebner kom nu på den ideen at hvis man lot uranet være omgitt av en moderator i alle tre dimensjoner, ville moderatoren bli enda mer effektiv. Dette betød at man burde benytte uranet i form av mindre kuber i stedet for større plater.

Allerede sommeren 1942 hadde Diebner satt opp i CTR et reaktoreksperiment, G-I, med 25 tonn uranoksid i form av 6802 kuber bakt inn i 4,4 tonn parafinvoks. Hver kube var adskilt fra den neste med et 2 cm tykt lag av parafin. Dette eksperimentet ga imidlertid ingen nøytronmultiplikasjon.

Våren 1943 ble et nytt reaktoreksperiment, G-II, utført av Diebner-gruppen i CTR. Der ble benyttet 189 kg frossent tungtvann på -10 °C, og ca. 190 kg uran fordelt på 108 kuber. Dette eksperimentet ga den høyeste nøytronmultiplikasjon som til da var observert i de tyske uranprosjektene. At anvendelsen av kuber av uran i stedet for plater var mer gunstig for nøytronmultiplikasjon, ble også vist ved teoretiske beregninger av Heinz Höcker. Det ble også bekreftet av et tredje reaktoreksperiment, G-III, som ble utført av Diebner i Gottow.

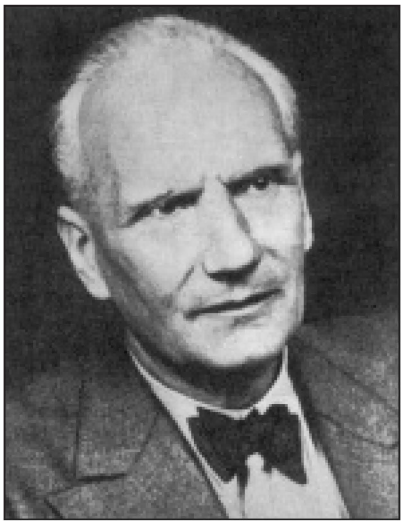
Sammenbruddet

Hvor utrolig det enn virker så var de tyske fysikerne i full aktivitet helt inn i de siste ukene før den tyske kapitulasjonen, den 8. mai 1945. Mellom de to rivaliserende gruppene var det nu liten kommunikasjon. I løpet av sin stilling som sjef for de tyske atomenergiprosjektene hadde Essau lagt seg ut med de fleste medlemmene av Uranverein. Høsten 1943 spurte derfor Mentzel den kjennte fysikeren Walther Gerlach om han kunne overta Essaus stilling, og den 2. september 1943 utnevnte Göring Gerlach til "Bevollmächtigte des Reichsmarschalls für die kernphysikalische Forschung", dvs. i praksis sjef for all tysk atomforskning.

I de første månedene var Gerlach engasjert i å dele ut bevilgninger til et bredt spektrum av fysikkprosjekter, hvorav mange var mer relatert til grunnlagsforskning enn til atomenergieksperimenter. Et motiv for Gerlach skal ha vært å sette unge tyske fysikere inn i "krigsviktig" forskning for å frigjøre dem fra innkallelse til fronttjeneste.

I ettertid har man forundret seg over at Gerlach tillot de to uavhengige gruppene, Gottow (Diebner) og KWI for fysikk i Berlin (Heisenberg, Wirtz), å utvikle hver sin reaktor i stedet for å samle kreftene om ett eneste større prosjekt.

I løpet av 1944 utviklet Tysklands militære situasjon seg til det katastrofale. De stadig økende luftangrepene gjorde det meget vanskelig å utføre større vitenskapelige eksperiment i Berlin. Den 15. februar 1944 ble KWI for kjemi, hvor Hahn og Strassmann hadde oppdaget uranfisjonen, totalt ødelagt av et alliert luftangrep. På grunn av situasjonen på østfronten og den allierte invasjonen i vest, begynte derfor en utstrakt evakuering av de tyske forskningsinstitusjonene til sydligere områder av Tyskland. Våren 1944 ble Hahn med restene av KWI for kjemi, flyttet til en tekstilfabrikk i Tailfingen i nærheten av en liten by, Hechingen i Württemberg, 60 km syd for Stuttgart. Hit var allerede mestparten av KWI for fysikk evakuert.



Figur 11. Walther Gerlach (1889–1979)

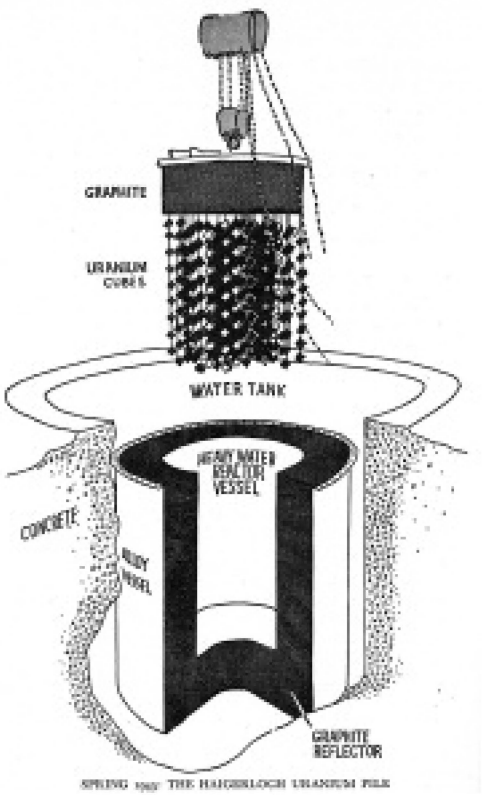
Helt til sommeren 1944 fortsatte imidlertid Diebner-gruppen sine reaktoreksperimenter, G-III, i Gottow. Men sent på sommeren 1944 ble alt utstyret evakuert sydover til Stadtilm i Thüringen, hvor Diebner satte opp et forbedret eksperiment, G-IV, hvor urankubene var erstattet med urankuler, og med kullsyreis som moderator.

Gjennom flere år hadde man i Virus Haus i Berlin, utført serier med reaktoreksperiment, B-I til B-VI, uten å oppnå noen nøytronmultiplikasjon. I de siste ukene av desember 1944 hadde man i Berlin bygget opp en bombesikker bunker, et gigantisk underjordisk laboratorium. Her ble utført, under ledelse av Wirtz, det siste store reaktoreksperimentet i Berlin, B-VII. Det inneholdt i alt 1,25 tonn uran, fremdeles i form av 1 cm tykke metallplater, og med 1,5 tonn tungtvann. For første gang var reaktoren utstyrt med en "grafittreflektor" som sendte en del av nøytronene tilbake til reaktoren. Nøytronmultiplikasjonen økte nu til 3,4, og Wirtz mente at med litt mer tungtvann ville man hatt en

kritisk, selvreproduserende reaktor. Harteck reiste faktisk til Rjukan og hadde 9. januar 1945 sammen med en annen tysk fysiker, en undersøkelse av om man kunne oppnå noe mer tungtvann fra Vemork. De prøvde om det var mulig å sende noe tungtvann til Tyskland uten at nordmennene fikk kjennskap til det. Men det gikk ikke, bl.a. fordi det ville risikere Hydros kvelstoffproduksjon som var essensiell for den tyske ammunisjonsproduksjonen.

Samtidig begynte man i den bombesikre bunkeren i Berlin å forberede det hittil største tyske reaktoreksperimentet B-VIII, som skulle inneholde 3 tonn uranmetall og 1,5 tonn tungtvann. Eksperimentet skulle være et samarbeidsprosjekt mellom KWI-instituttene i Berlin og Heidelberg. Med henblikk på en fremtidig evakuering av reaktoreksperimentene i Berlin til mer bombesikre områder i Tyskland, hadde Gerlach funnet en fredelig liten landsby, Haigerloch, noen kilometer vest for Hechingen. Hit hadde også Heisenberg og von Weizsäcker henlagt sine aktiviteter. Den 30. januar 1945 beordret Gerlach at eksperimentet B-VIII skulle demonteres og sendes til Stadtilm hvor allerede Gerlach, Wirtz og Diebner befant seg. Den 5. februar kom imidler tid Heisenberg og von Weizsäcker syklende i et bomberegn fra Haigerloch til Stadtilm, og overtalte Gerlach til å beordre alt utstyret til B-VIII sendt til Haigerloch. Den 23. februar 1945 kom Bagge til Stadtilm og overvåket at alt B-VIII-materialet ble sendt med lastebiler til Haigerloch hvor Berlinekspermentet ble rekonstruert.

I slutten av februar 1945 begynte konstruksjonen av reaktoren B-VIII i Haigerloch. Den inneholdt 1,5 tonn metallisk uran – denne gangen i form av kuber i steden for plater. Videre hadde den 1,5 tonn av tungtvann, 10 tonn av grafittblokker som reflektormateriale og en del kadmiummetall for kontroll av reaktoren. For hver 100 nøytroner som ble emittert fra den sentralt plasserte radium-berylliumkilden, observerte man 670 nøytroner ved overflaten av reaktoren, dvs. K = 6,7, som var den til da største oppnådde nøytronmultiplikasjonsfaktor. Men reaktoren var fremdeles underkritisk. Heisenberg og von Weizscker regnet ut at hvis de kunne øke reaktorens størrelse med 50 % og beholde geometrien, ville de hatt en kritisk, selvreproduserende reaktor. Det betød at Heisenberg-gruppen i Haigerloch trengte ca. 750 kg tungtvann og den samme vekt av uran, for å lykkes. Dette materialet fantes i Stadtilm. Men mellom de to rivaliserende gruppene var det nu meget liten kommunikasjon. Wirtz, som var en sentral person i disse eksperimentene, skrev i ettertid: "Vi ble senere klar over at hvis det samlede forråd av uranmetall og tungtvann i Tyskland var blitt samlet til ett eneste stort eksperiment, så hadde det vært mulig å bygge opp en kritisk multipliserende anordning med en selvproduserende kjedereaksjon."



Figur 12. Haigerloch-reaktoren, B-VIII, våren 1945.

ALSOS

Den allierte militære ledelse hadde selvfølgelig under hele krigen en økende engstelse for at tyskerne skulle lykkes i å produsere atomvåpen. Den etablerte derfor høsten 1943 en egen gruppe, ALSOS, som skulle drive spionasje på den tyske militære forskning. Hovedvirksomheten var rettet mot de tyske kjernefysikkeksperimentene. Direktøren for det anglo amerikanske atombombeprosjektet, general Leslie Groves, utnevnte amerikaneren oberst Boris Pash, til den administrerende og militære leder av ALSOS, mens lederen for *Office for Scientific Research and Developement* (OSRD), dr. Vannevar Bush, utnevnte den kjente hollandsk amerikanske fysiker dr. Samuel A. Goudsmit, til den vitenskapelige leder av gruppen. Kodenavnet ALSOS var den greske oversettelse av navnet Groves.

Figur 13. Samuel Goudsmit (1902–1978)

Et innblikk i de tyske kjernefysikernes virksomhet det siste året før kapitulasjonen, får man ved å følge ALSOS-medlemmenes aktiviteter i det samme tidsrommet. Etter en mislykket misjon i Italia i slutten av 1943, landet ALSOS den 9. august 1944, bare et par måneder etter invasjonen i Normandi, i Neuilly i Frankrike. Cirka 40 vitenskapelige eksperter fulgte med organisasjonen, og en gruppe av de mest kompetente konsentrerte seg om å undersøke det tyske uranfisjonprosjektet.

Den 27. august 1944 rykket Goudsmit med sine folk inn i Paris og arrangerte med en gang et møte med Frankrikes ledende fysiker, Joliot. Denne oppga som sentrale personer i det tyske atomenergiprosjektet Schumann, Diebner, Bothe og Essau, og sa at Wolfgang Gentner, med bl.a. Bagge som assistent, hadde ledet tyskernes forsøk på å gjøre syklotronen i Paris brukbar for eksperimenter. Gentner var lederen av de tyske kjernefysikerne i Paris. Men han var en klar antinazist og hadde arbeidet i flere år sammen med oppfinneren av syklotronen, Ernest Lawrence i USA, og hadde ved flere anledninger beskyttet Joliot og hans franske medarbeidere mot Gestapos forsøk på inngripen.

Bortsett fra opplysninger om de sentrale personene i Uranverein, var utbyttet for ALSOS i Paris relativt magert. Det mest verdifulle funn var en katalog for universitetet i Strasbourg hvorav man kunne slutte at noen av de sentrale tyske fysikerne, bl.a. von Weizsäcker og Rudolf Fleischmann, arbeidet i Strasbourg. Men på dette tidspunktet var Strasbourg fremdeles på tyske hender.

En langt viktigere informasjonskilde falt i ALSOS' hender etter at de allierte den 9. september 1944 hadde erobret Brüssel. Det belgiske kompaniet *Union Minière du Haut Katanga* hadde før krigen hatt et av de største lager av uranforbindelser i Europa. De hadde utviklet en betydelig industri for å ekstrahere radium fra urangruver i Belgisk Kongo. Den samme dag som de militære rykket inn i Brüssel, fikk ALSOS tilgang til alle *Union Minières* dokumenter. De lærte av disse at flere hundre tonn uranforbindelser var blitt eksportert til Tyskland under krigen. Videre ga kompaniets korrespondanse et overblikk over firmaene Auers og Degussas aktiviteter og viktige informasjoner om fordelingen av uran på de forskjellige tyske laboratoriene.

Fra Brüssel rykket ALSOS inn i Holland, og i Eindhoven lærte de i Philips-fabrikkene hvorledes store mengder elektrisk utstyr var distribuert på tyske forskningsinstitusjoner.

I slutten av november 1944 erobret de allierte Strasbourg. Angrepet kom så hurtig at "Gauleiteren" (den lokale nazilederen) bare klarte å varsle noen få av de mest sentrale fysikerne, bl.a. von Weizsäcker. Døren til von Weizsäckers kontor var låst, men ble åpnet av ALSOS-medlemmer ved hjelp av en øks. Rommet var akkurat som von Weizsäcker hadde forlatt det noen dager før. Av hans arkiv kunne ALSOS danne seg et tilnærmet billede av lokaliseringen av de viktigste tyske fysikerne og deres virksomheter. Blant annet ble det funnet postkort fra Weizsäckers kolleger, hvor f.eks. Bothe klager over den langsomme produksjonen av store uranmetallplater, og Harteck og Groth kommer med de første opplysninger om sine ultrasentrifuger. Videre avslørte brev at Hitler først var informert om mulighetene av kjernevåpen i 1942, og at store uranreaktoreksperiment hadde funnet sted i Gottow, men at selv så sent som i august 1944 var all virksomhet på forsøkstadiet.

I midten av mars 1945 krysset de allierte troppene Rhinen mellom Ludwigshafen og Mannheim, og den 30. mars rykket ALSOS inn i den viktige universitetsbyen Heidelberg. Den første oppgaven var å undersøke laboratoriet til Bothe, Tysklands fremste kjernefysiker, som var lederen av fysikkavdelingen på KWI for medisin i Heidelberg. Et pinlig forhold ved forhørene av Bothe var at han hadde vært en venn av Goudsmit før krigen. Denne vanskelighet ble imidlertid overvunnet, og Bothe viste seg meget imøtekommende og førte ALSOS-medlemmene rundt på sitt institutt. Blant annet fikk de se Tysklands eneste syklotron. Men Bothe ville ikke komme inn på den krigsviktige kjerneforskningen og unnskyldte seg med at Tyskland fremdeles var i krig.

Hittil hadde ALSOS-medlemmene kommet over store mengder av dokumenter, rapporter og korrespondanse. Hva de nu ønsket, var mer tekniske data i form av reelle laboratorier og installasjoner. For å oppnå dette måtte de trenge dypere inn i Tyskland. De hadde fått indikasjoner på at det var et uranreaktorlaboratorium i Thüringen, og at Heisenberg-gruppen hadde et hemmelig laboratorium syd for Stuttgart. Det første av disse lå i den lille byen Stadtilm og ble inntatt den 12. april 1945. Det var det første tyske uranreaktorlaboratoriet som ble funnet av ALSOS. Det var bygget i kjelleren til en gammel skolebygning hvor det befant seg noen forkomne tyske fysikere med sine familier. De opplyste at direktøren for laboratoriet var Diebner, og at Gerlach var sjefkoordinatoren for all kjernefysikkforskning i Tyskland. Både Diebner og Gerlach hadde forlatt Stadtilm et par dager i forveien. Det mest interessante funn for ALSOS i Stadtilm, var en rapport skrevet av Gerlach over alle aktiviteter i uranforskningen i Tyskland. Den viste at Tyskland fremdeles var meget langt fra mulighetene av å produsere en atombombe.

Våren 1945 rykket de allierte troppene inn i Tyskland fra alle kanter. Som en forberedelse på Tysklands nære sammenbrudd hadde de allierte delt Tyskland opp i amerikanske, engelske, franske og russiske okkupasjonssoner. De første tegn til friksjon mellom de allierte begynte nu å vise seg – det som kort tid etter gikk over i "Den kalde krigen".

Mesteparten av den tyske militære atomkjerneforskningen lå i de fremtidige amerikanske, engelske og franske okkupasjonssonene. Men Auerkompaniets urananlegg i Oranienburg, ca. 10 km nord-øst for Berlin, lå i den sovjetrussiske sonen. Det var klart at russiske tropper kom til å nå dette området før de vestallierte. For å unngå at Auerfabrikkene falt i hendene på russerne, bestemte general Groves at anleggene skulle ødelegges. Den 15. mars 1945 utførte 600 amerikanske flyvende festninger en "teppebombing" av fabrikkene. Alle installasjonene over bakken ble totalt ødelagt.

Mindre enn en uke etter at ALSOS hadde rykket inn i Stadtilm, ble de tyske ultrasentrifugeeksperimentene lokalisert i en fallskjermsilkefabrikk i Celle, en liten by nord for Hannover.

ALSOS forberedte seg nu på å besette det sentrale uranforskningssenteret KWI for fysikk, som de på dette tidspunkt visste var evakuert til Hechingen, og uranreaktorlaboratoriet i Haigerloch. Det siste var bygget opp i et hulelignende område som lå under slottskirken i Haigerloch.

Franske tropper hadde avansert hurtigere enn ventet og man antok at de ville erobre Hechingen og Haigerloch før ALSOS-gruppen. Men etter å ha fått troppeforsterkninger kom oberst Pash franskmennene i forkjøpet og erobret Hechingen den 23. april 1945. Heisenberg unnslapp dagen i forveien på sin sykkel for å slutte seg til sin familie i Urfeld i Bayern. Von Weizsäcker og Wirtz ble imidlertid arrestert, men ville til å begynne med ikke gi noen opplysninger før Heisenberg var til stede. De påsto at alle relevante forskningsrapporter var blitt brent. Før Heisenberg hadde forlatt Hechingen hadde han gitt Wirtz og von Weizsäcker streng instruks om at man skulle grave ned all uran og skjule det tunge vannet. Wirtz avslørte imidlertid etter kort tid overfor ALSOS hvor dette materialet var gjemt, og von Weizsäcker fortalte til slutt at de vitenskapelige rapportene var pakket inn i en metallsylinder og senket ned i en kloakkum. Alt dette materialet ble funnet og konfiskert av ALSOS, og sendt via Paris til Amerika.

Det neste målet for ALSOS var å finne Hahn og restene av hans institutt, som var evakuert til Tailfingen. Etter en kort væpnet trefning mellom ALSOS og en liten gruppe tyskere i Tailfingen, ble byen erobret, og Hahn ble funnet syk og utmagret. Han hadde tatt av 15 kg det siste året. Han ble tatt fra sin hustru og sønn – som hadde mistet en arm på østfronten og lå alvorlig syk på et hospital. Sammen med von Laue, som også ble funnet i Tailfingen, ble de transportert til Hechingen.

Om morgenen den 27. april 1945, forlot en lang kolonne av biler Hechingen med retning mot Heidelberg. I bilene var Hahn, von Laue, von Weizsäcker, Wirtz, Korsching og Bagge. De var fremme i Heidelberg om ettermiddagen og ble internert i et hus i byen. Amerikanenes metode for å utvelge de tyske kjernefysikerne forårsaket imidlertid en viss forvirring. For eksempel mente von Weizsäcker at Bagge og Korsching ikke var betydelige nok til å være med i denne eksklusive gruppe av arrestanter. ALSOS' jakt på de resterende tyske hovedaktørene fortsatte imidlertid.

Den 19. april 1945 hadde SS utstedt en arrestordre på Gerlach, som resulterte i at han og en assistent flyktet opp i de bayerske Alpene for å avvente begivenhetene. Han gjorde mange forsøk på å kontakte en bilkolonne fra Stadtilm, ledet av Diebner. Etter tre dagers dramatisk leting etter Diebnergruppen fant han denne den 25. april, og splittet den opp i mindre grupper. Gerlach returnerte med en av disse gruppene, og en del uran og tungtvann,

til sitt gamle institutt i München. Der ble han arrestert av ALSOS den 1. mai 1945 i en temmelig forkommen tilstand.

Kort tid etter ble Diebner arrestert av ALSOS i en landsby ca. 30 km syd-øst for München. Dagen etter ble Heisenberg arrestert av oberst Pash på sitt landsted i Urfeld. Heisenberg og Diebner ble transportert i en bil eskortert av flere tanks og jeeper. De ble kjørt til det nyetablerte ALSOS-hovedkvarteret i Heidelberg, hvor de ble brakt sammen med de andre fangene. Amerikanerne fant Diebner å være en ubehagelig og lite samarbeidsvillig person, og la tydelig merke til den fientlige stemningen mellom Diebner- og Heisenberg-gruppen. Den muntlige kommunikasjonen mellom dem foregikk utelukkende ved hjelp av enstavelsesord.

Kort tid etter ble Harteck også arrestert av ALSOS i Hamburg og sendt direkte til et interneringssenter for viktige sivile fanger, "Dustbin" (søppelkasse), i Versailles utenfor Paris. Da Harteck ankom til leiren var allerede Hahn, Heisenberg og von Weizsäcker der.

Farm Hall

Den 3. juli 1945 ble ti medlemmer av Uranverein transportert med fly til England. De utvalgte var Bagge, Diebner, Gerlach, Hahn, Harteck, Heisenberg, Korsching, von Laue, von Weizsäcker og Wirtz. Der ble de under sterk bevoktning innlosjert frem til 3. januar 1946 i et pent "Georgian country house", Farm Hall, i den lille byen Godmanchester i nærheten av Cambridge. En av grunnene til denne internering skal ha vært frykten for at de skulle bli kapret av russerne.

Det spesielle ved denne fengslingen var at i hvert rom i Farm Hall hadde engelske etterretningsfolk montert skjulte mikrofoner som registrerte alle samtaler mellom de innsatte. Dette materiale var hemmeligholdt i femti år, men ble i 1995 samlet og utgitt i en bok redigert av fysikeren Jeremy Bernstein: *Hitler's Uranium Club. The secret recordings at Farm Hall.* Her får man et enestående innblikk i de interne forholdene i Uranverein. Spesielt interessant er det å lese om de innsatte fysikernes reaksjoner på bombingen av Hiroshima.

Umiddelbart før middagen den 6. august 1945 ble Hahn informert av kommandanten for Farm Hall, major T.H. Rittner, om at i en nyhetssending i British Broadcasting Corporation (BBC) var det opplyst at en atombombe var sluppet over den japanske byen Hiroshima. Hahn fikk et fullstendig sjokk av denne nyheten. Han betrodde seg til Rittner om at da han hadde forstått de forferdelige muligheter som lå i hans oppdagelse av uranfisjonen, hadde han tenkt på selvmord. Nu var disse muligheter realisert, og han følte seg personlig ansvarlig for hundretusener av menneskers død. Rittner fikk roet ham ned, som han sa, "with the help of considerable alcoholic stimulant", og Hahn gikk ned til middagen og annonserte nyheten for sine medfanger. – Den umiddelbare reaksjonen hos disse var at de ikke trodde det var et kjernefysisk våpen, og at det ikke hadde noe å gjøre med uran. Men i en ny sending kl 9 om aftenen, bekreftet BBC nyheten og ga flere detaljer om bombingen.

Reaksjonene hos de internerte var meget sterke. Litt over midnatt gikk de til sengs, men de fleste syntes å ha hatt en urolig natt. Vaktene registrerte mye frem og tilbakegåing i korridorene. Klokken 2 om natten banket von Laue på Bagges dør for å si at han var bekymret for Hahn. Sammen våket de to over Hahn til de var sikre på at han var sovnet. – Fra Gerlachs rom hørtes høylytt hulking. Men det var fordi han som sjef for hele det tyske projektet ikke hadde lyktes i å lage en reaktor – enn si en bombe. Han følte seg som en slagen general og snakket også om at han burde skyte seg. De andre fikk imidlertid roet ham ned.

I de følgende dagene fortsatte diskusjonene mellom de internerte. De spente over et meget bredt felt. Til å begynne med dreiet spørsmålene seg om hvorledes bomben var konstruert – om det var brukt U^{235} eller plutonium, og om hvor mye materiale som var brukt som sprengstoff. De forskjellige meningene som kom frem under diskusjonene er i ettertid blitt tolket som at de tyske fysikerne i virkeligheten ikke hadde arbeidet seg alvorlig gjennom teorien for "den kritiske massen" for bomben.

Det at de internerte ble så totalt overrasket over bombingen av Hiroshima, peker også på at de hadde hatt mangelfull informasjon om Manhattan-projektet. I det hele tatt viser Farm Hall-rapportene at tyskerne hadde hatt en lite vellykket spionasje på de alliertes atomenergiprosjekter. Det syntes også å gjelde den andre veien. ALSOS-misjonens operasjoner gjennom Tyskland høsten 1944 og våren 1945, vitner også om de alliertes ufullstendige kjennskap til de tyske atom energieksperimentene.

Allerede den første aftenen etter nyhetene i BBC, var det tendenser til munnhuggeri mellom de internerte. Von Weizsäcker sa f.eks.: "Jeg mener at det er fryktelig av amerikanerne å ha brukt bomben.

Det er sinnsykdom fra deres side." Til dette svarte Heisenberg: "Man kan ikke si det. Man kunne like gjerne si: Det er den hurtigste måte å avslutte krigen på."

En viss beundring for de alliertes prestasjon gjorde seg også gjeldende. En av de yngste av de internerte, Korsching, uttalte: "Dette viser i alle fall at amerikanerne er i stand til å samarbeide i en gigantisk målestokk. Det ville ikke vært mulig i Tyskland, hvor hver enkelt sa at alle de andre var uten betydning."

Etter Japans kapitulasjon, og dermed avslutningen av krigen, begynte de internertes diskusjoner å dreie seg om når de kunne reise hjem til Tyskland. Særlig var Hahn og von Laue aktive. Von Laue hadde hele tiden vært forundret over hvorfor han i det hele tatt var blitt internert. Han hadde helt siden 1933 vært en modig og "outspoken" antinazist, og hadde ingen tilknytning til Uranverein. Hahns arbeider hadde hele tiden vært ren grunnlagsforskning, og han presiserte at han ikke hadde noen forbindelse med de tyske bombeeksperimentene.

Utover høsten 1945 begynte også en bestemt holdning å gjøre seg gjeldende hos de internerte fysikerne. Den er av von Laue betegnet med ordet *"lesart"*, eller "way of reading" (måte å lese på). Det var en myte som oppsto under samtalene mellom de internerte i Farm Hall, og som de syntes å være blitt enige om å fastholde som et felles standpunkt. Den gikk ut på at de tyske kjernefysikerne bare hadde brukt sin forskning på uranreaktorer til fredelig, sivilt bruk, mens de allierte helt fra starten av hadde siktet mot en atombombe. Av Farm Hall-rapportene fremgår det at von Weizsäcker var den fremste talsmannen for dette syn. Men man må da få stille det spørsmålet hvorfor von Weizsäcker så villig stilte sin idé om plutonium til disposisjon for HWA.

I sine kommentarer til Farm Hall-rapportene skriver Jeremy Bernstein blant annet: "Under disse måneder i fangenskap falt de internertes illusjoner sammen. De realiserte at de hadde tapt, og at deres fedreland hadde tapt. De begynte å anklage hverandre. De angrep Hitler. De bebreidet amerikanerne. De unge kritiserte de gamle. Og de gamle anklaget hverandre." – Hver uke organiserte von Laue et fysikkollokvium. Heisenberg hadde fått anbragt et piano i internatet, og vekslet mellom å spille virtuost Mozart, Bach og Beethoven, og å holde brilliante forelesninger om bombens fysikk. Bernstein skriver at alt var som i en surrealistisk drøm. I august 1992 hadde Bernstein tenkt å gi ut en forkortet, populær bok om Farm Hall-rapportene. Han ønsket å publisere den med tittelen: *Nuclear Shakespeare*. Senere forsto han at tittelen *Nuclear Kafka* ville ha vært mer passende.

Epilog

Den "ytre" historien om Tysklands atomenergi- og bombeprosjekt under den annen verdenskrig, er dokumentert i en omfangsrik litteratur i form av teknisk–vitenskapelige rapporter og aktørenes biografier og memoirer. Men denne "offisielle" fremstilling skjuler et mer dyptgående drama med en interessant psykologisk og moralsk problematikk. Et nærliggende spørsmål er selvfølgelig: Hvordan var det mulig at en gruppe meget begavede – tildels geniale – fysikere kunne stille sin forskning til disposisjon for et av de mest amoralske regimer i moderne historie.

Det første spørsmålet man kan stille er: Hvor befant de forskjellige medlemmene av Uranverein seg politisk? Enkelte hovedaktører som Bagge, Diebner, Essau og Gerlach var medlemmer av nazipartiet. Men andre sentrale personer som Hahn, Strassmann, Heisenberg, von Weizsäcker, Wirtz og Bothe var ikke medlemmer og klart antinazistiske. Det interessante spørsmålet er: Var alle disse for å konstruere en tysk atombombe, eller var noen reserverte? Var det enkelte som faktisk saboterte og motarbeidet hele prosjektet? Om disse spørsmål hersker det meget forskjellige meninger.

Den ene ytterlighet representerer Albert Einstein som i et brev til Hahn den 28. januar 1949, skriver at han anså de tyske intellektuelle i denne perioden som en samling ren pøbel.

Et motsatt synspunkt ble hevdet av von Weizsäcker. Ifølge Farm Hall-lydbåndopptagene den 6. august 1945, etter at de internerte tyske fysikerne i radioen hadde hørt nyhetene om Hiroshima, sa han ordrett: "Jeg tror at grunnen til at vi ikke gjorde det (laget bomben) var at i prinsippet ville ingen av fysikerne lage den. Hvis vi alle hadde ønsket at Tyskland skulle vinne krigen, hadde vi lyktes."

Man kan fristes til å illustrere problemets kompleksitet ved å forenkle det og rette oppmerksomheten mot en av nøkkelfigurene i Uranverein, Werner Heisenberg. En diskusjon av hans holdninger i denne perioden kan tjene som eksempel på det dilemma som de antinazistiske tyske fysikerne befant seg i under krigen.

Som eksempel på uttalelser av Heisenberg som kan tolkes som at han var for å lage en bombe, er at han i sin teori for reaktorer den 6. desember 1939, nevner mulighetene til å produsere uhyre sterke eksplosiver.

I sitt foredrag den 26. februar 1942, for representanter for den tyske politiske og militære elite i Haus der Deutschen Forschung i Berlin, sier han også meget klart: *Die Reindarstellung von U235 würde zu einem Sprengstoff von unvorstellbarer Wirkung führen.* I det samme foredraget uttaler han også med henvisning til plutoniumalternativet ved uranreaktorer: *Sobald eine solche Maschine einmal in Betrieb ist, erhält auch, nach eine Gedanken von v. Weizsäcker, die Frage nach der Gewinnung des Sprengstoffs eine neue Wendung. Bei der Umwandlung des Urans in der Maschine entsteht nämlich eine neue Substanz (Element der Ordnungzahl 94), die höchstwahrscheinlich ebenso wie reines U^{235} ein sprengstoff der gleichen unvorstellbaren Wirkung ist. Diese Substanz lässt sich aber viel leichter als U^{235} aus dem Uran gewinnen da sie chemisch von Uran getrennt werden kann.*

I en meget tysk – og Heisenbergkritisk – bok av Paul Rose: *Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project. A study in German Culture* (1998), refereres det til noen svært kraftige uttalelser av Heisenberg. Den ene stammer fra det berømte besøk av Heisenberg og von Weizsäcker hos Niels Bohr i København i september 1941. Heisenberg skal da ha sagt i en samtale med den danske teoretiske fysiker professor Christian Møller: "Okkupasjonen av Danmark, Norge, Belgien og Holland er en trist ting, men med hensyn til landene i Øst-Europa er det en god utvikling, da disse landene ikke er i stand til å regjere seg selv." Møller skal ha svart at så vidt han hadde forstått var det bare Tyskland som ikke var i stand til å regjere seg selv.

To år senere forfektet Heisenberg lignende synspunkter i en samtale med den hollandske fysiker, og senere direktør for forskningslaboratoriene til Philips, Hendrik Casimir. Heisenberg forsvarte Nazi-Tysklands erobringer og sa at det alltid hadde vært Tysklands misjon å forsvare vesten og dens kultur mot østens horder. Han hevdet at hverken Frankrike eller England var tilstrekkelig sterke til å spille en ledende rolle i et slikt forsvar. Med hensyn til en sovjetrussisk, eller nazi-tysk ledelse av Europa, gjengir Casimir ordrett hva Heisenberg uttalte: *Da wäre vielleicht doch ein Europa unter deutsche Führung das kleinere Übel.*

Når det gjelder spørsmålet om Heisenberg ville – eller ikke ville – konstruere en atombombe, er det fristende å bruke et uttrykk fra Bohr og Heisenbergs eget vokabular, *komplementaritet.* På samme måte som man kan finne argumenter for Heisenbergs positive holdninger til å lage en atombombe er det også mange eksempler på det motsatte. I en interessant bok av Michael Schaaf: *Heisenberg, Hitler und die Bombe. Gespräche mit Zeitzeugen* (2001), er det bl.a. kapitler av typen: Willibald Jentschke (generaldirektør for CERN 1971–75): *Heisenberg war an der Bombe nicht interessiert.* Og Rudolf Fleischmann: (Direktør ved universitetet i Hamburg): *An eine Bombe wurde in Deutschland überhaupt nicht gedacht.*

Et nesten helt avgjørende bevis for Heisenbergs negative holdning til å lage en atombombe var hans oppførsel under konferansen den 4. juni 1942, mellom representantene for den tyske politiske og militære elite og medlemmene av Uranverein. Det var en situasjon hvor det hadde vært mulig for de tyske kjernefysikerne å bli prioritert med meget store ressurser og bevilgninger. Rustningsminister Speer spurte Heisenberg under konferansen hvordan hans ministerium kunne hjelpe kjernefysikerne i deres projekter. Heisenberg skal ha svart at de trengte en strålings- og bombesikker bunker, en syklotron og førsteprioritet på en rekke materialer. Budsjettet for 1941 hadde vært på 275 000 Reichsmark, og fysikerne ba om en økning til ca. 350 000 Reichsmark. Milch uttalte etter krigen at det var en så latterlig liten sum, dvs. en økning på beskjedne 75 000 Reichsmark, at han og Speer hadde sett på hverandre hoderystende over disse folkenes naivitet. I stedet valgte rustningsministeriet å satse kolossale beløp og mannskap på utvikling og produksjon av Wernher von Brauns V-våpen.

Som punkt 15 på en lang liste over saker som Speer hadde diskutert med Hitler den 23. juni 1942, heter det: "Rapporterte kort til Der Führer om konferansen den 4. juni om atomsprengningene." Dette skal være første gang Hitler var blitt informert om atomenergiprojektet. Speer skriver om denne situasjonen i sine memoirer: *Auf Vorschlag der Kernephysiker verzichtete wir schon in Herbst 1942 auf die Entwiklung der Atombombe.*

En bekreftelse på at de tyske kjernefysikerne allerede sommeren 1942 avviklet selve bombeprojektet får man i den biografi som Elisabeth Heisenberg skrev i 1980 om sin mann: *Inner Exile. Das politische Leben eines Unpolitischen.* Hun skriver at etter konferansen den 4. juni 1942, hadde Heisenberg kommet til deres landsted i Urfeld. Der følte de

Fra Fysikkens Verden

69. årgang
2007

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 2007

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 2007

Nr. 1:

Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer 2
Anders Omholt 80 år
Alv Egeland
Jens Lothe 75 år
Torstein Fossan Jøssang
Arnolf Bjølstad – 50 år for fysikken
Kristian Fossheim
In Memoriam 6
Johan Otto Øgrim (1913–2006)
Venner og kolleger
Erik Sandvold (1957–2006)
Kristian Fossheim
Tor Hagfors (1930–2007)
Olav Holt med flere
Skabelse eller orden? – Perspektiver på renessancens naturfilosofi og kosmologi
Aksel Haaning 10
Indeks FFV 2006 17
Thoriumkraftverk i Norge?
Egil Lillestøl 21
Klimaforandringer og press på miljøet
Ingolf Kanestrøm 24
Fysikk i skolen 28
Einar Holmøy: Teknologi og forskningslære – et nytt pratefag?
Bokomtaler 28
N.S. Hetherington (red.): Encyclopedia of Cosmology. Garland Publishing, 1993.
Henning Knutsen
Graham Farmelo, ed.: It must be Beautiful, Great Equations of Modern Science. Granta Books, London, 2003.
Einar Wold
Nye Doktorer 31
PhD Trond Austrheim
PhD Anette Lauen Borg
Dr.scient. Rositsa Chankova
PhD Helge Hellevang
PhD Sølve Selstø
Trim i FFV 33
Nytt fra NFS 34
Fysikermøtet 2007
Priser til utdeling på Fysikermøtet
Nye medlemmer

Nr. 2:

Fra Redaktørene 38
FFV Gratulerer 38
Kolbjørn Adolfsen 70 år
Eivind Thrane
In Memoriam 39
Hartmut Pilkuhn (1936–2006)
Jan Olav Eeg
Nøytronkilder før og nå
Olav Steinsvoll 40
Mål og vekt i Norge – I
Fra Magnus Lagabøte til SI-systemet
Leif Halbo 46
Globale klimaendringer – Hva vet vi?
Ingolf Kanestrøm 50
Hvem er fysikkstudenten?
Silje Rødseth og Berit Bungum 54
Begrepet arbeid i skolefysikken
Jan Pålsgård og Christian Callin 57
Fysikk i skolen 60
Christian Callin: Ikke skyt på pianisten!
Hva skjer 60
C. Angell og E.K. Henriksen: Fysikkolympiaden 2007
Kommentar 61
Jan Kenneth Bekkeng: Relativitetsteorien og GPS
Bokkronikk 63
Brian Greene: The Fabric of the Cosmos. Penguin Books, 2004.
Øyvind Grøn
Bokomtaler 69
J. Plebański og A. Krasiński: An Introduction to General Relativity and Cosmology. Cambridge University Press, 2006.
Henning Knutsen
Truls Wyller: Tid og rom. Et filosofisk essay. Universitetsforlaget, 2006.
Henning Knutsen
Nye Doktorer 72
PhD Jan Kenneth Bekkeng
PhD Magnus Willum Haakestad
Dr.ing. Steinar Kragset
PhD Roman Shchelushkin
PhD Stein Olav Skrøvseeth
Trim i FFV 74
Nytt fra NFS 75
Årsmøtet i NFS 2007
Nye medlemmer

Nr. 3:

Fra Redaktørene 78
FFV Gratulerer 78
Hallstein Høgåsen 70 år
Eivind Osnes og Jan Olav Eeg
In Memoriam 79
Kjell Johnsen (1921–2007)
Egil Lillestøl
Anna-Sophie Andresen (1921–2007)
Alv Egeland
Mål og vekt i Norge – II
Nøyaktig måling, forskning og samarbeid
Leif Halbo 81
Problem i undervisningen om energi
Geir Arge 87
Fysikk i skolen 90
Anders Isnes: Geofag – et nytt programfag i videregående skole
Anders Isnes: Hvorfor blir læreplaner som de er?
Kommentar 92
Ingvill Maus: Tid, rom, fenomenologiske forståelser og visuell kunst
Debatt 93
Tor Jacobsen: Klima og støv
Hva skjer 94
Ø. Guldahl og J. Bergli: Fysikkolympiaden 2007
Olav Gaute Hellesø: Norsk elektrooptikkmøte 2008
Trim i FFV 95
Bokomtaler 96
R. Siegmund-Schultze og H. Kragh Sørensen (red): Perspectives on Scandinavian Science in the Early Twentieth Century. Novus forlag, 2006.
Bjørn Pedersen
Simon Singh: Big Bang. Den spennende historien om hvordan verden ble til. Aschehoug, 2007
Øyvind Grøn
Helge S. Kragh: Conseption of Cosmos. Oxford University Press, 2007.
Henning Knutsen
Nye Doktorer 102
PhD Marc Avice
PhD Thomas Moe Børseth
Dr.philos. Asta Juzeniene
PhD Mads Mikelsen
PhD Åge Andreas Falnes Olsen
PhD Eirik Ovrum
PhD Audun Pedersen
PhD Geir Pedersen
PhD Åsmund Sand
Dr.scient. Jan Ludvig Vinningland
Nytt fra NFS 107
Fysikermøtet 2007
Nye medlemmer

Nr. 4:

Fra Redaktørene 110
Nytt fra NFS 110
Nye æresmedlemmer i NFS
Anne Borg og Gunnar Løvhøiden
Endringer i NFS fra 2008
Anne Borg og Henning Frydenlund Hansen
In Memoriam 111
Marius Kolsrud (1919–2007)
Hallstein Høgåsen
Nobelprisen i fysikk 2007
Arne T. Skjeltorp 112
Tysklands atombombeprosjekt – Del I
Sven Oluf Sørensen 115
Fusjonsenergi og plasmafysikk
Odd Erik Garcia 123
Fysikk i skolen 128
Jan Pålsgård og Christian Callin: Sluttmerknad om arbeid og energi.
Øyvind Grøn: Mer om arbeid og energi.
Kommentar 129
Per B. Lilje: Nye realfag i videregående skole.
Svar fra Anders Isnes
Bokomtaler 130
Eirik Grude Flekkøy: Sandslott og Flodbølger. Den fantastiske fysikken omkring oss. J.W. Cappelens Forlag, 2006.
Henning Knutsen
Øyvind Grøn og Sigbjørn Hervik: Einstein's general theory of relativity. With modern applications in cosmology. Springer, 2007.
Henning Knutsen
Retting: Vårt relativistiske univers.
Nye Doktorer 133
PhD Katarina Grujić
Dr.scient. Stian Solbø
PhD Aksel Straume
Trim i FFV 135

∞

Forfatterregister 2007

Angell, Carl og Ellen K. Henriksen:
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2007 60
Arge, Geir:
Problem i undervisningen om energi 87
Bekkeng, Jan Kenneth:
Kommentar: Relativitetsteorien og GPS 61
Borg, Anne:
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2007 107
Borg, Anne og Gunnar Løvhøiden:
Nytt fra NFS: Nye æresmedlemmer i NFS 110
Borg, Anne og Henning Frydenlund Hansen:
Nytt fra NFS: Endringer i NFS fra 2008 111
Callin, Christian:
Fysikk i skolen: Ikke skyt på pianisten! 60
Eeg, Jan Olav:
In Memoriam: Hartmut Pilkuhn 39
Egeland, Alv:
FFV Gratulerer: Anders Omholt 80 år 2
In Memoriam: Anna Sophie Andresen 79
Fossheim, Kristian:
FFV Gratulerer: Arnolf Bjølstad - 50 år for fysikken .. 5
In Memoriam: Erik Sandvold 7
Fredriksen, Åshild og Liv Larsen:
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2007 34
Garcia, Odd Erik:
Fusjonsenergi og plasmafysikk 123
Grøn, Øyvind:
Bokkronikk: Brian Greene: The Fabric of the Cosmos. Penguin Books, 2004 63
Bokomtale: S. Singh: Big Bang. Aschehoug, 2007 98
Fysikk i skolen: Mer om arbeid og energi 129
Guldahl, Øyvind og Joakim Bergli
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2007 94
Halbo, Leif:
Mål og vekt i Norge – I. Fra Magnus Lagabøte til SI . 46
Mål og vekt i Norge – II. Nøyaktig måling 81
Halmøy Einar:
Fysikk i skolen: Teknologi og forskningslære 28
Hellesø, Olav Gaute:
Hva skjer: Norsk elektrooptikkmøte 2008 95
Holt, Olav med flere:
In Memoriam: Tor Hagfors 8
Høgåsen, Hallstein:
In Memoriam: Marius Kolsrud 111
Haaning, Aksel:
Skabelse eller orden? 10
Isnes, Anders:
Fysikk i skolen: Geofag – et nytt programfag i vgs ... 90
Hvorfor blir læreplaner som de er? 92
Kommentar: Nye realfag i vgs. Svar 129
Jacobsen, Tor:
Debatt: Klima og støv 93
Jøssang, Torstein Fossan:
FFV Gratulerer: Jens Lothe 75 år 4
Kanestrøm, Ingolf:
Klimaforandringer og press på miljøet 24
Globale klimaendringer – Hva vet vi? 50
Knutsen, Henning:
Bokomtale: N.S. Hetherington (red): Encyclopedia of Cosmology. Garland Publishing, 1993 28
Bokomtale: J. Plebański og A. Krasiński: Introduction to General Relativity and Cosmology. Cambridge University Press, 2006 69
Bokomtale: Truls Wyller: Tid og rom. Universitetsforlaget, 2006 70
Bokomtale: Helge S. Kragh: Conseption of Cosmos. Oxford University Press, 2007 96
Bokomtale: Eirik G. Flekkøy: Sandslott og flodbølger. J.W. Cappelens forlag, 2006 130
Bokomtale: Ø. Grøn og S. Hervik: Einstein's general theory of relativity. Springer, 2007 131
Lilje, Per B.:
Kommentar: Nye realfag i videregående skole 129
Lillestøl, Egil:
Thoriumkraftverk i Norge? 21
In Memoriam: Kjell Johnsen 79
Maus, Ingvill:
Kommentar: Tid, rom, forståelser og visuell kunst ... 92
Osnes, Eivind og Jan Olav Eeg:
FFV Gratulerer: Hallstein Høgåsen 70 år 78
Pedersen, Bjørn:
Bokomtale: Siegmund-Schultze og Sørensen (red): Perspectives on Scandinavian Science in the Early Twentieth Century. Novus forlag, 2006 96
Pålsgård, Jan og Christian Callin:
Begrepet arbeid i skolefysikken 57
Fysikk i skolen: Sluttmerknad om arbeid og energi .. 128
Rødseth, Silje og Berit Bungum:
Hvem er fysikkstudenten? 54
Skjeltorp, Arne T.:
Nobelprisen i fysikk 2007 112
Steinsvoll, Olav:
Nøytronkilder før og nå 40
Sørensen, Sven Oluf:
Tysklands atombombeprosjekt – Del I 115
Thrane, Eivind:
FFV Gratulerer: Kolbjørn Adolfsen 70 år 38
Wold, Einar:
Bokomtale: G. Farmelo, ed.: It must be Beautiful, Great Equations. Granta Books, 2003 30

seg sikre og kunne snakke ubekymret. Hun skriver:

Heisenberg war für ein Wochenende zu uns gekommen und sass entspannt und ruhig im Stuhl und erzählte mir, dass es nun ganz sicher sei, dass man Atombomben bauen könne. Ich war tief erschrocken darüber und fragte ihn: "Und was tut ihr, wenn man euch zwingt, Atombomben zu machen?" Heisenberg antwortete ganz gelassen so dass man spürte, dass er diese Frage schon unzählige Male durchdacht hatte: "Mache Dir keine Sorgen. Wir werden keine Atombombe machen. Die Entwicklung einer Bombe ist ein riesiges Projekt. Es würde wahrscheinlich Jahre dauern. Und da kommt uns ein Erlass Hitlers zu Hilfe, dass kein Projekt in Angriff genommen werden dürfe, dessen Entwicklung länger als ein halbes Jahr dauert.

Mange medlemmer av Uranverein har i ettertid uttalt at Heisenberg i begynnelsen av atomenergiprojektet var interessert i selve fysikken i uranreaktoren, men at han senere var bare halvhjertet med. En indikasjon på at han etter 1942 var mer interessert i grunnlagsproblemer i fysikken er for eksempel hans serier med avanserte artikler i *Zeitschrift für Physik: Die "beobachtbaren Grössen" in der Theorie der Elementarteilchen (S-matrix teori) I – IV,* og *Kosmisk stråling (multippel mesonproduksjon).*

Det riktige er kanskje å la spørsmålet om Heisenbergs holdning til en tysk atombombe være ubesvart. Den engelske teoretiske fysiker Rudolf Peirls, som hadde vært elev av Heisenberg i Leipzig 1928–1929 og ble et ledende medlem av Manhattanprojektet, uttalte i 1971: *We do not know where Heisenberg stands on the question whether the German scientists could not, or could and would not, work on the making of atom bombs.*

Mens de tyske fysikerne sommeren 1942 ga opp selve bombeprojektet, gikk de anglo–amerikanske vitenskapsfolkene den motsatte veien. I august 1942 sendte Vannevar Bush og presidenten for Harvarduniversitetet, James B. Conant, et brev til president Franklin Roosevelt hvor de anbefalte en *"all out effort"* for konstruksjonen av en atombombe. Dette førte til et gigantisk projekt med et budsjett på to milliarder dollar og et engasjement av 120 000 personer. Tre år senere resulterte det i bombingen av Hiroshima og Nagasaki.

Det tyske atomenergi- og bombeprojektet førte ikke til en kritisk reaktor eller en kjernefysikk bombe. Årsakene til det er mange. Men en av grunnene er åpenbart dette: Omgivelsene som de tyske kjernefysikerne utførte sine beregninger og eksperimenter i, må karakteriseres med ord som *"Inferno"* og *"Götterdämmerung"*. Hele storbyer ble forvandlet til ruiner. Millioner ble drept eller invalidisert. Og over det hele våket "mordmaskiner" som SS og Gestapo. Mange fysikere som selv gjennomlevet disse årene i Tyskland, har karakterisert sin egen psykologiske situasjon som et irrasjonelt mareritt. Jeg kom engang til å spørre en av disse personer om han hadde lest Ostwald Spengler: *Der Untergang des Abendlandes.* Han svarte meg: *"Nein – Ich habe es gelebt!"*

Litteratur

1. Brun,J.: *Brennpunkt Vemork 1949- 1945.* Universitetsforlaget (1985)
2. Cassidy, D.C.: *Uncertainty. The Life and Science of Werner Heisenberg.* W.H. Freeman and Comp. (1992)
3. Dahl, Per: *Heavy Water and the Wartime Race for Nuclear Energy.* Institute of Physics Publishing – Bristol and Philadelphia (1999)
4. Groves, L.R.: *Now it can be told.* Harper and Row Publishers (1962)
5. Heisenberg, W.: *Papers on the Uranium Project (1939 1945), Gesammelte Werke, Series A, Group 9.* Springer-Verlag (1988)
6. Heisenberg, W.: *Helhet og del.* Gyldendal Norsk Forlag (1971)
7. Heisenberg,W.: *Über die Arbeiten zur technischen Ausnutzung der Atomenergie in Deutschland.* Die Naturwissenschaften, s 325 (1946)
8. Hoffmann, K.: *Otto Hahn.* Springer-Verlag (1993)
9. Irving, D.: *The Virus House.* William Kimber, London (1967)
10. Jungh, R.: *Heller als tausend Sonnen.* Scherz und Goverts Verlag, Stuttgart (1956)
11. Kleint, C. og Wiemers, G.: *Werner Heisenberg in Leipzig 1927-1942.* Akademie Verlag, Berlin (1993)
12. Krafft, F.: *Im Schatten der Sensation. Leben und Wirken von Fritz Strassmann.* Verlag Chemie, Weinheim (1981)
13. Kramish, A.: *Griffen.* Cappelen forlag (1987)
14. Kurzman, D.: *Blood and Water.* Henry Holt and Comp., New York (1997)
15. Pappas, A.C.: *Energi via kjernekraft.* Fra Fysikkens Verden **55**, Nr. 2, 35-42, og Nr. 3, 69–76 (1993)
16. Powers, T.: *Heisenberg's War. The Secret History of the German Bomb.* Jonathan Cape, London (1993)
17. Rhodes, R.: *The making of the Atomic Bomb.* Penguin Books (1986)

18. Sime, R.L.: *Lise Meitner. A Life in Physics.* University of California Press (1996)
19. Teller, E.: *Memoirs.* Perseus Publishing (2001)
20. Walker, M.: *German national Socialism and the quest for nuclear Power 1939-1949)* Cambridge University Press (1989)
21. Walker, M.: *Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb.* Physics Today, January (1990)
22. Aaserud, F.: *Niels Bohr - Werner Heisenberg.* Naturens verden, februar (2002)

∞

Reaktorar for det 21. hundreåret

Jon Samseth *

Kjernekraft er på nytt komen på dagsordenen etter at klimaspørsmålet har fått førsteprioritet internasjonalt. Sjølv om det har vore lite bygging av nye reaktorar dei siste 20 åra, har det likevel vore eit stort utviklingsarbeid for nye reaktorar. Dei reaktorane som vil bli bygde i det 21. hundreåret vil bli meir varierte både med tanke på kjølemedium og effekt, og dei vil inngå som ein del av eit kjernekraftsystem der målet er å bruke mest mogleg av brenslet og produsere minst mogleg av avfall som treng lagrast lenger enn 1000 år. Ikkjespreiingspro blematikken er òg viktigare enn før og set grenser for kva som vil bli lisensiert både når det gjeld brensel og reaktorar.

Reaktoren i eit kjernekraftsystem er den delen som produserer den termiske energien som er naudsynt for energiproduksjon. I dag er dette i hovudsak produksjon av elektrisitet i såkalla varmekraftverk som òg omfattar gass- og kolkraft.

Reaktorane blir ofte delte inn i ulike teknologigenerasjonar. Til første generasjon reknar ein dei første prototypane og dei første kommersielle reaktorane. Det er bare Storbritannia i dag som har eit større innslag av førstegenerasjonsreaktorar i sin kraftproduksjon. Det er Magnox-reaktorane som alle etter planen skal vere fasa ut i 2010. Dei fleste andre av dei rundt 440 reaktorane i drift i verda, er andregenerasjonsreaktorar. Desse er fordelte på tre typar: PWR (trykkvassreaktorar), BWR (kokvassreaktorar) og HWR (tungtvassreaktorar). Dei fleste av desse kom i drift på 70- og 80-talet med teknisk levetid på 30–40 år. Mange land gjennomfører imidlertid eit omfattande oppgraderingsprogram med formål å auke levetida opp til 60 år samstundes som ein gjer reaktorane tryggare og auker effekten. Ein snakkar til og med om å auke levetida med ytterlegare 20 år.

Dei fleste kjernekraftsnasjonane nytter det ein kallar open brenselsyklus. Det vil seie at brenslet blir kjørt bare ein gong gjennom reaktoren og går direkte til lager. Enkelte land som Frankrike, opererer med ein lukka brenselsyklus. Det brukte brenslet blir då resirkulert slik at ubrukt uran og plutonium blir skilt frå og blir til nytt brensel. I framtida vil ein utvide dette til å gjelde neptunium, americium, curium og californium. Desse fire går under namnet "minor actinides". Saman med plutonium utgjer dei hovudkomponenten av transuranane (element med større atomtal enn 92).

Avfallet frå brenslet i ein open brenselsyklus er sett saman av spaltingsprodukta, ubrent uran og transuranane. Med unnatak av isotopane ^{99}Tc og ^{129}I, er fisjonsprodukta brutt ned i løpet av rundt 700 år. Mange av isotopane i transurana har lange halveringstider frå 1000 år og oppover. Det er desse som gjer at avfallet må haldast ute frå biosfæren i mange tusen år. Mange trur at det er isotopar med ekstremt lange halveringstider som er dei problematiske, men det er dei som ligg i området 1000 til 100 000 år som krev dei spesielle tiltaka.

I dagens reaktorar blir nøytrona bremsa ned til rundt 25 meV. Dette blir kalla moderering, og i dagens reaktorar nytter ein både lettvatn og tungt-

* NTNU, SINTEF, HiAk

vatn til dette formålet. Ein kan òg bruke grafitt som moderator. Nøytron med denne energien er best eigna til å splitte uran-235 med. Dei kan òg nyttast til å splitte plutonium-239. Skal ein derimot ta ut energien i dei andre transuranane må ein nytte umodererte eller lite modererte nøytron. Desse nøytrona blir omtalt som hurtige, og reaktorane blir omtalt som hurtigreaktorar. Ved hjelp av hurtige nøytron kan ein splitte fleire av isotopane i transuranane, og ein kan konvertere ein del usplittbare til splittbare. Av spesiell interesse er konvertinga av uran-238 til plutonium-239. Dette er kjent som "breeding", og tidlegare var termen "breederreaktor" mykje brukt. I dag tenker ein at desse reaktorane òg kan kjørast i "burner"-modus slik at ein optimaliserer kjøringa med tanke på direkte splitting framfor "breeding" av plutonium-239. Kommersielle hurtigreaktorar er derfor naudsynt for å redusere avfallsmengder og for å kunne ta ut alt energiinnhaldet i brenslet.

3. generasjon

Dersom ein i dag skal bygge ein reaktor, har alle produsentane utvikla såkalla tredjegenerasjonsreaktor. Den nye finske reaktoren som er under bygging blir rekna som den første i denne generasjonen. Tredje generasjonsreaktorar omfattar ei vidareutvikling av PWR, BWR og HWR. I tillegg kjem ei ny type kommersiell gasskjølt reaktor, PBMR (Pebble Bed Modular Reactor). Tredjegenerasjonsreaktorar vil truleg bli einerådande dei neste 20–30 åra.

Målet for denne typen reaktorar er at dei skal vere tryggare og billegare enn andregenerasjonsreaktorar. For å oppnå dette blir designen forenkla; det blir innført passive tryggingssystem og tatt høgde for at om ulykker skulle oppstå så vil minst mogleg sleppe ut. For å betre økonomien har reaktorane større termisk effekt enn det som er vanleg for andregenerasjon. Typisk elektrisk effekt er i området 1000 MW til 1800 MW. Dette siste blir vurdert for den neste reaktoren som er under planlegging i Finland. Reaktoren under bygging der har ein elektrisk effekt på 1600 MW. Lang byggetid har vore eit alvorleg problem for reaktorleverandørane. Målet for dei fleste er no å komme ned på fire år for ein reaktor.

Tyskland og Frankrike har utvikla den første kommersielle tredjegenerasjonsreaktoren. Reaktoren blir produsert av det fransk–tyske firmaet Areva, og går under namnet EPR (European Pressurized water Reactor). Tryggleiken i denne reaktortypen er betra ved at alle kritiske system er firedobla, reaktorinnkapslinga har doble vegger og dekker både reaktoren og kontrollrommet. Dette er konstruert for å kunne tåle ein flystyrt med jumbojet. I reaktoren er det eit kjølesystem med lager av borhaldig vatn til bruk dersom ein kritisk situasjon skulle oppstå. Bor blir nytta som nøytronabsorbator og stopper derfor vidare spalting av kjernene. Vidare er det system for å fjerne varme frå reaktorinnkapslinga. Dersom kjernen skulle smelte og renne ned, er golvet i reaktoren laga slik at smeltemassen vil bli leia bort frå senteret av reaktoren og spreidd over eit større område inne i reaktorinnkapslinga. Golvet er 6 m tjukt for å kunne tåle jordskjelv.

Sidan desse reaktorane er for store til å dekke eit lite lokalt forbruk, blir det òg utvikla mindre reaktorar. På lettvassida er IRIS-reaktoren (International Reactor Innovative and Secure) utvikla i USA. Denne reaktoren er planlagt med elektrisk effekt i området 50–350 MW. Tanken bak denne er å bruke varmen i tillegg til elektrisitetsproduksjon. Det vil då bli til lågtemperaturbruk slik som i fjernvarmesystem og til produksjon av ferskvatn frå sjøvatn. Det er i utgangspunktet tenkt at brenslet skal kunne stå i reaktoren i heile driftsperioden, altså inga utskifting av brensle. I prinsippet skal alle tryggingssystem vere passive.

Gasskjølte reaktorar vart på 1980-talet utvikla i Tyskland for å kunne kjørast på torium. Reaktoren går under namnet PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) og teknologien blir i dag vidareutvikla både av Kina og Sør-Afrika, men med uran som brensle. Dette er ein gasskjølt reaktor med helium som kjølemiddel. Brenslet i denne reaktoren er tennisballstore kuler. Desse kulene inneheld òg grafitt som blir nytta som moderator for å senke nøytronenergien slik at fleire nøytron kjem ned i det termiske området. Byggingen av ein fullskala demonstrator vil bli starta i 2009 nær Cape Town i Sør-Afrika. Den elektriske effekten er planlagt til 165 MW. På grunn av ein kjøler med heliumgass så vil ein ha tilgjengeleg industriell prosessvarme på maksimalt 900 °C. I tillegg blir virkningsgraden større enn for vasskjølte reaktorar som typisk opererer med 300–350°C i kjølekretsen. Ein rekner med ein virkningsgrad på rundt 40 %. Sjølve reaktortypen kan byggast slik at den blir rekna som "inherently safe", det vil seie at kjernen aldri vil kunne smelte ned sjølv om alle tryggingssystema blir kutta og kjølinga stoppa. Det har vore gjort fysiske testar med avstengt kjøling på testreaktorar

i Kina. Det er imidlertid andre ulykkescenario for denne typen reaktor, som for eksempel lekkasje av store mengder luft (oksygen) inn i kjølekretsen og samstundes ein god del fritt tilgjengeleg karbon frå ødelagte brenselkuler som til saman vil kunne gi ein alvorleg brann. Denne typen reaktor vil vere godt eigna på små industristader. Ved å satse på ferdige standardiserte modular har ein i SørAfrika som mål å kunne bygge ein reaktor på under 2 år.

4. generasjon

Tredjegenerasjonsreaktorar løyser ikkje eit av problema med dagens kjernekraft: opphoping av avfall. Sidan vi i dag nyttiggjer oss bare rundt 1 % av energien i det uranet vi tar ut, kan avfallet innehalde opptil 99 % av "brennbart" materiale, når ein ser bort frå at ein del av avfallet og uran-238 kan bli nytta til andre formål. For å ta ut meir energi i brenslet har ein del land tatt til med resirkulering for å brenne meir uran saman med plutonium. Dette reduserer likevel ikkje avfallsmengda tilstrekkeleg til at det vil bety noko på lang sikt. For å gjere det trengst det reaktorar som har ein stor del av det hurtige nøytronspekteret til stades.

Dei store kjernekraftlanda har gått saman om å utvikle ny kommersiell teknologi for i teorien å kunne brenne alt brenslet slik at avfallet stort sett vil bli eit relativt kortliva fisjonsprodukt. Vi snakkar her om nedbrytingstider på under 1000 år. I samband med dette er konseptet om bærekraftig kjernekraft blitt lansert. Det inneber at ein vil prøve å ta ut all energi i brenslet og at det endelege avfallet skal innehalde særs lite av langliva isotopar. Vidare skal det vere særs vanskeleg å kunne få tak i materiale som direkte kan nyttast til kjernevåpen. Når det gjeld tryggleik og økonomi er målet at dette skal bli betre enn for tredjegenerasjonsreaktorar. Ein snakkar frå no av om kjernekraftsystem og ikkje bare om reaktorar.

I dette systemet er det tenkt eit stort innslag av dagens reaktorar (3. generasjon) med reprosessering. Ein del av det reprosesserte brenslet vil bli brensel til dagens reaktorar, men mesteparten vil bli brukt i neste generasjons reaktorar som vil ha eit stort innslag av hurtige nøytron. Desse reaktorane blir omtalte som fjerdegenerasjonsreaktorar. I tillegg vil ein utvikle ny reprosesseringsteknologi. Reprosesseringa er tenkt å skulle skje geografisk nært reaktoren, gjerne i same bygning, slik at ein reduserer transport av brukt brensel. Det er òg slutt på å tenke nasjonalt, men ein tenker regionale løysingar.

Når det gjeld reaktorane, så er målet at ein skal ha ferdige kommersielle prototypdesign for dei ulike reaktorane i 2030. Desse reaktorane vil representere ny teknologi og vil ikkje vere ein evolusjon av tredjegenerasjonsreaktorar. Internasjonalt har ein organisert dette i Generation IV International Forum (GIF) som vart oppretta i 2001. Så langt har ein valt ut 6 ulike reaktortypar som ein skal konsentrere innsatsen om. Desse omfattar GFR (Gas-cooled Fast Reactor), VHTR (Very High Temperature Reactor), SCWR (Super-Critical Water-cooled Reactor), SFR (Sodium-cooled Fast Reactor), LFR (Lead-cooled Fast Reactor) og MSR (Molten Salt Reactor). For mange av konsepta har det pågått utviklingsarbeid over lang tid og desse er derfor nærare ei kommersialisering enn enkelte av dei andre. Spesielt gjeld det SFR. Grunnprinsippa som gjeld er at ein ønskjer å redusere bruken av termiske nøytron til fordel for hurtige nøytron. Det vil seie at ein ønskjer liten eller inga moderering av nøytrona i reaktoren. Ein ønsker òg å auke virkningsgraden ved å ha høgare driftstemperatur på kjølemiddelet. Det vil bety at ein kan komme godt over 50 % i ein del tilfelle.

Mange tenker at dette er realisering av "breeder"-teknologi. Men det er meir enn det. Ein reaktor kan kjørast både i "breeder"-modus og i "burner"-modus. Kva ein vil velge vil vere bestemt av kjernekraftsystemet reaktoren er ein del av, altså av kva for reaktorar som vil levere det brukte brenslet og av kva for resirkuleringsprodukt som vil vere tilgjengeleg, og om ein vil "breede" eller om ein heller ønsker å fisjonere. Dette vil vere grunnlaget for design av reaktorkjerne, brenselsamansetting og driftsmønster. I prinsippet må ein saman med kvar reaktor ha eit simuleringsprogram som til ei kvar tid kan optimalisere reaktoren etter ein ønska plan.

Litt om dei ulike reaktorane

GFR (Gas-cooled Fast Reactor)

Den hurtige gasskjølte reaktoren vil nytte helium som kjølemiddel og ha eit hurtig nøytronspektrum. Den vil ha ein lukka brenselsyklus og er planlagt til å kunne resirkulere og brenne alle aktinidar (Np, Pu, Am, Cm). Den vil kunne brenne både thorium og uran og levere prosessvarme ved 850 °C. Denne reaktortypen vil bli mellom dei første som blir realisert av fjerdegenerasjons reaktorar.

VHTR (Very High Temperature Reactor)

Dette vil bli ein heliumkjølt reaktor med grafitt som moderator. Målet er å ha ein kjøletemperatur på 1000 °C for å ha prosessvarme. I denne samanhengen er storskalaproduksjon av hydrogen ved hjelp av termokjemisk splitting av vatn mogleg, den såkalla jod- svovelprosessen. Sidan kjøletemperaturen er så høg vil den vere ein veldig effektiv elektrisitetsprodusent. Denne reaktoren vil ha ein open brenselsyklus.

SCWR (Super-Critical Water-cooled Reactor)

Dette er ein lettvassreaktor som vil bli driven på eit høgare trykk enn dagens PWR. Kjølevatnet har både høgare trykk og temperatur slik at det er i ein superkritisk tilstand. Fordelen ved dette er at ein vil har eit energetisk breiare nøytronspektrum (ikkje bare termiske nøytron) og ein vil kunne ha verknadsgrader rundt 45–50 %. Denne reaktoren vil derfor kunne produsere billeg elektrisitet. Det er tenkt ein open uranbasert brenselsyklus, altså brukt brensel må resirkulerast og gå inn i ein ny type reaktor.

SFR (Sodium-cooled Fast Reactor)

Ein SFR er kjølt av flytande natrium. Den har eit hurtig nøytronspekter og er spesielt påtenkt for å kunne brenne avfall frå eksisterande reaktorar. Brenselsyklusen er lukka, og reaktoren vil derfor inkludere resirkulering for full utbrenning av brenslet. Driftstemperaturen vil ligge på 550 °C. Dette er den hurtigreaktoren det er mest kunnskap om sidan mange land har bygd og drive reaktorar av denne typen. Spesielt Frankrike har gjennom reaktorane Phoenix og Super-Phoenix, mykje kunnskap om denne teknologien. Sidan India er i gang med å bygge ein moderne SFR, og Frankrike truleg vil gå for ein i nær framtid, er dette den reaktortypen som først vil bli tilgjengeleg av fjerdegenerasjonsreaktorane.

LFR (Lead-cooled Fast Reactor)

Den blykjølte reaktoren nytter, som namnet seier, flytande bly ved litt over 600 °C som kjølemiddel. Dette er ein veldig fleksibel reaktor ved at ein kan lett bygge han for både små og store effektar. Som andre hurtigreaktorar har han ein lukka brenselsyklus og kan brenne alt uran og thorium saman med transuranane. Kjølinga skjer ved naturleg konveksjon. Det er tenkt at denne reaktoren kan leverast som eit lukka system der ein kan ha 20–30 års operasjonstid før ein treng bytte brensel. Denne reaktoren blir derfor òg omtala som "batteri" i staden for reaktor, og enkelte ser på han som eit alternativ for fattige land. Ein tilpassa versjon av denne reaktortypen kan òg vere ein del av eit ADS-system (Accelerator Driven System, sjå FFV Nr. 1 - 2007). Det er i dag inga stor satsing internasjonalt på å utvikle ein kommersiell prototypdesign som vil vere klar for lisensiering innan 2030.

MSR (Molten Salt Reactor)

I motsetnad til dei andre reaktorane vil denne reaktoren ha eit flytande brensel i form av ei saltsmelte med brenslet på metallisk form blanda inn. Reaktoren vil kunne gå på både uran og thorium samstundes som han kan brenne avfall frå andre reaktorar. Brenselsyklusen er lukka. Det er heller ikkje noko stor internasjonal satsing på dette konseptet.

Som vi ser så vil vi i framtida ha eit kjernekraftsystem med mange ulike typar reaktorar med både uran, thorium og uspalta avfall som brensel. Her har vi bare omtalt reaktortypane og ikkje ny resirkuleringsteknologi.

Akseleratordrevne system, ADS, er ikkje omtalt spesielt her, men fleire bruksområde er blitt lansert internasjonalt. Det gjeld i første rekke energiproduksjon og transmutasjon av langliva isotopar. Ved transmutasjon gjer ein ved hjelp av nøytronabsorbsjon ein isotop om til ein annan. Målet er å konvertere isotopar med lang halveringtid til kjerner med kort halveringstid, eller til spaltbare kjerner. Enkelte ser på transmutasjon ved hjelp av ADS som den siste sluttprosesseringa av avfall før sluttdeponering. Myrrhaprosjektet som er planlagt i Belgia, kan bli det europeiske prosjektet for utvikling av transmutasjonsteknologi for omforming av avfall.

Nyttige kjelder og referanser

1. *http://www.gen4.org/*
2. *http://www.irisreactor.org/*
3. *http://www.areva.com/servlet/home-en.html*
4. *http://www.pbmr.com/*
5. *http://www.epr-reactor.co.uk/*
6. *http://www.sckcen.be/myrrha/*

∞

Hva skjer

Hvordan beregnes påsken?

Mange har merket seg at i år kommer 1. påskedag allerede 23. mars, som er bare én dag senere enn den tidligst mulige datoen, 22. mars. Beregning av påsken har skapt mye hodebry og forvirring opp gjennom tidene. Regelen er at *første påskedag er første søndag etter første sykliske fullmåne som inntreffer på eller etter 21. mars.* Det sies ofte at første påskedag er første søndag etter første fullmåne etter vårjevndøgn. Det er som oftest riktig, men ikke alltid. For det første vil ikke den sykliske fullmåne (som jeg skal definere senere) være det samme som den virkelige fullmåne, og for det andre faller ikke vårjevndøgn alltid på 21. mars. Dessverre har Kultur- og kirkedepartementet bidratt til denne forvirringen i Lov 1995-02-24 nr. 12: Lov om helligdager og helligdagsfred, der det feilaktig står: § 2e) *første påskedag (første søndag etter første fullmåne som inntreffer på eller etter 21. mars (ved skuddår 20. mars))...* Den siste parentesen er svært misvisende og må fjernes, for den tillater 1. påskedag allerede 21. mars.

Under kirkemøtet i Nikea i år 325, ble det bestemt at 1. påskedag skulle være første søndag etter første fullmåne på eller etter 21. mars, som da var datoen for vårjevndøgn etter den julianske kalender. For å beregne månefasene gikk man ut fra den såkalte *metons syklus*: Etter 235 måneomløp (fullmåner) og 19 år gjentar datoene for månefasene seg, da 235 måneomløp = 6939,688 dager, mens 19 julianske år = 6939,75 dager. Denne fiktive, sykliske månen avviker noe fra den virkelige (astronomiske) månen, som har en meget komplisert bevegelse. Det kan derfor skje at den sykliske fullmånen faller på en annen dato enn den astronomiske eller den observerte fullmånen. I spesielle tilfeller kan dette føre til en hel måneds forskjell på påskedatoene. Dette er årsaken til at i mange år opererte den katolske kirke og den protestantiske kirke med forskjellige påskedatoer. Fortsatt beregner den ortodokse kirke påsken etter den julianske kalender.

I den julianske kalender er år delelige med 4 skuddår med 366 dager, mens de øvrige år har 365 dager. Dette gir en gjennomsnittlig årslengde på 365,25 dager, mens det tropiske året fra vårjevndøgn til vårjevndøgn er 365,2422 dager. Denne forskjellen bygget seg fra Julius Cæsars tid og fram til år 1582 opp til 10 dager. For det året vedtok pave Gregor XIII at 4. oktober skulle etterfølges av 15. oktober, og at år delelige med 4 skulle være skuddår, unntatt hele hundreår, som må være delelige med 400 for å være skuddår. Det medførte 97 skuddår i løpet av 400 år. Det *gregorianske* året fikk da en gjennomsnittlig lengde på (303 x 365 + 97 x 366)/400 = 365,2425 dager, som er bare 26 s lengre enn det tilsiktede tropiske året.

Det var nettopp påskeberegningen som var bakgrunnen for innføringen av den gregorianske kalender, som tilbakeførte vårjevndøgn til ca. 21. mars. Man fortsatte med å bruke metons syklus for beregning av månefaser og påsken, men med en liten justering fordi 19 gregorianske år = 6939,6075 dager. Det blir korrigert for den lille forskjellen på 0,0805 dager fra 235 måneomløp for å forhindre at den summerer seg opp over lang tid. Å beregne påsken etter disse reglene er forholdsvis enkelt. Følgende algoritme (Oudin 1940) er gyldig for alle gregorianske år Y. Alle variablene er hele tall, og ved divisjon utelates resten. Datoen for *gregoriansk påske* framkommer til slutt med M som måneden og D som dag i måneden:

C = Y/100
N = Y - 19 x (Y/19)
K = (C - 17)/25
I = C - C/4 - (C - K)/3 + 19 x N + 15
I = I - 30 x (I/30)
I = I - (I/28) x (1 - (I/28) x (29/(I + 1)) x ((21 - N)/11))
J = Y + Y/4 + I + 2 - C + C/4
J = J - 7 x (J/7)
L = I - J
M = 3 + (L + 40)/44
D = L + 28 - 31 x (M/4)

Eksempel: påskedato i 2008

C = 20, N = 13, K = 0, I = 271, I = 1, I = 1, J = 2498, J = 6, L = -5, M = 3, D = 23

Altså: 1. påskedag i 2008 er 23. mars, som nevnt.

Det er bygget inn en nedre og en øvre grense for påskedatoen, nemlig 22. mars og 25. april. Sist vi hadde påskesøndag 22. mars var i 1818 og det vil ikke skje igjen før i 2285. I 1943 falt påskesøndag på 25. april, neste gang er i 2038.

Kaare Aksnes

∞

Landskonferanse om fysikkundervisning 10. til 13. august

Fysikklærerforeningen (NFL) tar opp igjen tradisjonenen med egne konferanser for fysikkundervisning – i ånden fra Ustaoset, Grimstad og Hafjell. Årets konferanse finner sted på Pers hotell på Gol 10. til 13. august, og planleggingen er godt i gang.

Vi legger opp til et program som skal være både lærerikt, glederikt og nyttig for fysikklærere på alle trinn. Og - tradisjonen tro - legger vi stor vekt på sosiale begivenheter.

Fra programmets forskjellige temaer nevner vi:

- **Jim Ryder**, University of Leeds, vil snakke om *"learning about the nature of science and implications for physics teaching"*
- **Energiforedrag:** Oil-peak, Hva nå?
  Solcelleindustri, hvilken fremtid?
  Thorium-eventyr, eller eventyr?
  Renessanse for tradisjonell atomenergi?
- **Sammenfiltring av fotoner:** I den nye lære planen i Fysikk 2 skal elevene kunne beskrive fenomenet sammanfiltrede fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem. Hvordan skal vi gjøre det?
- **Modellering:** Modellering er et av kompetansemålene i Fysikk 1 og 2. Erfaringer og muligheter?
- **Higgs-partikkelen:** I mai 2008 skal LHC-akselleratoren åpne i CERN. Fysikerne håper å få bekreftet at Higgs-partikkelen eksisterer. Men tenk om de ikke finner den?
- **Morofysikk** med Anders og Carl i manesjen

Påmeldte foredrag
Det blir avsatt tid til påmeldte foredrag. Frist for påmelding av tittel er 12. mai. Frist for innsending av sammandrag er 20. juni.

Sosiale arrangement
Den sosiale siden av konferansen er viktig. Og som alltid vil det bli arrangert blåtur med "Den evige blåturkomite" (Hetland, Angell og Grimnes) i spissen. Det blir festmiddag tirsdag kveld med tradisjonelle innslag. Ved lunsjtider blir det avsatt to timer hver dag slik at de som vil kan ta seg en tur i fjellet, benytte svømmebassenget eller hygge seg på annet vis.

Vi regner med mange deltakere som vil benytte konferansen til å få faglig påfyll og hyggelig samvær med andre fysikklærere. *Så sett av datoene 10. til 13. august!*

Påmelding
Informasjon om påmelding vil snart bli bekjentgjort på hjemmesiden til NFL og ved e-post til alle medlemmene av NFL og NFS.

Sekretariat
Vest-Telemark Ressurssenter, 3880 Dalen
Telefon: 35079100, Fax: 35079101
E-post: *karlth@online.no*

På vegne av arrangementskomiteen
Morten Trudeng
leder av NFL

∞

Bokomtaler

Marc de Graef og Michael E. McHenry: Structure of Materials. An Introduction to Crystallography, Diffraction and Symmetry. Cambridge University Press, 2007 (844 sider) 604 kr.

Det er rikeleg tilgang på lærestoff innanfor dette emnet, og nye bøker kjem stadig ut. Nye forfattarar prøver å gjere nye vriar på stoffet for å gjere det meir tilgjengeleg eller for å få med nyaste resultat. Denne boka dekker for ein stor del gammalt og klassisk stoff, men enkelte "vriar" finst.

Boka er skriven med tanke på innføringskurs, eller også vidaregåande kurs, i diffraksjon for materialstuderande. Ho er blitt ein tung murstein på 844 sider, etter mitt syn lite eigna som lærebok, men truleg nyttig som oppslags- og referansebok for lærarar og forskarar.

Ein interessant ting ved boka er at ho gir korte historiske omtalar av sentrale personar i utviklinga av faget. Ikkje berre kan ein lese om velkjente folk som W.C. Røntgen og L. Pauling, men også om mindre profilerte namn som D.F.J. Arago og C. Shull. I alt er der 111 biografiar.

Boka har heile 25 kapittel. Innleiingskapitlet trekker opp linjer frå steinalder og bronsealder via jernalder til silisiumalderen; ikkje særleg orginal perspektivframstilling, spør du meg. Dei neste 12 kapitla gjeld krystallografi og diffraksjon, og er nok den minst interessante delen av boka. Dei dekker mellom anna emne som burde vore lært i andre fag. Såleis er det eit eige kapittel om det periodiske systemet av grunnstoffa, kvantemekanisk beskrivelse

av hydrogenatomet, og ulike kjemiske bindingar i materiale. Ulike aspekt av begrepet krystallgitter bruker forfattarane ikkje mindre enn fem kapittel, 110 sider, på å introdusere. Svært mykje av den geometrien dei beskriv her kunne dei spart seg, og heller referert til *International Tables for Crystallography,* som har alt dette ferdigservert. Materialstudentar skal likevel måtte lære "International Tables" å kjenne, men det har forfattarane ikkje gjort til noko tema.

Resiprokt gitter er eit sentralt begrep i samanheng med krystallinske materiale, men eg synest ikkje forfattarane har noko heldig grep i måten dei innfører dette begrepet på, nemleg gjennom ein frittståande definisjon. I staden kunne dei ha innført begrepet i samband med faseleddet $\exp(i\mathbf{QR}_n)$ i diffraksjonssamanheng. Då får det straks ei forståeleg meining, nemleg samlinga av slike spreiingsvektorar $\mathbf{Q} = \mathbf{G}_{hkl}$ som gir konstruktiv interferens, dvs. som gjer eksponenten lik multiplum av 2π.

Tre kapittel (8, 9 og 10) blir nytta til å beskrive symmetri i materiale. Prisverdig her er at dei legg betydeleg vekt på symmetri i lågdimensjonale system.

Røntgendiffraksjonsdelen er konvensjonell og gamaldags. Dei startar med Braggs lov for konstruktiv inerferens, og dei drøftar røntgen-"metodar" (pulver-, Debye– Scherrer-, Laue-, etc. -metodar) just sånn som røntgenbøker gjorde på 1950-tallet. Intensitets- og struktur-faktoruttrykka må vente til neste kapittel. Uttrykk for spreiing av polariserte røntgenstrålar, som jo er sers viktig ved bruk av synkrotronrøntgen, blir ikkje gitt. Synkrotronstråling blir så vidt berørt, men ikkje i Kapittel 11 som inneheld "Properties and generation of x- rays", men som noko aparte i Kapittel 13 under "Other diffraction methods"! Slik framstilling gir eit fullstendig avleggs bilde av røntgenmetodane av i dag.

Elektrondiffraksjon i TEM, og magnetisk og ikkje-magnetisk nøytronspreiing blir kort, men bra dekt i eit eige kapittel.

Den siste delen av boka, kapittel 14–25, beskriv bruk av diffraksjon i materialstudium ved å drøfte ulike materialtypar. Denne delen av boka er derfor mest direkte dekkande for boktittelen. Samtidig er det slik at boka gjennom denne delen gir det inntrykket at diffraksjon er eit hjelpemiddel einast for strukturbestemming, og det er langt frå tilfelle i dag. Tvert imot. Ved synkrotronrøntgenlaboratoria rundt i verda er det ikkje strukturproblematikk som dominerer i dag, men material-fysiske og materialtekniske problemstillingar ved sida av avbilding og spektroskopi.

Kapitla går gjennom ei rekke strukturtypar og materialvariantar, mest klassiske materiale, men også nyare felt som fullerenar og nanorør, aperiodiske materiale, polytypisme i lagdelte materiale som SiC og andre, og kvasikrystallinske materiale (som er materiale som ikkje er periodiske, men likevel har full ordning), som visse Al-Mn-Si-legeringar.

Ettersom ein av forfattarane har arbeidd mest med metall og legeringar, har slike materiale fått stor plass, kanskje for stor, idet heile fem kapittel omfattar dette. Eitt av dei er om metalliske glas, dvs. superhurtigkjølte metall- legeringar som er amorfe, og som oppviser spesielle mekaniske eigenskapar. Tre kapittel omfattar kjeramar, m.a. perovskittar og andre ferroelektrika, og høgtemperatur supraleiande oksyd. Silikat og aluminat utgjer ei stor gruppe oksyd, der yttergrensene kan seiast å vere kvarts og leirmineral som kaolinitt, og den viktige 'mesoporøse' zeolittgruppa. Endeleg er boka sitt siste kapittel, nummer 25, vidd til "molekylære" materiale, som is og organiske stoff, polymerer og biomateriale à la DNA. Dette kapitlet verkar nokså påklistra, som for å ha dekt "alle slags" materialtypar. Særleg djupt går ikkje handsaminga i kapittel 25.

Mange referansar og indeksar blir gitt, og det er eit verdifullt trekk ved boka, likeeins samlingar av øvingsoppgaver ved slutten av kvart kapittel.

Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU

∞

James A. Connor: Keplers heks. N.W. DAMM & SØN AS, 2005. ISBN 82-496-0703-1 (409 sider), 349 kr.

Johannes Kepler sitt slitsomme liv i en forferdelig tid

For en kort tid siden ble jeg oppmerksom på en biografi over den eminente astronom Johannes Kepler. Biografien ble utgitt for et par år siden. Den er skrevet av James A. Connor og har tittelen *Keplers heks.* Jeg mener å følge noenlunde godt med i hva som kommer på markedet av litteratur med

naturvitenskapelig tilsnitt, men denne fine boka hadde dessverre gått hus forbi. Jeg har ikke sett den omtalt. Det er synd og skam om den ikke blir kjent, for dette var herlig lektyre for en som lå på rygg mens influensa og feber preget eksistensen. Muligens har ikke forlaget satset på aggressiv og kostbar markedsføring.

Men det var saktens tilfelle her forleden med auto biografier fra to velkjente politikere fra vår hjemlige arena. Der var viktig pressekonferanse, og journalister og reportere svermet til den store begivenhet. Jeg gadd vite hva disse to grinete maktmennesker har utrettet av varig betydning. Jeg mener Hamsun sa det treffende: "Om hundre år er allting glemt." Men slarv og sladder gir mynt i kassa, og mange lever av brød alene. Mesterverket til Johannes Kepler representerer en bauta som vil bestå så lenge menneskeheten finnes.

La det være sagt at dette ikke er boka for den som ønsker detaljkunnskap om Kepler sitt vitenskapelige virke. Men forfatteren forteller livlig og gripende om hva slags omstendigheter vitenskapsmannen Kepler levde under, og hvilke omgivelser han måtte kjempe sin bitre kamp mot. Johannes Kepler kom fra ringe kår, var varig svekket av sykdom, men hans enestående evner og spesielle begavelse ble kjent. Så fikk han da også utdannelse for framtidig prestegjerning. Denne unge mannen var en grubler og tok sitt forhold til guddommen med det største alvor.

Han var slettes ikke villig til å gå på akkord med sin tro og sin samvittighet. Dette brakte han stadig opp i vanskelige situasjoner og valg gjennom hele livet. Mye av begivenhetene og handlingen i boka er preget av nettopp denne striden. For dette var tiden da reformasjon og motreformasjon kjempet om makt og dominans, og den totale religiøse intoleranse behersket sinn og atferd. Kepler var lutheraner, men ga åpent uttrykk for at når det gjaldt nattverden var han enig med kalvinistene. Han syntes heller ikke katolikkene bare representerte frafall, fordervelse og ondskap, og han pleiet omgang med lærde jesuitter.

Kepler hadde en ganske naiv tro på at det måtte være mulig å forsone de stridbare kranglefanter, og kanskje nettopp han kunne få dem til å ta til vettet og la nestekjærligheten få utfolde seg. Han hadde ikke Newton sin innsikt. Alle tiders største fysiker visste at en ikke skal undervurdere dumheten. Han fastslo derfor at det ikke var noen grunn til å avsløre sin innerste tro. Maktens autoritet ville så visst aldri fatte hans tanke. Kepler var nok dessverre langt foran sin samtid med sin appell til fornuft og ansvarsfølelse. I vår egen tid har mange forstått at det er en ganske vesentlig frihet å ha rett til å undre seg, være usikker og tvile. Det var ikke tilfelle mens Kepler levde. Det som gjaldt, var bastant skråsikkerhet, lydig autoritetstro og den mest brutale råskap.

Fra et nøytralt og nøkternt ståsted er det i ettertid kvalmende og motbydelig å få vite hvordan disse såkalte religiøse fanatikere og hyklere for fram i Guds navn. De kristne av alle avskygninger påførte uten nølen sine medmennesker umåtelige lidelser. Det var sverdet og bålet som hersket. Råbarkede krigsmenn slaktet, drepte, plyndret og voldtok. Det rike Tyskland ble forvandlet til en rykende ruinhop. En minnes vårt nordiske ord: "Frende er frende verst, sa reven, da han så den røde hund".

Midt oppe i all denne strid og elendighet virket så den utrettelige Kepler. Han måtte slite for å få sin rettmessige lønn, mange av barnene hans døde mens de var små, og egen helse var skrøpelig. Han må ha vært i besittelse av en indre drivkraft som neppe har hatt sin make. Han benyttet de nøyaktige observasjonene fra Tycho Brahe, og ved revolusjonerende spekulasjon og massive regninger sleit han seg fram til sine vakre lover for planetbevegelse.

Men han fikk også streve med å holde sin gamle mor fra heksebålet, da hun ble anklaget. Den grusomme historien blir fortalt med intensitet og innsikt. Tittelen til boka mynter på denne hendelsen. De som kom med den sjofle anklagen, burde fått sin straff i egen tid. Nå lever de for evig med skammen.

Den utrolige Kepler var innom så ymse områder på sin rastløse ferd. Han forklarte dybdesyn og virkemåten for briller. Han var den som ga en skikkelig forklaring på virkemåten for teleskopet. Da en ny stjerne viste seg på himmelen, skildret Kepler den viktige begivenheten i et lite skrift. Keplers supernova er betegnelsen i dag. Han interesserte seg for den vakre symmetrien hos snøfnugg, og han undret seg på hvordan han skulle finne volumet til vintønner. På en reise fikk han livsfarlig feber, og livet var brått slutt.

Dette er altså en beretning der et individs underfulle klokskap står i skarp kontrast til tidens ondskap og råskap. Dette individet er edelt og påkaller vår beundring. Samfunnsordenen kan vi bare minnes med gru og forakt.

Henning Knutsen

∞

Norbert Straumann: General Relativity. With applications to Astrophysics. Springer, 2004. ISBN 3-540-21924-2 (674 sider) $ 55,82.

Generelt slit og anvendt svette

Fysikk er en disiplin der utspekulert teoriutvikling går side om side med eksperimenter og observasjoner av naturfenomenene. Særdeles sofistikert elektronisk utstyr og datamaskiner med utrolig regnekraft avslører nå merkverdige og overraskende sider og trekk ved universet og naturen. Astronomien opplever en ny gullalder, og gravitasjonsvirkningen er nøkkelen til forståelse av mange av disse oppdagelsene.

En arme av flinke teoretikere er opptatt av å undersøke hvordan Einsteins generelle relativitetsteori kan benyttes til å gi fysisk tolkning av de underlige hendelser vi ser utfolde seg langt der ute i verdensrommet. Kongresser og konferanser samler nå stadig store antall astrofysikere der disse himmelfenomenene diskuteres. Siden dette feltet er så aktuelt trengs det selvfølgelig gode lærebøker som kan bringe unge talenter effektivt fram til forskningsfronten. Mange flittige forskere har gjort sin store innsats for denne pedagogiske oppgaven, og en av dem er Norbert Straumann. Boka hans kom i ny utgave for et par år siden, og tittelen er: *General Relativity. With applications to Astrophysics.* Den er oppdatert og omskrevet og utvidet med godt over 200 sider i forhold til den opprinnelige teksten fra 1984.

Jeg vil virkelig gjøre oppmerksom på denne krevende boka, for den kan tjene som et utmerket supplement til den nye boka til Grøn og Hervik: *Einstein's general theory of relativity. With mothern applications in cosmology* (Springer, 2007). Men jeg iler med å si fra at dette ikke er teksten for uinnvidde noviser. Leseren bør ha solid bakgrunn i fysikk og astrofysikk. En enklere tekst i generell relativitetsteori kan det nok være godt å ha vært gjennom på forhånd. For eksempel vil god kunnskap fra de mindre avanserte emnene i boka til Grøn og Hervik gjøre tilegnelsen av stoffet i Straumann si bok lettere.

Det betyr ikke at leseren vil kjede seg i det innledende kapitlet i Straumann-boka. For her er så mange nydelige betraktninger å glede seg over når Straumann forteller om fysikken i ytre gravitasjonsfelt. Og det er artig når Straumann setter Einsteins feltlikninger med alt deres vesen på plass i neste kapittel.

Straumann gjør en pedagogisk vri som kan ha mye for seg. Den mest krevende matematikken er plassert bakerst i boka. Der finner vi 120 sider med differensialgeometri på høyt nivå. Men jeg var ikke bare begeistret da jeg oppdaget at henvisningene i hovedteksten ofte omfattet hele 20 sider med knivskarpt matematikkredskap. Kanskje kjøres det her ulovlig og urimelig hardt uten nedbremsing i skarpe svinger. Så råkjøret kan muligens føles både brutalt og hensynsløst.

Her er selvsagt en grundig framstilling av ymse sider ved Schwarzschild-løsningen av feltlikningene. Den gir jo grunnlaget for de tester der generell relativitetsteori blir konfrontert med observasjonene og virkeligheten. Her får vi også et første møte med relativitetsteoriens mest enestående fenomen: det svarte hull. To særdeles aktuelle emner får også ordentlig behandling. Det gjelder gravitasjonsbølger, som en får håpe blir observert i nær framtid. Gravitasjonslinsene har allerede bekreftet teorien, men har i tillegg vist seg å være av den største praktiske nytte. Fenomenet bør være verdt en nobelpris.

Nøytronstjerner blir skildret i stor detalj. Her er det ikke nok med god kunnskap om gravitasjon og relativitetsteori for å forstå argumentasjonen. Om en vil forstå strukturen til disse kompakte objektene og de prosesser som foregår i deres nærområde, trenger en å beherske de fleste emner fra fysikken. Mekanikk, elektromagnetisme, statistisk fysikk, bølgelære, kvantemekanikk, elementærpartikkelfysikk, kjernefysikk og faststoff-fysikk, alt må til for å oppnå et fullstendig bilde.

Så møter vi de svarte hull på nytt. Da blir ikke bare den enkle løsningen for roterende svarte hull framlagt uten videre, men vi blir også servert den kompliserte utledningen. Deretter skildres de prosesser som kan foregå i deres nærhet. Jeg synes egentlig det er litt skuffende at de fysiske prosesser som fører fram til disse fantastiske sluttprodukter for utviklingen av massive stjerner, ikke blir ofret særlig plass. Det hadde liksom hørt med å gi en kvantitativ skildring av supernovautbrudd og katastorfal gravitasjonskollaps. Men som Vår Herre sa da han skapte silda: "En kan ikke gjøre alle til laks".

Henning Knutsen

∞

Gaute Einevoll: Hva er fysikk. Universitetsforlaget, 2007. ISBN 978-82-15-009-48-3 (159 sider) 149 kr.

Fornøyelig introduksjon og oversikt

Universitetsforlaget utgir nå en serie med små bøker om emner fra den akademiske verden. Gaute Einevoll har gitt sitt bidrag med boka: "Hva er fysikk." Utenpå er den vesle boka grå og kjedelig, men dette triste utseendet svarer ikke til innholdet, for Einevoll skriver godt og lettfattelig. Dessverre finnes ikke figurer og skisser. Rett nok kommer Einevoll fra skriveriet med all ære i behold, men jeg tror noen tegninger ville gitt fortellingen mer liv.

Men om boka er særdeles beskjedent utstyrt, er omfanget av skildringen langt fra moderat. Einevoll legger hovedvekten på ymse områder som vi kan kalle moderne fysikk. Her finner vi relativitetsteori, atomfysikk, statistisk fysikk, materialfysikk, biofysikk og astrofysikk. Siden forfatteren er innom så mye, er det ikke til å unngå at han må male og smøre med grov pensel. Framstillingen er derfor uten dybde og alskens finurlige detaljer. Men sannelig greier han å krydre med små anekdoter og bemerkninger som viser at han eier både humør og humor. Jeg undres på om forfatteren bevisst prøver å være vittig eller om det bare er artig språk når han hevder at mange-universmodellen for kvantefysikken er *usannsynlig.*

Særlig godt likte jeg presentasjonen av dobbeltspalteeksperimentet. Her fikk Einevoll godt fram hvor mystisk og uforståelig kvantenes verden faktisk er. Jeg var ikke like fornøyd med utgreiingen av forholdet mellom matematikk og fysikk. Jeg fikk ingen opplevelse av at det er rart at verden bryr seg om og samsvarer med vår logiske tenkemåte. Dette kapitlet synes jeg stort sett dreide seg om å gi kvalitativ forklaring på innholdet av fysiske lover uttrykt i matematikkens presise språk. Presentasjonen av feltbegrepet var virkelig for overfladisk, og Maxwells likninger fikk ikke den behandling de fortjener. Leseren burde også fått vite litt mer om hva Higgs-bosonet er for slags raritet.

Jeg synes at den virkelige styrken ved og budskapet til boka er at forfatteren så klart og tydelig får fram at noen få byggesteiner og påvirkninger dem imellom, gir opphav til naturens mangfold. Derfor er det gledelig at Einevoll er innom de mange tilstander som materien kan befinne seg i. Han forteller om uvante fenomen både når det gjelder plasma, gasser, væsker og faste stoffer. Særdeles spennende er det å lese om foreteelsene når kompleksiteten for alvor rår grunnen og blir overveldende. Det er nærmest utrolig at fysikere virkelig våger å gi seg i kast med å studere menneskets snodige bevissthet. Og nå har vi faktisk fått en slags forståelse av hvordan nervesignaler forplanter seg i det mest komplekse system vi kjenner: vår egen hjerne.

Einevoll får også fram at fysikkteori ikke bare består i å etablere fantastiske og overbevisende forslag til naturlover. Fysikerne som gjør eksperimenter, må kunne avkrefte eller bekrefte om naturen følger de foreslåtte reglene. Derfor er særdeles mange av teoretikerne opptatt av å regne seg fram til hva teorien forutsier om forskjellige fysiske situasjoner. Denne matematikken kan volde besvær og hodepine og kan være uoverkommelig. Da trengs det fantasi, oppfinnsomhet og kraftige elektroniske regnemaskiner for å nå fram til et tolkbart resultat.

Men det må bero på en fundamental misforståelse når det blir påstått at spesiell relativiteori ikke dekker situasjoner hvor en observatør akselererer i forhold til en annen observatør. Tvillingparadokset kan også løses uten å måtte ty til Einsteins teori for gravitasjon. Det er heller ikke riktig at Einstein innførte sin kosmologiske konstant for å sørge for et *stabilt univers.* En passende verdi av denne konstanten gir et statisk univers *i likevekt,* men Lemaître viste at likevekten er ustabil.

Disse innvendingene er likevel ikke vesentlige for hovedinntrykket av boka. Jeg ønsker å si fra at den ikke bare er en tjenlig innføring i fysikkens verden for uinnvidde noviser. Også erfarne fysikere vil kunne ha glede av boka. En skal nemlig ikke undervurdere underholdningsverdien som ligger i å møte på nytt det en allerede kjenner. En kan nyte en konsert av Mozart selv om en har hørt den før.

Henning Knutsen

∞

Dag Arne Lorentzen og Alv Egeland: Vinterhimmelens lysorgel over Svalbard. En faktabok om nordlys. Utgitt av Nordlyssenteret, Andøy, 2006. ISBN 978 82-997675-0-7 (85 sider), 190 kr.

Aurora borealis observert og beundret fra Svalbard

I vårt nordlige vinterland kan vi nyte himmelens vakreste fyrverkeri fra beste orkesterplass. Så har vi da også tatt vare på en stolt og ærefull forsk-

ningstradisjon på dette fargesprakende fenomenet. Nå har vi fått universitetssenter på Svalbard, og flinke og flittige forskere fravrister den frosne verden hemmelighetene bak det mystiske nordlyset.

To av disse iherdige vitenskapsfolkene har nå produsert en hendig liten trykksak der de deler sin begeistring med oss som ikke ferdes i de ugjestmilde strøkene. Dag Arne Lorentzen og Alv Egeland har kalt den vesle boka si for "Vinterhimmelens lysorgel over Svalbard. En faktabok om nordlys." Den er spekket med fargerike fotografier, bilder, tegninger og skisser. Det skal være visst at dette stoffet gjør leseropplevelsen lystbetont. Vi blir presentert for observasjoner og teori i en smakfull og herlig blanding, selv om forfatterne av og til forskyver den teoretiske forklaringen til senere omtale.

Leseren får vite at nordlyset skyldes et vidunderlig samspill av den ladde partikkelstrømmen fra Sola og magnetfeltet til Jorda. Han blir fortalt at dette magnetfeltet akselererer og konsentrerer partikkelstrømmen mot magnetpolene til Jorda. Der kolliderer elektroner med gassen i vår atmosfære. Denne gassen består stort sett av oksygen- og nitrogenmolekyler. Ved kollisjonen blir disse partiklene løftet til høyere energitilstander. Etter noen tid faller de tilbake til lavere energitilstander. Da sendes det ut lys som har forskjellig farge alt etter atom- og molekyltype og hvilket energinivå disse ble løftet til.

Vi blir gjort oppmerksom på hvorfor nettopp Svalbard representerer et slikt ypperlig sted å bedrive nordlysforskning fra. Der er vi nemlig nær den såkalte nordlysovalen. Dagnordlyset får grundig omtale. Det kan selvsagt bare beskues når det er mørkt. Desember og januar er da den aktuelle tiden når en ønsker å iaktta dette himmelfenomenet. Men den som beskuer dette lyset, føler seg nok gjerne løftet til andakt og sjelero. Han vil neppe dele den håpløse og triste sinnsstemning vi finner hos hovedpersonen i Arthur Koestlers særdeles viktige roman: "Mørke midt på dagen".

Jeg likte særlig godt den lettfattelige figuren som viser temperaturen i de forskjellige atmosfærelagene. Den figuren der en finner hvordan intensitet og lysfarge varierer med høyde og skifter fra dag til natt, var også oversiktlig og informativ. Bak i boka finnes ei liste over vanlige spørsmål med enkle svar. Det vitner om pedagogisk innsikt.

Så får vi strø litt malurt i begeret. En nærsynt anmelder kunne absolutt styre sin begeistring når han måtte myse på bittesmå figurer som var plassert i margen og forklart med mikroskopisk skrift. Jeg blir ikke *blod rød* av irritasjon når jeg opplever at engelsk skrivemåte trenger seg fram blant våre dypsindige fjorder og barske fjell. *Blodrød* skrives i ett og bare ett ord. Men jeg tilgir forfattere og forlag når valgfriheten vår er blitt overveldende. Her fant jeg *spektret* og *spektrumet* i en og samme setning.

Men innvendingene er ikke vesentlige, for boka er gild den. I skrivende stund slår det meg at i vårt overflodssamfunn må dette være presangen til hvermannsen som visstnok har alt.

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

Victoria Popsueva

Cand.scient. Victoria Popsueva forsvarte 23. november 2007 sin avhandling *Structure and Dynamics of Few-Electron Quantum Dot Molecules* for dr.scient.-graden ved UiB.

Halvleder- og nanoteknologien har gjort det mulig å lage "kunstige" atomer og molekyler. Slike "atomer" (quantum dots) er halvlederstrukturer som fungerer som feller som kan holde på noen få elektroner. Disse strukturene er så små at de har diskrete energispektra og må beskrives kvantemekanisk. Hvis vi kobler to eller flere slike feller sammen får vi et todimensjonalt "kunstig molekyl". Disse er ofte av størrelsesorden 100 nm, og er flere hundre til tusen ganger større enn naturlige molekyler. Likevel har de mange likheter med naturlige molekyler og gir oss muligheter til å studere egenskaper som er vanskelige å studere ellers. Ved hjelp av elektromagnetiske felt og pulser kan man manipulere de enkelte elektronene. Dette er viktig for å kunne anvende kunstige molekyler i logiske kretser i kvantedatamaskiner.

I doktorarbeidet har Popsueva behandlet "diatomiske" kunstige molekyler med 1 og 2 elektroner teoretisk, og har utviklet en modell som har gjort det mulig å beregne energispektra til elektronene i molekylet. Hun har lagt vekt på studier av effekten av elektronenes vekselvirkning og beskriver hvordan elektromagnetiske felt kan kontrollere elektronet i et slikt molekyl. Det ble brukt numeriske kvantemekaniske metoder for å beskrive disse systemene.

Arbeidet er utført med professorene Jan Petter Hansen og Ladislav Kochbach som veiledere, og er finansiert av Forskningsrådet.

∞

Trim i FFV

FFVT 1/08

Med robåt på Sirkelsjøen

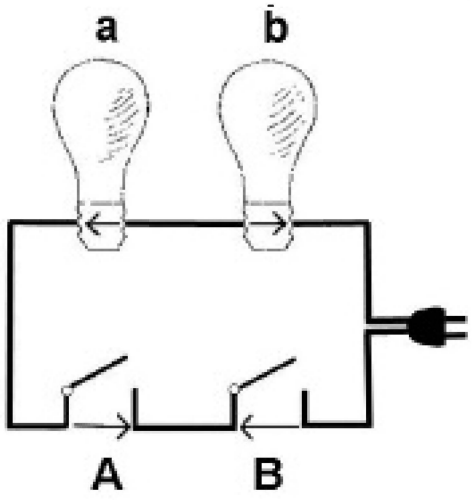
En dame ferierer ved den helt sirkelrunde Sirkelsjøen. For å slippe unna en påtrengende mann bruker hun en robåt og ror ut til en flåte som er forankret ved sjøens sentrum. Mannen setter seg ved sjøkanten og venter på at hun skal komme til lands igjen. Siden han vet at han kan løpe fire ganger fortere enn hun kan ro, regner han det som opplagt at han skal klare å møte henne når hun kommer til lands.

Men damen, som er flink til å regne, har andre planer. Hun vet at hun kan løpe fra mannen hvis hun kommer til lands før han når frem til landingsstedet. Hun klekket ut en strategi for roingen, og strategien brakte henne i land uten at mannen rakk frem før henne. Hvordan var strategien? (Vi må regne med at damen hele tiden vet både sin egen og mannens posisjoner.)

Løsning FFVT 4/07

Løsning på lampeparadokset

Det er innebygget dioder både i lyspærene (som må konstrueres spesielt) og i bryterne, se figur. Pilene indikerer mulige strømretninger gjennom diodene.



Med både A og B lukket, veksler strømmen retning 50 ganger i sekundet. Når strømretningen tilsvarer diodepilens retning i en lampe, vil strømmen gå gjennom dioden, og ingen strøm går gjennom lampens glødetråd. Begge lampene vil derfor lyse, men svakere enn normalt.

Med én bryter åpen og én lukket, vil strømmen bare kunne gå i én retning halvparten av tiden. Lampen med pil motsatt strømretningen vil da lyse, men med redusert intensitet.

Når en lampe fjernes blir strømkretsen brutt, og den andre lampen slukner uansett bryterstillinger.

∞

Påskenøtt

En rakett befinner seg i en konstant høyde over jordoverflaten med motoren på, slik at gass skytes loddrett nedover. Vi antar høyden er så stor at vi ikke behøver å ta i betraktning hva som skjer når gassen treffer jorda. Luften er også uten betydning i dette problemet og kan neglisjeres. Drivstoff forbrennes til gass som får en bevegelsesmengde rettet nedover. Motoren justeres slik at raketten og resten av drivstoffet er i ro i forhold til jordoverflaten. Dermed dannes en bevegelsesmengde rettet nedover for systemet rakett– drivstoff. Dette ser ut som et brudd på prinsippet om bevegelsesmengdens bevarelse. Utfordringen er å gjøre rede for bevegelsesmengderegnskapet i denne situasjonen.

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer 10. des. 2007

Andreassen, Dag; Dønski vgs, Boks 33, 1309 Rud

Birkeland, Christian; Stadsnesvegen 41, 6030 Langevåg

Bjåstad, Sverre; Geilehøgda 11, 6060 Hareid

Brastad, Lodve; Kvikane, 6230 Sykkylven

Centerham, Laszlo; Lambertseter vgs, Cecilie Thoresens vei 6, 1153 Oslo

Dimmen, Jenni-Mari Hildre; Kvasnesvegen 176, 6037 Eidsnes

Eliassen, Sigurd; 6062 Brandal

Gisler, Galen Ross; Physics of Geological Processes, UiO, Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

Grøva, Morten; Kranarveien 29, 6510 Kristiansund N

Hanken, Helene; Tørla, 6020 Ålesund

Harholt, Henning; Fagerborg vgs, Pilestredet 109, 0358 Oslo

Hatlevoll, Hilde; Berg vgs, John Colletts allé 106, 0870 Oslo

Holst, Bodil; Inst for fysikk og teknologi, UiB, Allégt 55, 5007 Bergen

Jensen, Izabella; Thor Heyerdahl vgs, Boks 2116 Stubberød, 3255 Larvik

Johansen, Marie; Tevegen, 6040 Vigra

Johnsgard, Solfrid Vada; Lambertseter vgs, Cecilie Thoresens vei 6, 1153 Oslo

Kaarud, Per Ingar; Elvebakken vgs, Vestre elvebakke 3, 0182 Oslo

Mohammad, Abdul Basit; Elvebakken vgs, Vestre elvebakke 3, 0182 Oslo

Markussen, Roger; Solheimveien 1B, 4790 Lillesand

Mokkelbost, Aage; Buesvingen 4, 6517 Kristiansund N

Myklevoll, Kari; St Hansveien 7B, 6510 Kristiansund N

Røssevold, Anne; Røysegt 2, 6003 Ålesund

Sandulescu, Mathias; St Hansveien 7B, 6510 Kristiansund N

Schmitz, Liselotte Katharina; Underlia 45, 3021 Drammen

Storheim, Espen; Storheim, 5938 Sæbøvågen

Strømman, Arve; Tennisveien 22B, 6508 Kristiansund N

Suleiman, Adam B; Hans Homboesgt 10, 5007 Bergen

Thorsen, Åge-Johan; Trostelia 11, 1388 Borgen

Vågnes, Arne; Fjellbu 58, 6270 Brattvåg

∞

Studér fysikk!

Limericks fra fysikkens verden

Alternativ metode

En fysikklærer — kanskje litt gal?
Slengte rundt en elev som het Carl.
"Den kraften du kjenner
i armer og hender —
den kalles for sentripetal"

Om fotball

Å sparke en ball skikkelig hardt
Kan vær vondt, det har mange erfart
Men farten den mottar
er kjent når du godtar:
Bevegelsesmengden bevart

Fra historien

Fenomenet var lenge fordekt,
Men gåten av Albert ble knekt:
At lys har en grense
For når man kan ense
En fotoelektrisk effekt

Et lyspunkt i Trøndelag

Ein fysikk-elev utpå Garten
Hain stræva, ja helt fortvilt vart'n
Før det plutsle va stopp,
for lyse gikk opp:
"Det e krafta som endre på fart'n"

Rapport fra utlandet

Nedi Cern du så jobber de hardt
med ting som er merklig og rart
og skriver artikler
om antipartikler
og Higgs'en som dukker opp snart

Motivasjon

På astrofysikk oppå Blindern
Så kikker'em stadig mot himmern
Etter fjerne objekter
med forskjøvet spekter
dem håper får navn etter finner'n!

Astrid Johansen
Adolf Øiens skole

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

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

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

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

Fra Fysikkens Verden

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

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO

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

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68
Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71
e-post: oystein.elgaroy@astro.uio.no
e-post: oyvind.gron@iu.hio.no
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no
Bankgiro: 6094.05.40227

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