Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 2000
62. årgang

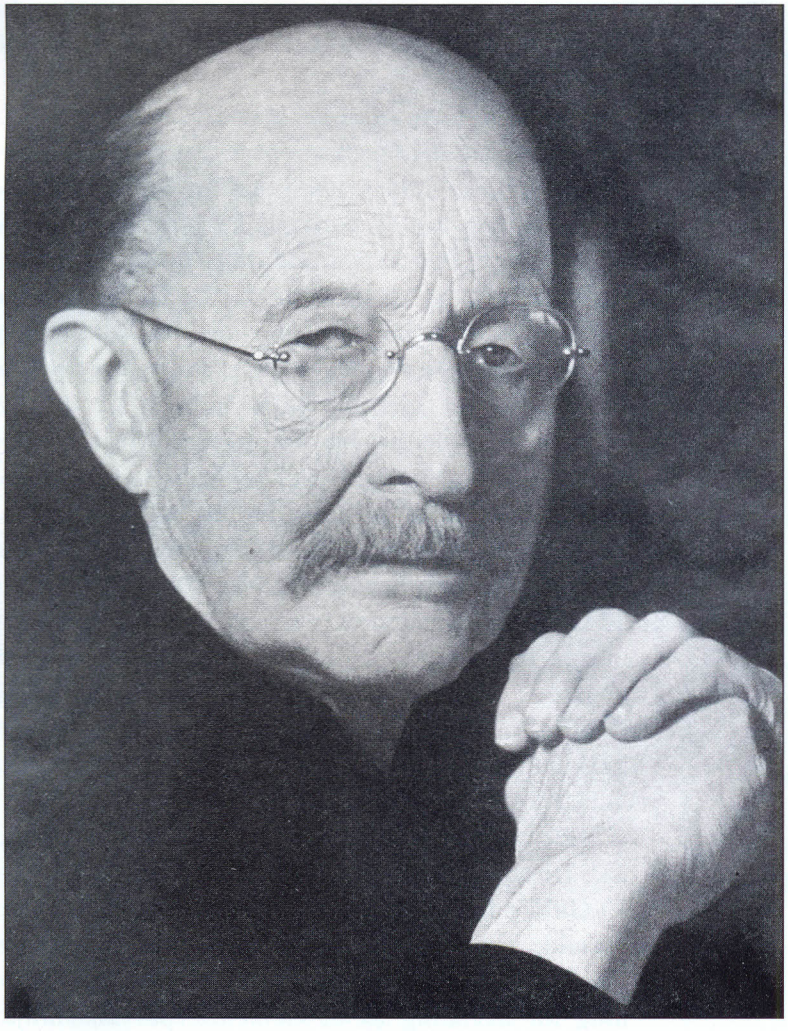
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Aasmund Sudbø:
Heterostrukturar i halvleiarar . . 106
Haakon A. Olsen:
Wolfgang Pauli (1900-1958) . . 110
Finn Ingebretsen:
Max Planck og kvantefysikken . . 114
E. K. Henriksen, C. Angell og A. Isnes:
FUN – Fysikkutdanning i Norge . 118
Fra Redaktørene 102
FFV Gratulerer 102
Sven Oluf Sørensen
Fysikknytt 103
Ser vi Higgsbosonet ved LEP?
Nobelprisen i fysikk 2000 103
Konferanse 123
ICPS 2000 i Kroatia
Bokomtaler 125
Fysikksnutter 126
Nye Doktorer 127
Dr.ing. Christian Brekken
Dr.scient. Einar Dale
Dr.ing. Audun Ramstad
Trim i FFV 129
Hva skjer 130
Fysikermøtet 2001
Nytt fra NFS 131
Priser til utdeling
Nye medlemmer



Max Planck - kvantefysikkens far
(se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Når år 2000 er i ferd med å ebbe ut, og vi snart trer inn i et nytt årtusen, blir FFV-redaksjonen – i sitt forsøk på å gjøre opp en slags status – aldri så lite nostalgisk. Dette er den seksogfemtiende Fra redaktørene-spalten vi skriver, og en gjennomgang av denne serien med "gullkorn" avslører at stemningen i stor grad har vært preget av at norsk fysikk i de siste ca. 20 årene på flere måter har seilt i til dels sterk motvind. Våre gleder har vi først og fremst kunnet hente fra våre fag som både engasjerer og utfordrer. Våre sorger står de bevilgende myndigheter for; tilsynelatende har de satt seg som mål stadig å slå sin egen rekord av mindre og mindre porsjoner av tildelte ressurser – en slags ytre pålagt anoreksi.

Fra Fysikkens Verden ble startet av entusiastiske idealister i en tid som var ganske annerledes enn nå; den "moderne" fysikken var ennå ung, nye oppdagelser og viktige faglige gjennombrudd var grunnlag for stor optimisme, og man følte at det var viktig å nå ut til den interesserte allmennhet med tilrettelagt stoff fra fysikkens spennende verden. Og interessen har til sine tider vært stor, derom er det ingen tvil. 1950- og 60-årene var preget av stor entusiasme på alle nivåer, og realfagene, i første rekke fysikk, var attraktive for såvel unge mennesker som for myndigheter.

Det paradoksale ved dagens situasjon er at samfunnets behov for fysikeres faglige innsikt og bidrag kanskje er større nå enn noen gang tidligere, mens ressurstilgang og unge menneskers interesse for fysikk er på et lavmål. Aldri før har det siviliserte samfunn vært så avhengig av dyp innsikt i naturens mange fasetter. Fysikk som viktig og kanskje avgjørende faglig ballast, spiller en stadig større rolle i tilgrensende fagområder, en tendens som helt sikkert bare vil øke. Løsninger på de globale problem knyttet til økende miljøforandringer er helt avhengig av vår vitenskap, både når det gjelder å erstatte forurensende produksjonsmetoder og når det gjelder å håndtere eksisterende og fremtidige forurensninger. Behovet for saklig og nøktern informasjon er derfor enda større nå enn da FFV så dagens lys. Ufordringene er mange og ansvaret er stort. Men dette ansvaret er det ikke bare fysikerne som har!

∞

FFV Gratulerer

Sven Oluf Sørensen 80 år

Dr.philos. Sven Oluf Sørensen, professor emeritus i fysikk ved Universitetet i Oslo, fylte 80 år 26. november i år.

Sørensen introduserte høyenergi kjernefysikk og elementærpartikkelfysikk ved Universitetet i Oslo omkring 1950, etter noen års opphold i Bristol som dengang var et sentrum for slik vitenskapelig virksomhet. Den eksperimentelle teknikk var dengang basert på eksponering av sølv- og bromkjerner i fotografisk emulsjon for kosmisk stråling. Interessante observasjoner ble studert ved hjelp av mikroskop, en metode billig nok til at det var mulig å gi vitenskapelige bidrag også her til lands. Observasjoner av reaksjoner mellom energirike protoner i den kosmiske stråling og sølv- og bromkjerner i emulsjonene, ledet til nye og fundamentale oppdagelser. Sørensen ble spesielt kjent for sine iakttagelser av direkte emisjon av K-partikler og "tunge fragmenter" fra høyt eksiterte sølv- og bromkjerner. Mulig sentral produksjon av "fireballs" av høyt eksitert kjernematerie produsert i ekstremt høyenergetiske kjerne–kjerne reaksjoner, ble studert innen den internasjonale kollaborasjonen ICEF.

Sørensen var en av initiativtakerne til et nordisk samarbeidsprosjektet der pp-reaksjoner ved 19 GeV/c ble observert ved hjelp av boblekammerteknikk ved det felleseuropeiske senter CERN ved Genève, Sveits. Dette samarbeidet fikk stor betydning for utvikling av et elementærpartikkelmiljø i

hele Norden. Sørensen deltok også i undersøkelser av antiproton–kjerne reaksjoner på CERNs LEAR, og inntil for få år siden undersøkte han mulighetene for observasjon av de såkalte "Centaurer" i den kosmiske stråling. Hans miljøskaperrolle i norsk elementærpartikkelfysikk i dens første tid er velkjent og rosverdig.

Sven Oluf Sørensen har mange interesser også utenom fysikken. Han er spesielt interessert i malerkunst, men også i historie, da ikke minst i det forrige århundres dramatiske forløp. Ved sitt vennlige vesen, enestående replikkunst og gode humør, er Sørensen alltid et midtpunkt der han ferdes. Han gratuleres med 80-årsdagen med ønske om fortsatt mange gode år – og god fysikk!

T.Jacobsen K.Gjötterud K.M.Danielsen T.Buran E.Osnes F.Ingebretsen R.Møllerud

∞

Fysikknytt

Ser vi Higgsbosonet ved LEP?

LEP, *The Large Electron Positron Collider* ved CERN, skulle etter planen stanses for godt i 1999. Imidlertid fant man det viktig å kjøre også i år fordi man da ville kunne nå høyere massesenterenergi, hvilket er en viktig faktor i søket etter nye partikler. Det er nå meldt om interessante resultater fra flere av de fire eksperimentene ved LEP.

Det rapporteres om et overskudd (i forhold til forventet bakgrunn fra velkjente prosesser) av hendelser med fire såkalte kvark-jet-er, der minst to av jet-ene har kjennetegn som tyder på at de har sin opprinnelse i den tunge b-kvarken. Slike hendelser forventes når det lenge ettersøkte *Higgs-bosonet* produseres sammen med et Z-boson ved reaksjonen $e^+e^- \to Z^* \to HZ$. Higgs-bosonet har meget stor sannsynlighet for å henfalle til et $b\bar{b}$-par, mens Z-bosonet har en betydelig sannsynlighet for å henfalle til et av de fem kinematisk tilgjengelige kvark–antikvarkparene.

I øyeblikket er det mulige signalet ikke så signifikant at man kan gjøre krav på en oppdagelse. I tillegg er det flere uklarheter forbundet med observasjonene dersom de skal passe med Higgsproduksjon slik Standardmodellen forutsier. Det er for å gjøre det mulig å oppklare noen av disse forholdene at LEPs kjøretid ble utvidet.

Når dette skrives, 1. november, står en hær av teknikere klar til å starte demonteringen av LEP-ringen for å gi plass til oppbygging av den nye LHC-akseleratoren. Til tross for dette er det ikke utelukket at CERNs ledelse vil la LEP få en ekstra kjøreperiode med enda litt høyere massesenterenergi i år 2001. Dette vil bli en vanskelig avveining mellom mulighetene for å gjøre fysikk i nobelprisklassen og de store omkostningene en utsettelse av allerede inngåtte kontrakter for LEP-demontering og LHC-oppbygging vil innebære.

Vi vil komme tilbake med en mer utførlig artikkel etter at LEP-dataene samlet inn i høst er ferdig analysert og en endelig beslutning om eventuell kjøring av LEP i år 2001 er fattet.

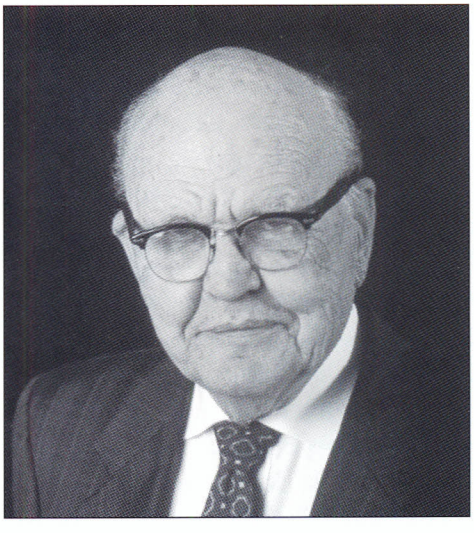
Lars Bugge og Alex Read
Fysisk institutt, UiO

∞

Nobelprisen i fysikk

Årets fysikkpris ble gitt for to oppfinnelser innen informasjonsteknologi, integrerte kretser og heterostrukturer i halvledere.

Integrerte kretser



Jack S. Kilby, som har arbeidet ved Texas Instruments og har vært professor ved Texas A&M University, fikk halve Nobelprisen i fysikk for sin innsats ved oppfinnelsen av integrerte kretser.

La oss begynne med den forrige "informasjonsteknologiprisen" i fysikk. I 1956 gikk den til Shockley, Bardeen og Brattain, ni år etter at de hadde oppdaget transistoreffekten i halvledere. Presentasjonstalen i Kungliga Vetenskapsakademien i Stockholm den gang inneholdt selvsagt ingen spådommer om utviklingen av det vi nå kaller moderne informasjonsteknologi. Professor Rudberg ordla seg slik (min oversettelse): "Høreapparater, regnemaskiner, telefonsentraler og mange andre anvendelser trenger nettopp en slik innretning." Et hovedpoeng var at den nye oppfinnelsen, transistoren, oppførte seg som et radiorør, men var mindre, brukte mindre elektrisk strøm og var mer pålitelig. I retrospekt kan vi slå fast at IT-æraens grunnelement, dens "atom", var oppfunnet.

Før vi går til årets prisvinner, vil jeg minne om transistorens funksjon i en digital krets. Transistoren er en komponent med tre elektroder. Det kan gå en elektrisk strøm fra emitter til kollektor, styrt av spenningen mellom styret ("gate") og emitter. For å lage nyttige funksjoner, må vi forbinde titusener av transistorer med ledere. Den elegante måten å gjøre dette på, er å legge lederne som metallstriper på isolatorer, og på samme materiale som transistorene lages av. Det var nettopp det Kilby gjorde.

Kilbys oppfinnelse kom i 1959, tre år etter "transistorprisen". Oppfinnelsen kalles den integrerte krets, og navnet indikerer at en kunne forbinde flere transistorer *på samme brikke* med metall-ledere deponert direkte på brikken. Før denne oppfinnelsen kunne man lodde sammen flere tusen komponenter på et kretskort; men med den integrerte kretsen var grunnlaget lagt for å integrere mer enn ti millioner transistorer på en brikke mindre enn 5 cm^2, og industrien selv antyder at en halv milliard transistorer kan integreres på en brikke innen år 2020. Avgjørende ved den nye oppfinnelsen var økende funksjonalitet, mindre og raskere kretser, og ikke minst mye mer pålitelige kretser. I vår mobile verden er lavt effektforbruk spesielt viktig. Kilbys oppfinnelse ble avgjørende for den utvikling som kalles Moores lov: En dobling hvert år, senere justert til dobling hver 18. måned, i antall transistorer som kan integreres på en silisiumbrikke, og derved stadig økende funksjonalitet. I Moores lov ligger også eksponentiell vekst i ytelse, og eksponentiell reduksjon i pris per transistor.

Kilbys oppfinnelse lyder nesten banal. Var ikke dette bare en opplagt teknologisk utvikling, når først transistoren var oppfunnet? Det ble et slags forskerkappløp, fordi mange vitenskapsmenn resonnerte seg til lignende konsepter. Men det var ikke "bare" å utvikle teknologien. "The proof of the pudding is in the eating, not in the recipe", sier britene. Genialiteten lå i hvordan de teknologiske problemene ble overvunnet. Plassen tillater dessverre ikke å beskrive hele den kronglete vei fra silisium til germanium til silisium, valg av isolator og valg av ledermateriale – gull eller aluminium? Men vi må ta med at Kilby i 1958 viste at det var mulig å framstille alle de diskrete komponenter som trengs i en oscillator i silisium, og at disse kunne loddes sammen. Det videre arbeidet ledet til germanium, som var det dominerende halvledermaterialet den gang. Han fremmet en patentsøknad i februar 1959: "Miniaturized Electronic Circuits." Transistorene og de passive komponentene ble forbundet med gulltråder. Men hovedpoenget lå så å si i en "bisetning": Kilby nevnte også *muligheten* til å bruke gullstriper på isolerende materiale for å oppnå ledende forbindelse mellom komponentene på brikken. En mengde grunnleggende forskning innen materialteknologi var nødvendig, og utallige eksperimenter ble utført. Men sluttresultatet ble at grunnstoffet silisium ble valgt som halvledermateriale, silisiumdioksid ble funnet best som isolator, og aluminium viste seg å ha de beste heft- og termiske egenskaper. "Arbeidshesten" i dag er felteffekttransistoren. Totalt gir disse oppdagelsene effektiv og rimelig masseproduksjon av de mest komplekse innretninger som lages i dag: mikroprosessoren. Vi må også gjøre ære på medoppfinneren. Robert Noyce fra Fairchild Electronics, utviklet en annen metode for integrering enn Kilby. Det var Noyce som benyttet aluminium som ledermateriale, og han søkte patent på dette. Sammen med kolleger grunnla Noyce firmaet Intel (akronym for Integrert Elektronikk). Det endte med patentkonflikt mellom Texas Instruments og Fairchild Electronics/Intel. Det ble Noyce som vant i retten, men den videre utviklingen var fredelig med lisensutvekslinger. Noyce og Kilby regnes begge som medoppfinnere av den integrerte krets. Men Noyce døde i 1990, ellers ville han opplagt delt prisen. Det tok altså hele 41 år fra oppfinnelse til Nobelpris denne gangen, mot 9 år da transistoren ble hedret med Nobelprisen i fysikk.

Nobelkomiteen nevner også andre produkter som ble utviklet på grunnlag av den integrerte kretsen: Små prosessorer som kontrollerer alt fra vaskemaskiner og biler til romstasjoner og medisinsk utstyr som tomografer og MR-utstyr. Jeg hører et lite

sukk når komiteen legger til: Mikrobrikken har også ført til at våre omgivelser oversvømmes av små elektroniske apparater ("our environment being flooded with..."), fra elektroniske klokker og TV-spill til lommekalkulatorer og personlige datamaskiner.

Disse små prosessorer kalles mikrokontrollere. En gjennomsnittsamerikaner er via sine daglige gjøremål i kontakt med 60 mikrokontrollere hver dag, og vi nordmenn er antagelig i kontakt med flere. Mikrokontrollermarkedet er i større vekst enn noe annet segment av halvlederbransjen. Vi har svært begrenset produksjon av halvlederkomponenter i Norge, men 12–15 bedrifter designer integrerte kretser på oppdrag, og flere av dem konkurrerer på verdensmarkedet med mikrokontrollere, sensorer, radiofrekvenskretser for kortholds trådløs kommunikasjon, og høyytelse analog-til-digital omformere. Produksjonen skjer i utlandet. Men hvorvidt vi har noen Nobelpris i vente i denne sektoren i Norge, vil jeg ikke spekulere i.

Einar Johan Aas
Inst. for fysikalsk elektronikk, NTNU

∞

Heterostrukturar i halvleiarar

Den andre halvdelen av Nobelprisen i fysikk blei gjeven for oppfinninga av heterostrukturar i halvleiarar, og blei delt mellom Zjores Alfjorov (t.v.) ved Joffeinstituttet i St.Petersburg, og Herbert Kroemer ved University of California Santa Barbara (UCSB). Alfjorov, som er fødd i Kviterussland, har vore direktør for Joffeinstituttet sidan 1987, medan Kroemer, som er fødd i Tyskland, har vore professor ved UCSB sidan 1976.

Integrerte krinsar er i stor grad framstilte av reint og homogent silisiummateriale. Ein heterostruktur, derimot, er ein halvleiar som er bygt opp av fleire ulike stoff, til forskjell frå noko som er eins eller homogent som silisium. Det er ikkje fyrste gong Nobelkomiteen har halde fram heterostrukturar. Det skjedde med supergitter i 1973 då L. Esaki fekk prisen, og med den kvantiserte hall-effekten, både i 1985 då K. von Klitzing fekk prisen, og i 1998 då D.C. Tsui og H.L. Stoermer fekk prisen.

CD-spelarar, satellitt-tv-antenner, basestasjonar for mobiltelefon og fiberoptisk kommunikasjon for Internett treng alle heterostrukturar for å verke. I lesehovudet på CD-spelarar, i skrivehovudet på CD-brennarar og i ein fiberoptisk sendar sit det ein laserdiode som det ikkje er mogeleg å framstille utan som heterostruktur. Moderne 'lyspærer' (lysemitterande diodar, LED-ar) og fotodetektorar (fotodiodar) er også framstilde med heterostruktur, fordi det gjev den beste yteevna. Når det gjeld transistorar, er det særleg på høge frekvensar at ein heterostruktur er nyttig. Forsterkninga blir større og eigenstøyen mindre enn i transistorar av silisium. I dag er det særleg for mikrobølgjer, dvs. frekvensar større enn 1 GHz, at heterotransistorar er aktuelle. I mikrobølgjehovudet på parabolantenner for satellitt-tv sit det slike transistorar, det same gjer det i basestasjonane for mobiltelefon. (Frekvensane som er i bruk for mobiltelefon, 0,45 GHz, 0,9 GHz og snart 1,8 GHz i Europa, er likevel ikkje høgare enn at ein i sjølve handtelefonen kan greie seg med vanleg silisiumelektronikk, som er mykje billegare enn elektronikk basert på heterotransistorar.)

Ein kan seie at IT-soga starta med den fyrste transistoren i 1947, i laboratoriet til W.B. Shockley. Han søkte i 1948 patent på oppfinninga, noko han fekk i 1951. Alt i patentsøknaden påpeikar Shockley nokre av fordelane med ein heterostruktur i ein transistor. I 1957 publiserte Herbert Kroemer den fyrste grundige analysen av ein bipolar transistor med heterostruktur. I 1963 foreslo han å bruke heterostruktur i ein halvleiarlaser. Det er desse to bidraga han nå er tildelt Nobelprisen for. Bakgrunnen i 1963 var at T.H. Maiman i 1960 hadde demonstrert den fyrste laseren, og i 1964 mottok C.H. Townes, N.G. Basov og A.M. Prokhorov Nobelprisen i fysikk for å ha lagt grunnlaget for utviklinga av laseren.

Under den kalde krigen på 60-talet var det svært lite kontakt mellom russiske og vestlege forskarar, men forskarar ved Joffe fysisk-tekniske institutt i Leningrad (nå St. Petersburg) hadde også idear om

å bruke heterostrukturar i diodelaserar. Uavhengig og samtidig med Kroemer, sende R.F. Kazarinov og Z.I. Alfjorov inn ein patentsøknad om dette. Kapplaupet om å laga diodelaserar som kunne lyse kontinuerleg ved romtemperatur var då i gang, og i 1970 vann russarane ved Joffeinstituttet dette kapplaupet, i konkurranse med laboratoria til Bell, IBM og RCA i USA.

Industrien for integrerte krinsar er opplagt større enn industrien for heterostrukturar, sjølv om denne industrien også er stor, både i Europa og USA, og ikkje minst i Japan. Nobelprisen i fysikk er i år delt ut for oppfinningar som vi alle brukar til dagleg, og som verda har gjort seg heilt avhengig av. Det er ikkje å taka for sterkt i å seie at desse oppfinningane har vore sterkt medverkande til den jamne framgangen i materiell velstand som vi har hatt nå i over femti år.

Ein meir utfyllande artikkel om heterostrukturar følgjer nedanfor.

Aasmund Sudbø
Universitetsstudiane på Kjeller (UniK)
og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

∞

Heterostrukturar i halvleiarar

Aasmund Sudbø *

Det svenske vitskapsakademiet har i år gjeve Nobelprisen i fysikk for to oppfinningar: heterostrukturar i halvleiarar og integrerte krinsar.[1] Begge oppfinningane blei patenterte av dei som nå fekk prisen. Bakgrunnen for pristildelinga er omtalt i ein annan artikkel i bladet. Her skal vi sjå litt nærare på ideane om heterostrukturar, og særleg prøve å få fram nytten av slike strukturar i transistorar og diodelaserar.

Tida for å gjera store oppdagingar i fysikk er forbi – den naturen vi møter i dagleglivet er i samsvar med dei fysiske lovane slik vi kjenner dei, og så langt vi har testa dei. Det er ikkje dermed sagt at naturen ikkje kan halde fram med å overraske oss – dei fysiske lovane er stort sett slik at vi ikkje kan bruke dei til å rekne ut korleis naturen vil oppføre seg i framtida i noko særleg grad. Det er bare i nøye uttenkte strukturar, som heterostrukturar eller integrerte krinsar, at vi kan få naturen til å oppføre seg slik at vi kan rekne ut oppførselen nøyaktig.

Halvleiarstrukturar er heilt sentrale for moderne mikrobølgjeelektronikk og fotonikk; og heterostrukturar står sentralt i alle moderne lærebøker om elektronikkomponentar, som referansane (2–6) gjev eksempel på.

* Universitetsstudiane på Kjeller (UniK) og Fysisk institutt, UiO

Ein elektronikkomponent er vanlegvis laga av svært homogent silisium. Det er ikkje ein heterostruktur. Ein slik struktur er ein halvleiar som er bygt opp av fleire ulike område, kvart med sin kjemiske samansetnad, sitt bandgap og sine optiske eigenskapar. Gjennom heile strukturen står likevel atoma på rekke og rad i same retning, slik at strukturen er ein såkalla einkrystall.

Litt historie

Den fyrste transistoren blei demonstrert i laboratoriet til W.B. Shockley ved Bell Laboratories i New Jersey, i 1947. I 1956 fekk han saman med J. Bardeen og W.H. Brattain Nobelprisen i fysikk for transistoroppfinninga. Ei kort framstilling av denne epoken i IT-soga er å finne i referanse (7). Eit anna interessant perspektiv er å finne i innleiinga til (8).

I 1957 publiserte Herbert Kroemer den fyrste grundige analysen av ein bipolar transistor med heterostruktur.[9] I 1963 foreslo han å bruke heterostruktur i ein halvleiarlaser.[10,11] Uavhengig og samtidig med Kroemer, sende R.F. Kazarinov og Z.I. Alfjorov inn ein patentsøknad om same slag diodelaser. Dei arbeidde ved Joffeinstituttet i St. Petersburg, og forskningsgruppa til Alfjorov var i 1970 den fyrste i verda til å demonstrere diodelaserar som kunne stråle kontinuerleg utan kjøling.

Kroemer og Alfjorov gav i 1996 sine eigne framstillingar av historia.[12,13] Kroemer har skreve to lærebøker,[14,15] og den eine brukar vi i kurset 'Statistisk fysikk' (FYS 114) ved Universitetet i Oslo. I år har Kroemer og Alfjorov kvar fått ein kvart Nobelpris for innsatsen sin.

Mykje av utviklinga av komponentar baserte på heterostrukturar skjedde på 1960- og 70-talet i teleforskningslaboratorium leia av British Telecom, Bell Laboratories i USA, og Nippon Telegraph and Telephone (NTT) i Japan. I Noreg prøva vi også å bli med på denne utviklinga, frå midt på 80-talet, i eit samarbeid mellom NTH og SINTEF i Trondheim og forskningsinstitutta til Televerket og Forsvaret på Kjeller. Både i Trondheim og på Kjeller blei det investert i utstyr for framstilling av heterostrukturar ved hjelp av molekylstråleepitaksi (eng. fork. MBE). På Kjeller blei ein forskar frå Joffeinstituttet engasjert av Televerket, og vi hadde i denne samanhangen besøk av Z.I. Alfjorov både på Kjeller og i Trondheim. Ein av professorane våre her ved Fysisk institutt, UiO, Iouri Galperine, kjem også frå Joffeinstituttet.

Utover på 90-talet fann dei fleste teleoperatørar ut at dei måtte reindyrke rolla si og overlate utviklinga av elektronikkomponentar til elektronikkindustrien. Det skjedde også i Noreg, men her i landet visa det seg svært vanskeleg å få etablert ei verksemd som kunne vidareføre satsinga på komponentar for telekommunikasjonsbruk, og i 1996 blei denne aktiviteten nedlagt. Forsvarets forskningsinstitutt på Kjeller arbeider stadig med heterostrukturar for deteksjon av termisk stråling.

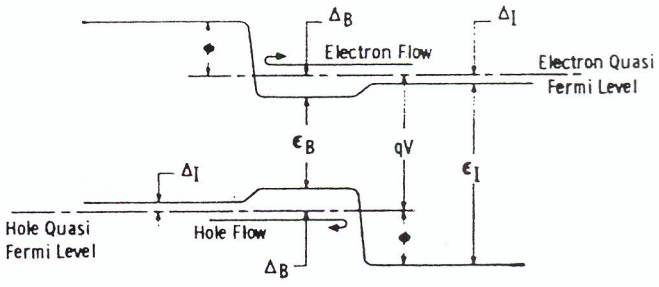
Produksjon av diodelaserar og heterotransistorar er i dag ein stor industri dominert av japanske firma.

Fysikken i heterostrukturar

Heterostrukturar er gjerne lagstrukturar som blir framstilte ved at ein startar med ei skive av ein rein og homogen ein-krystall av ein halvleiar, der atoma står fint på rekke og rad i same retning. Silisium og galliumarsenid er dei vanlegaste materiala å starte med. I eit kjemisk reaksjonskammer blir så ein lagstruktur bygd opp på skiva. Groper og grøfter må etsast i lagstrukturen i andre reaksjonskammer, og fleire rundar med lagvis pålegging av halvleiar-, metall- og isolatormateriale må til for å få fram ein ferdig elektronisk komponent som ein transistor eller ein laserdiode.

Ofte verkar dei komponentane som baserer seg på heterostrukturar best dersom krystallstrukturen er perfekt, bortsett frå kontrollerte avvik for spreidde enkeltatom i krystallen. Praktisk nyttige heterostrukturar er alltid baserte på legeringar, f.eks. av silisium (Si) og germanium (Ge), eller av galliumarsenid (GaAs) og aluminiumarsenid (AlAs). Krystallen er bare perfekt i den forstand at i f.eks. AlGaAs er annankvar posisjon i krystallen ein Al-posisjon og annankvar ein As-posisjon, men på eit tilfeldig utval av Al-posisjonane sit det eit galliumatom.

Mange av dei sentrale fysiske eigenskapane ved heterostrukturar er å finne i figur 1. Figuren visar skjematisk bandstrukturen i ein pn-diode med dobbel heterostruktur, ein trelagsstruktur. Til venstre i figuren er eit halvleiarmateriale av p-type, fylt opp med elektron til sitt ferminivå like under toppen av valensbandet. Til høgre er same halvleiarmaterialet av n-type, fylt opp med elektron til sitt ferminivå, litt over botnen av leidningsbandet.



Figur 1. Energidiagram som visar bandstrukturen i ein pn-diode med dobbel heterostruktur. Diagrammet, som er henta frå Kroemers originalartikkel i 1963,[10] visar energien for eit elektron i botnen av leidningsbandet og på toppen av valensbandet, som funksjon av posisjon vinkelrett på dei tre laga som heterostrukturen er bygd opp av. Strukturen har eit lag med lite bandgap ε_B mellom to lag med større bandgap ε_I. Dioden er forspend med ei spenning V i leieretninga frå venstre mot høgre.

Forskjellen i ferminivå mellom høgre- og venstresida er lik elektronladninga $-q$ gonger forspenninga V på dioden. I midten har vi eit materiale som kan vera svakt p-eller n-dopa, der bandgapet ε_B er mindre enn bandgapet ε_I i materialet utanfor. I ein struktur som den i figur 1, kan vi få botnen av leidningsbandet til å bli lågast i midtlaget, som blir ein 'potensialbrønn' som samlar opp elektronar frå n-sida. Vidare kan vi få toppen av valensbandet høgast i midtlaget, som blir ein 'potensialbrønn' for

hol frå *p*-sida. Dette er skissert i figuren. Eit hovudpoeng i Kroemers sin artikkel[9] var at ein heterostruktur ville ha variasjonar i energien til bandkanten for både leidningsband og valensband som ville verke som innebygde elektriske felt og samle ladningsberarar (elektron og hol) på somme stadar, og støyte dei vekk frå andre stader. I ein heterostruktur i likevekt får ein dermed ei romladningsfordeling som også påverkar bandkantsenergiane. (Det at romladning gjev 'bøying' av leidningsband og valensband, har ein også i deplesjonssonen i ein vanleg *pn*-diode.)

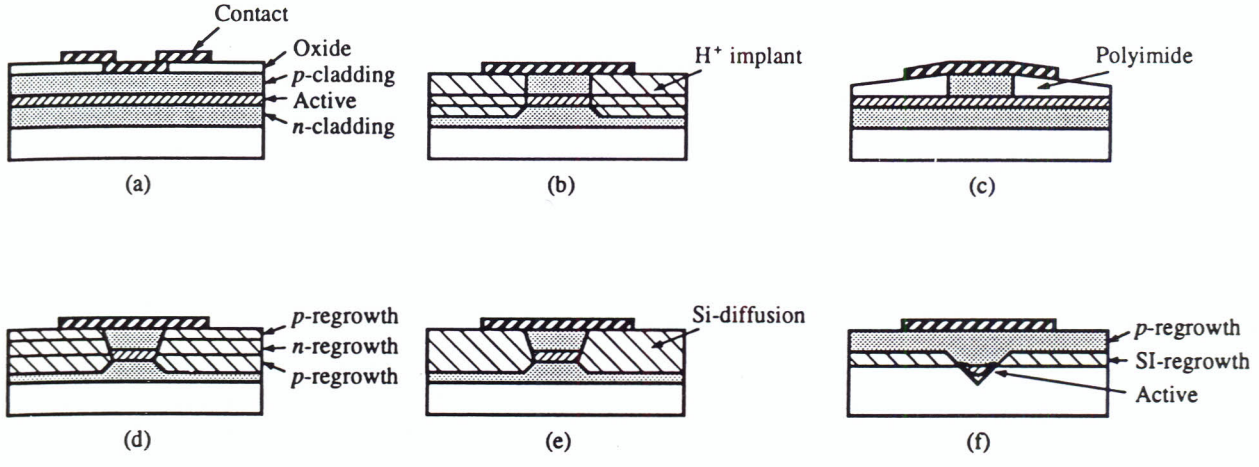
Når elektron og hol møtest i ein halvleiar, 'ramlar' elektronet ned i holet; vi seier at elektron og hol rekombinerer. Overskotsenergien frå rekombinasjonen kan gå til oppvarming av halvleiaren (utsending av fonon) eller til utsending av lys, vanlegvis eitt foton per rekombinasjon. I ein del halvleiarmateriale, som f.eks. silisium og germanium, får ein oppvarming, medan andre materiale, som f.eks. galliumarsenid (GaAs), galliumnitrid (GaN) og indiumfosfid (InP), sender ut lys. Denne prosessen er grunnlaget for lysemitterande diodar og laserdiodar.

Komponentar baserte på heterostrukturar

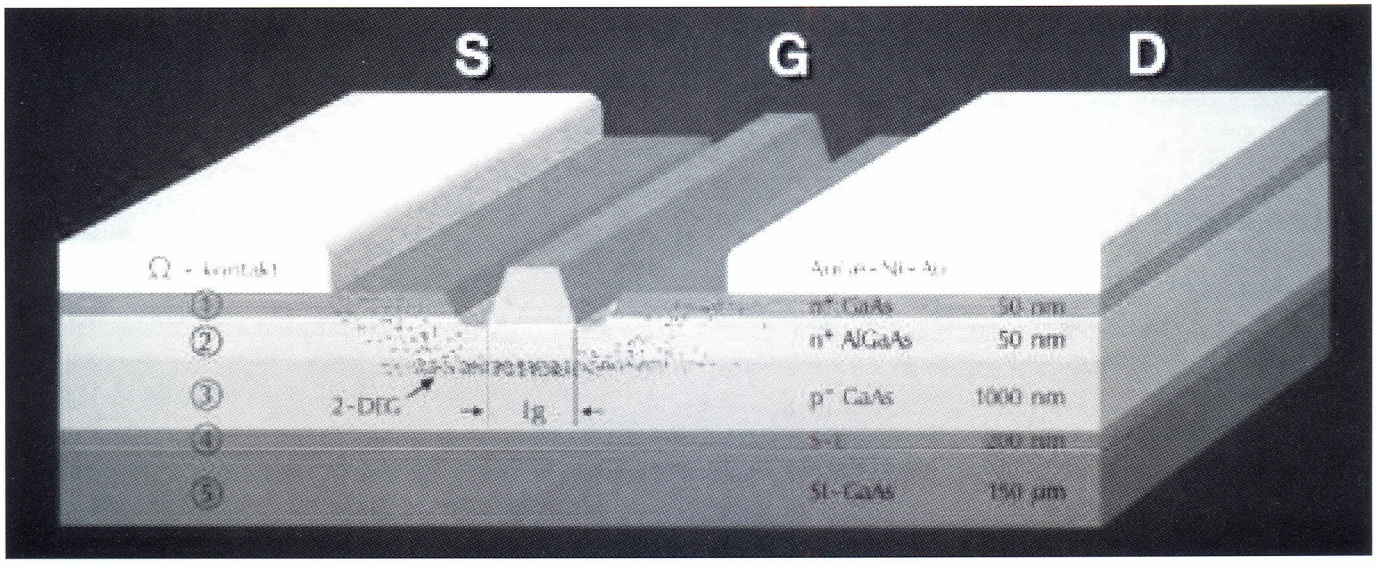
Vi skal sjå litt nærare på to elektroniske komponentar som er baserte på heterostrukturar, diodelaseren frå CD-spelaren og transistoren til tv-parabolen.

Laserdioden har ein verkemåte som er illustrert på figur 1. Når dioden er forspent i leieretninga, som på figuren, strøymer elektron frå *n*-sida inn i leidningsbandet i midten, og hol frå *p*-sida strøymer inn i valensbandet i midten. Laget i midten må vera av eit materiale som sender ut foton når elektron og hol rekombinerer. For CD-laserar er materialet AlGaAs, og lyset er usynleg infraraudt. Heterostrukturen gjer at vi i midtlaget kan oppnå ein svært høg konsentrasjon av både elektron og hol, ein høg rekombinasjonsrate, utstråling av lys frå spontane (dvs. tilfeldige) rekombinasjonar, og forsterkning av lys ved stimulerte rekombinasjonar som gjev foton med same energi og forplantningsretning som innsende foton. Frå laget i midten strålar det altså ut lys med fotonenergiar som er litt større enn bandgapsenergien, og dette er også fotonenergien som innkomande lys må ha om det skal bli forsterka. For CD-laserar er samansetninga av materialet AlGaAs slik at lyset er usynleg infraraudt; ei bølgjelengde på 0,78 μm er standard.

I figur 2 er lagstrukturen for ulike diodelaserkonstruksjonar skissert. Ein ideell diodelaser er ein stav av av eit halvleiarmateriale med lite bandgap og tilhøyrande høg brytningsindeks, omslutta på alle kantar av eit materiale med større bandgap og tilhøyrande låg brytningsindeks. Staven endar i halvleiaroverflata slik vi ser skissert i figuren, tydelegast for (d), (e) og (f). ('Staven' går ut av figuren, vinkelrett på papirplanet. Strukturen (a) manglar stav, men er den som er enklast å framstille, og



Figur 2. Oppbygginga av ulike typer diodelaserar, sett frå enden av laseren, der lyset kjem ut. Området som lyset kjem frå (halvleiaren med minst bandgap) er skravert og merkt 'Active'. Figuren er henta frå referanse (6). (a) etsa oksydstripe avgrensar toppelektroden; (b) protonimplantering avgrensar toppelektroden; (c) polymer avgrensar toppelektroden og struktur med 'rygg' gjev bølgjeleiar; (d), (e) og (f) 'nedgravne' heterostrukturar (eng. buried heterostructures, BH) styrer straumen inn i det aktive området, gjev bølgjeleiar, og stenger ladningsberarane inne i det aktive området: (d) etsa mesastruktur; (e) krystallstrukturen øydelagt ved Si-diffusjon; (f) struktur med 'grøft' i substratet.



Figur 3. Strukturen til ein høgmobilitetstransistor (eng. high electron mobility transistor, HEMT) basert på ein heterostruktur av AlGaAs. Straumen gjennom transistoren er elektronar som går frå kjelden S til sluket D, regulert av spenninga på porten G. Verkemåten er forklart i teksten.

er viktig av den grunn.) Overflata verkar som ein halvgjennomsiktig spegel for lyset som går fram og tilbake langs staven og blir forsterka. Den høge brytningsindeksen i staven trengst for å halde lyset inne i staven, slik at det ikkje strålar ut.

Infraraudt lys er det som trengst for optisk kommunikasjon, men for utlesing frå ei optisk plate av typen CD-ROM er det betre dess mindre bølgjelengda er, fordi arealet som ein må setja av for eit 'bit' på plata er omlag ei bølgjelengde i diameter. Det visa seg svært vanskeleg å få fram diodelaserar med så kortbølgja lys som fiolett (0,4 μm bølgjelengde). Det var ikkje før i 1996 at S. Nakamura i det japanske firmaet Nichia, lykkast i dette, etter mange års arbeid med materialet galliumnitrid. Slike diodelaserar er ennå altfor dyre til å kunna brukast i CD-spelarar.

Dei fyrste transistorane i praktisk bruk var av den bipolare typen til Schockley. Seinare er felteffekttransistoren (FET-en) blitt langt viktigare, særleg ein type med oksydlag (CMOS) i integrerte krinsar. Figur 3 visar oppbygginga av ein FET. Der er største nytten av ein heterostruktur at transistoren kan lagast slik at straumen gjennom transistoren går i eit lag som er optimalisert for å gjera transistoren rask. Dette laget må gjerast spesielt reint og homogent, slik at elektronane ikkje har krystalldefektar å støyte mot. Elektronane får då høg mobilitet (stor fart i eit elektrisk felt), og difor er denne typen transistor blitt heitande høgmobilitetstransistor (eng. forkorting HEMT, for 'high electron mobility transistor').

I figur 3 er oppbygginga til ein HEMT basert på aluminium-galliumarsenid (AlGaAs) skissert. Ved passande forspenningar på dei tre elektrodane S, G og D held elektronane seg i lag 3, som er reint GaAs. Elektronane held seg i grenseflata inn mot lag 2, som er AlGaAs av n-typen. AlGaAs har større bandgap enn GaAs, og botnen av leidningsbandet i AlGaAs ligg høgare enn i GaAs, slik at elektronane i leidningsbandet i lag 3 treng energi for å koma seg opp i lag 2, og held seg altså i lag 3. Responstida for transistoren når portspenninga varierer, er tilnærma proporsjonal med tida elektronane brukar på å krysse porten G. Tida er den lengda som er markert Lg i figuren dividert med elektronfarten. I dag er dei beste laboratorieresultata for slike transistorar at dei verkar for frekvensar opp til over 600 GHz. Dei høgaste frekvensane vi brukar i dagleglivet nå er rundt 12 GHz for satellitt-tv, men det er ikkje mange år før frekvensane i området mellom 30 og 100 GHz blir tekne i bruk for ulike praktiske formål.

Avslutning

Det er ikkje kvart år ein kan seie at Nobelprisen i fysikk er delt ut for oppfinningar som vi alle brukar til dagleg, og som verda har gjort seg heilt avhengig av. Slik er det i år, både med heterostrukturar og integrerte krinsar. – La oss alle gratulere prisvinnarane i år.

Forfattaren vil til slutt gjerne få takke professorane Terje Finstad og Iouri Galpjerine ved Fysisk institutt, UiO, for stoff til denne artikkelen.

Referansar

1. 'Nobelprisen i fysikk 2000, populærvitskapeleg informasjon,' Det kongelege svenske vitskapsakademiet: *http://www.nobel.se/announcement/2000/phyinfosv.html*
2. Ben G. Streetman and Sanjay Banerjee: *Solid State Electronic Devices, 5th edition.* Prentice Hall (1999)
3. John H. Davies: *Physics of Low Dimensional Semiconductors.* Cambridge University Press (1998)
4. V.V. Mitin, V.A. Kochelap and M.A. Stroscio: *Quantum Heterostructures – Microelectronics and Optoelectronics.* Cambridge University Press (1999)
5. S.M. Sze (ed.): *Modern Semiconductor Device Physics.* Wiley (1998)
6. L.A. Coldren and S.W. Corzine: *Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits.* Wiley (1995)
7. M. Riordan and L. Hoddeson: *The Moses of Silicon Valley.* Physics Today, December 1997, pp 42–47.
8. Akio Morita: *Made in Japan: Akio Morita and Sony.* Fontana, London (1988)
9. H. Kroemer: *Quasi-Electric and Quasi-Magnetic Fields in Non-Uniform Semiconductors.* Symposium on the Role of Solid State Phenomena in Electric Circuits, Polytechnic Institute of Brooklyn, 1957, pp 143–153. Re-published in RCA Review, **18**, 332–342 (1957)
10. H. Kroemer: *A Proposed Class of Heterojunction Injection Lasers.* Proc. IEEE, **51**, 1782–1783 (1963)
11. H. Kroemer: *Solid State Radiation Emitters.* U.S. Patent 3,309,553, March 14, 1967 (Filed Aug. 16, 1963).
12. Zh.I. Alferov: *The History and Future of Semiconductor Heterostructures from the Point of View of a Russian Scientist.* Physica Scripta, **T68**, 32–45 (1996)
13. H. Kroemer: *Band Offsets and Chemical Bonding: The Basis for Heterostructure Applications.* Physica Scripta, **T68**, 10–16 (1996)
14. Charles Kittel and Herbert Kroemer: *Thermal Physics.* W.H. Freeman & Co (1995)
15. Herbert Kroemer: *Quantum Mechanics: For Engineering, Materials Science and Applied Physics.* Prentice Hall (1994)

∞

Wolfgang Ernst Friederich Pauli (1900–1958)

Haakon A. Olsen *

Wolfgang Paulis farfar, Jacob Pascheles, var et høyt aktet medlem av den jødiske befolkning i Prag. Han var som "den eldste" leder av menigheten "Zigeuner Synagoge" og han hadde også som sådan ledet *bar mitzwah* for Franz Kafka hvis familie bodde i samme område, "Gammelbyen", i Prag. Paulis far, Wolfgang Joseph Pascheles ble født i Prag og studerte medisin ved Charles Universitetet samtidig med Ludwig Mach, Ernst Machs sønn. Nærheten til Ernst Mach skulle senere få betydning også for Wolfgang Pauli i neste generasjon.

*Fysisk institutt, NTNU

Ernst Mach som hadde vært professor ved Charles Universitetet i eksperimentalfysikk, fikk i 1895 professorat i filosofi ved Wiener Univerität. Wolfgang Joseph Pascheles hadde kommet til Wien allerede i 1892 og fått en assistentstilling ved Medisinsk fakultet. Han ble senere professor der og en velkjent ekspert i fysikalsk kjemi for proteiner. Så skjedde det noe: han gikk over til den katolske kirke, og han skiftet navn – til Pauli. Det synes bare å foreligge gjetninger om bakgrunnen for disse hendelser og valg av navn.[1] Han giftet seg i 1899 med Bertha Camilla Schütz.

Den 25. april 1900 ble ekteparets eneste sønn født, og den 31. mai ble han døpt med navnet Wolf-

gang Ernst Friedrich, der hans andre navn var valgt til ære for Ernst Mach som var fadder ved seremonien. Det finnes en kommentar til denne seremonien fra Pauli selv. Den som har vært i The Pauli Room ved CERN vil ha kunnet lese et utdrag av et brev fra Pauli til C. G. Jung, datert 31. mars, 1953:

It so happened that my father was very friendly to Ernst Mach's family, and at that time was intellectually entirely under his influence. He (Mach) had thus graciously agreed to assume the role of my godfather. He evidently was a stronger personality than the catolic priest, and the result seems to be that in this way I am baptized "antimetaphysical" instead of catolic. In any case ... in spite of my larger spiritual transformations in later years it still remains a label which I myself carry, namely: "of antimetaphysical descent".

"Wolfi" Paulis barndom og ungdom var preget også av samvær med hans mormor Bertha Dillner von Dillnersdorf, som var sangerinne ved Wieneroperaen, og de to tilbrakte gjerne tiden sammen med pianospill og sang. Pauli var elev ved den humanistiske seksjonen ved Döbling Gymnasium i Wien med gresk og latin som fag. Han ble også snart en elev med ekstraordinære evner i matematikk og fysikk, men han fulgte med stor interesse undervisningen i klassisk historie. Samtidig var hans far nøye med å konsultere gudfar Ernst Mach om hva slags litteratur i matematikk og fysikk unge Wolfgang skulle lese. Da Pauli hadde fått sin eksamen fra "genius-klassen" ved Döbling Gymnasium var han allerede istand til i en alder av 18 år å skrive tre avhandlinger om relativitetsteori som ble antatt til trykning i Physikalische Zeitschrift og Deutsche Physikalische Gesellschaft, Verhandlungen.[2]

Det var nå klart at Pauli skulle studere teoretisk fysikk. Han ble opptatt som student hos Arnold Sommerfeld i München høsten 1918. Sommerfeld var en av autoritetene innenfor Bohrs kvanteteori og dette ville unge Pauli lære. Selv om Pauli ikke syntes at han behøvde å følge Sommerfelds forelesninger særlig ofte, syntes han senere at oppholdet hos Sommerfeld og kretsen av studenter var essensielt for hans vitenskapelige utvikling, og han opprettholdt en livslang beundring for sin lærer. Og Sommerfeld følte gjensidig beundring og tillit til sin meget unge student – så stor tillit at han foreslo at den 19-årige Pauli skulle skrive en encyklopedisk artikkel om relativitet, istedet for ham selv. Artikkelen, som utgjør ett bind[3] etablerte Paulis berømmelse som teoretisk fysiker og vakte også Einsteins beundring. Verket har helt til idag vært et klassisk oppslagsverk innenfor relativitetsteorien.

En ny fase i Paulis vitenskapelige liv begynte da han møtte Niels Bohr for første gang i 1922. Dette sier Pauli i et brev. Bohr ga en gjeste-forelesning i Göttingen, hvor han beskrev sine teoretiske undersøkelser av Det periodiske system. Han benyttet der sin "sfærisk-symmetriske atommodell" som hans atom-teori var kommet til å hete på den tiden. Han beskriver der atomnivåene, skallene, som følger av teorien og diskuterer spesielt de sjeldne jordarter. Spørsmålet om hvorfor ikke alle elektronene samler seg i laveste energitilstand har Bohr ikke noe svar på. Hva holder elektronene innenfor de respektive skall? Bohr behandler lukkingen av det innerste K-skall i Helium og det spesielle forhold med de to ikke-kombinerte spektra for ortho- og para-helium. Men ingen overbevisende forklaring kunne bli gitt med basis i klassisk mekanikk. Men noe viktig kom ut likevel, sier Pauli et sted: Bohr understreket at han lette etter en *generell* forklaring som skulle føre til lukking av et hvilket som helst skall, og tallet 2 skulle være et viktig tall for beskrivelsen av "lukkemekanismen".

Vi kan for vår del fastslå at igjen skjer det her, som så ofte i fysikken, løsning av ett problem (her: Bohrs atom-modell) fører med seg nye problemer (her: lukking av skall). Dette ble et problem som opptok, ja oppslukte Pauli helt og fullt. Det var oppstått en nær forståelse med Niels Bohr og Pauli ble, til sin forbauselse, sier han selv invitert til København for et helt år. Pauli tok opp et problem som var uforståelig innenfor Bohrs atomteori, den anomale Zeeman-effekten, som går ut på at i et magnetfelt kan en spektrallinje dele seg i to – noe som slett ikke passet inn i Bohrs teori, der oppsplitting ville, i tilfelle det skjer, være i et ulike antall linjer svarende til dreieimpulsens kvantetall. Pauli var meget bestyrtet, og gir uttrykk for dette på sin svært direkte måte. Han forteller selv:[4] En kollega som møtte meg der jeg spaserte uten mål og med i Københavns vakre gater, sa til meg i en vennlig tone "du ser svært ulykkelig ut" hvorpå jeg svarte rasende: "Hvordan kan jeg se glad ut når jeg tenker på den anomale Zeeman-effekten?" Episoden er typisk for Pauli, en direkte tale som var et uttrykk for et altoppslukende engasjement – og i andre tilfeller når han kritiserte kan hende spesielt sine egne arbeider – men også kollegers resultater. Noe som hos de som ikke kjente til Paulis sterke krav til bevisførsel, hans rolle som "fysikkens samvittighet", kunne mistolkes som fremfusende og uhøflig fremferd. I virkeligheten var han en meget beskjeden person på egne vegne, med stor respekt for sine kolleger og med en nærmest faderlig omsorg for sine studenter.

Zeeman-effekten ble i denne omgang ikke løst av Pauli. Landé hadde ved en term-analyse påvist i 1921 en empirisk formel for oppsplittingen der det viktigste var å benytte halvtallige verdier for magnetiske kvantetall – men uten noen forklaring på dette. Pauli sier i sitt Nobel-foredrag at Zeemansplittingen likevel var et viktig skritt på veien til løsningen av problemet med de lukkede elektronskall, – det vil si å forklare hvorfor ikke alle elektronene i et atom befinner seg i laveste energitilstand.

Bohr hadde funnet, da han innførte sin atomteori, som bryter fullstendig med de klassikske fysiske lover, et prinsipp, korrespondanseprinsippet som danner en kontinuerlig overgang til klassisk teori. Prinsippet sier at ved store kvantetall vil kvantemekaniske forhold nærme seg de klassiske forhold. Det viktigste her er at forholdene i et atom måtte være relatert til klassisk mekanikk, Lagrange- og Hamilton-teori, som beskrevet av Bohr allerede i 1918. Det var derfor nærliggende for Pauli og andre som forsøkte å løse elektron-skallproblemet, å søke løsning fra klassisk mekanisk utgangspunkt.

Pauli så nå at både løsningen til Zeeman-effektproblemet og skall-problemet i atomet var knyttet til en "to-verdighet". Han tok sterk avstand fra – i Pauli-stil[5] – en teori som også ble støttet av Bohr, om at dublettstrukturen i alkali-spektra skulle skyldes dreieimpulsen til restatomet. I referanse (5) i 1925 foreslo han i stedet at dublettstrukturen skyldes elektronets egenskap, en "two-valuedness not describable classically". Et arbeid av E. C. Stoner, skrevet omtrent samtidig[6] kom svært beleilig for Pauli – fordi det knyttet hans "two-valuedness" til skall-problemet. Stoner fremførte at antall energinivåer, det vil si spektrallinjer i et magnetfelt for et alkalimetall gir innblikk i antall elektroner i det lukkede skall for den tilsvarende edelgass.

Pauli hadde vært misfornøyd med sitt arbeid i referanse (5). Han uttrykte sterk selvkritikk i et brev til Bohr: "My nonsense is conjugate to the nonsense which has been customary so far."[7] En typisk besk selvkritikk. Etter Stoners publikasjon var det nå imidlertid klart for Pauli at han hadde oppdaget et prinsipp som sier at det finnes så mange elektroner i et lukket skall, som det finnes tilstander, ikke fler. Det betyr at hvert elektron har sin tilstand, to elektroner kan ikke være i samme tilstand, en utelukkelse – eksklusjon.[8] Pauli kalte prinsippet "exclusion principle". Oppdagelsen ga Pauli Nobelprisen i 1945. Hvorfor det tok så lang tid, skal vi ikke kommentere her.

Det er vel verdt å legge merke til at Paulis utsagn om at prinsippet ikke kan beskrives klassisk, er fullstendig korrekt. Når det derfor hender at prinsippet beskrives som en kraft, Pauli-kraften, i mindre seriøs fysikk-litteratur, er dette misvisende. Prinsippet er en fullkommen ny erkjennelse, som senere leder til erkjennelsen om betydningen av symmetri- og antisymmetriprinsipper i fysikken.

Elektronets spinn og spinntilstand som ble oppdaget av Goudsmit og Uhlenbeck,[9] gir en fullstendig beskrivelse av elektronets tilstand i atomet. Det er ikke så godt kjent at Pauli selv hadde postulert eksistensen av kjernespinn for å forklare visse "satelitter av spektrallinjer", som senere er blitt kalt hyperfinstruktur.[10] Goudsmit, som etter hvert ble en ekspert på området, hadde ikke sett Paulis publikasjon, ref. (10) og kunne ikke forstå Paulis bemerkning hver gang de møttes om at "I can afford not to be quoted". Pauli hevnet seg senere, sies

det, ved å utelate referanse til Goudsmit. En kuriositet av samme slag er kan hende at Pauli i sitt Nobel-foredrag skriver "Uhlenbeck and Goudsmit" selv om forfatterne er sitert i riktig rekkefølge under referanser.

Paulis overbevisning som ble uttrykt i brevet til Bohr[7] om at "energi og dreieimpuls for stasjonære tilstander er mye mer reelle størrelser enn partikkelbaner" var for mange et skritt bort fra "klassisk beskrivelse med kvanteeffekter" nevnt ovenfor. Slike tanker var også utgangspunktet for Heisenbergs "matrise-mekanikk" som ledet til en helt ny forståelse av Bohrs teori – en kvantemekanikk som ga Werner Heisenberg Nobel-prisen i 1932, "for the creation of quantum mechanics". Pauli ga bidrag til løsning av hydrogenatomets kvantemekanikk. Han introduserte Pauli-matrisene som ble et verktøy for å behandle spinn-vekselvirkninger, blant annet paramagnetismen i metaller.[11] Litt stoff til ettertanke er at vi med suksess brukte Pauli-matrisene i fysikken i mange årtier uten en gang å nevne $SU(2)$.

Etter året hos Bohr ved Bohr-instituttet returnerte Pauli til Hamburg der han ble Privatdozent og Titularprofessor. I et miljø omgitt av nære venner fra år tilbake ble etterhvert "Pauli-effekten" registrert. Fierz er den som har gitt en nær beskrivelse av effekten som består i at selv erfarne eksperimentalfysikere var overbevist om at merkelige effekter utstrålte fra Pauli. Man mente, og Pauli var ikke uenig, at hans tilstedeværelse i et laboratorium var nok til at de merkeligste uhell fant sted. Dette var "Pauli-effekten". Av denne grunn tillot ikke hans gode venn, Otto Stern, den berømte artist med atomstråler, at Pauli i det hele tatt fikk sette sin fot i hans laboratorium. Fierz sier at Pauli følte på forhånd at noe galt kom til å skje – og når uhellet hadde skjedd – følte Pauli en stor lettelse. Jung kalte dette et synkronistisk fenomen.

I 1928 flyttet Pauli til Zürich i sitt nye professorat ved ETH som han innehadde uavbrutt til sin død i 1958, selv med flere års avbrudd. Her ble det til at Pauli foreslo eksistensen av en ny partikkel, nøytrinoet. Hendelsen var som hentet fra en spenningsroman, noe som på mange måter passet Pauli perfekt. Utgangspunktet var β-desintegrasjonen som tydelig viste at energi går tapt, noe som til og med Niels Bohr var villig til å akseptere som et fenomen for denne type prosess. Men Pauli kunne ikke det. For ham var energibevarelse like absolutt som ladningsbevarelse. Regien for annonseringen av Paulis forslag var også perfekt. I et brev til Lise Meitner, medarrangør til en fysikerkonferanse i Tübingen i 1930, adressert til "Kjære radioaktive damer og herrer", bekrefter Pauli at han dessverre ikke kan være tilstede ved konferansen på grunn av en dans som finner sted i Zürich på samme tid. Men han vil her i brevet annonsere at han har funnet fra angitte β-prosesser at han i *desperasjon* vil foreslå en ny partikkel som skal ta vare på energibalansen. Han er så usikker på holdbarheten i sitt forslag at han ikke vil publisere det nå, men bringer det fram til de ærede radioaktive damer og herrer til diskusjon. Han kaller den nye partikkelen "neutron". Den skal ha spinn 1/2, være elektrisk nøytral. Forøvrig beskriver han relativt detaljert β-prosessen med "neutronet". Massen skal være av størrelseorden elektronmassen – naturligvis basert på ikke alt for nøyaktige observasjoner av β-spektret. Pauli fikk tilbakemelding, antakelig etter møtet. Forslaget ble publisert i 7. Solvay Congress.[12]

Det ble lenge å vente på eksperimentelle resultater. Det direkte beviset for eksistensen av nøytrinoet kom i 1956 i et telegram fra F. Reines og C. Cowan som hadde observert invers β-prosess fra kjernereaktor.[13] Det hører med til historien at nøytrinoet hadde flere nyheter på lager. Det er venstrehendt og β-prosessen bryter paritetbevarelse.[14] En uttalelse fra Pauli, som hadde vært en av de fremste forkjemperne for det absolutte ved bevarelsen av pariteten, var "Hvorfor er pariteten bevart for elektromagnetiske og sterke vekselvirkninger, når den er brutt for svake vekselvirkninger?"

Paulis arbeid gikk etter hvert over på feltteori, der man i de tidligste tider av kvante-feltteori, snakket om "andre kvantisering". Paulis utgangspunkt her var Pauliprinsippet som forbyr at to elektroner kan være i samme tilstand. Det betyr i første instans at Schrödingers bølgefunksjon for et system av flere elektroner må være antisymmetrisk i elektronposisjonene, og i neste instans i felt-teori at spinn-1/2 felter, Dirac-felter, må tilfredsstille anti-kommuteringsrelasjoner. Derimot er det slik at spinn-1 partiklers felter tilfredsstiller kommuteringsrelasjoner. Disse forhold ble påvist av Pauli og samarbeidspartnere, der spinn-1/2 feltpartikler er fermioner og spinn-1 er bosoner.[15]

Pauli og hans kone, Franca, fikk problemer i Zürich ettersom krigen nærmet seg. De klarte å komme seg til USA i 1940 under svært vanskelige forhold. Etter en tid fikk Pauli et professorat ved Institute for Advanced Study, der Albert Einstein tilbød Pauli stillingen som sin etterfølger i 1945. På

tross av denne store ære, der Einstein nevnte Pauli som sin "spiritual son", valgte Pauli å reise tilbake til Zürich der han virket med stor aktivitet ved ETH til sin død 15. desember, 1958.

Referanser

1. F. Smutný: Generus **46**, 183 (1989)
2. W. Pauli: Physikalishe Zeitschrift **20**, 25 og 457 (1919); Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft **21**, 742 (1919)
3. W. Pauli: Relativitätstheorie, i Encyklopädie der matematische Wissenschaften, Vol 5, Teubner, Leipzig (1921)
4. W. Pauli: Science **103**, 213 (1946)
5. W. Pauli: Zeitschr. f. Physik **31**, 373 (1925)
6. E.C. Stoner: Phil. Mag. **48**, 719 (1924)
7. Brev til Niels Bohr av 12. desember, 1924
8. W. Pauli: Zeitschr. f. Physik **31**, 765 (1925)
9. S. Goudsmit and G. Uhlenbeck: Naturviss. **13**, 953 (1925); Nature **117**, 264 (1926)
10. W. Pauli: Naturviss. **12**, 741 (1924)
11. W. Pauli: Zeitschr. f. Physik **41**, 81 (1927)
12. W. Pauli: 7. Solvay Congress, Noyaux Atomique, 324 (1933)
13. C.L. Cowan, F. Reines et al.: Science **124**, 103 (1956)
14. C.S. Wu et al.: Phys. Rev. **105**, 1413 (1957)
15. W. Pauli og V.F. Weisskopf: Helv. Phys. Acta **7**, 709 (1934); W. Pauli: Phys. Rev. **58**, 716 (1940). Også et tidligere arbeid av P. Jordan og W. Pauli: Zeitschr. f. Physik **45**, 151 (1928)

∞

Max Planck og hans teori – Kvantefysikken har 100-årsjubileum

Finn Ingebretsen *

Mange store oppdagelser rundt overgangen fra det 19. til det 20. århundret la grunnlaget for det vi i dag kaller moderne fysikk. Den faglige utviklingen var, i alle fall slik vi oppfatter det 100 år etter, preget av markerte og dyktige personligheter. Store og grensesprengende oppdagelser og radikale teorier så dagens lys. Vi har nylig markert oppdagelsene av røntgenstråling (1895)[1] og radioaktivitet (1896)[2], og Wilhelm Conrad Röntgen og Henry Becquerels navn er kjent for alle. Men det kanskje mest radikale gjennombrudd skjedde for nøyaktig 100 år siden. I oktober 1900 fremla Max Planck et arbeid i Det tyske fysiske selskap, og to måneder senere en artikkel som, uten at noen var klar over det den gang, var kvantefysikkens fødsel. I dette arbeidet innførte Planck den konstanten som senere fikk hans navn: Plancks konstant, eller Plancks virkningskvant.

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858–1947) kom fra en familie med lange embeds- og akademiske tradisjoner. Hans far var en kjent jurist og professor, først i Kiel, og senere ved Universitetet i München. Den unge Max Planck utmerket seg i alle skolefag, og led ved endt gymnastid valgets kval mellom klassisk filologi, musikk og fysikk for sin videre utdannelse. Hans interesse for fysikk og matematikk var sterkt stimulert av en fremragende lærer i gymnaset, Hermann Müller, og fysikk ble da også hans valg. Imidlertid forble musikk en viktig del av hans liv. Han var en dyktig pianist; det sies at Schubert og Brahms var hans favorittkomponister.

Planck begynte sitt fysikkstudium i München i 1874, men fant stedet lite inspirerende. Etter to år reiste han derfor til Berlin. Her fant han heller ikke den store inspirasjon (interessant nok, for hans professorer i Berlin omfattet store navn, Hermann von Helmholtz og Gustav Robert Kirchhoff, godt kjente den dag i dag). Det som virkelig fanget hans interesse var studiet av Rudolf Clausius' arbeider i termodynamikk, et område av fysikken som ble Plancks hovedinteresse. I den usedvanlige unge

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

alder av 21 år tok han doktorgraden i München på et arbeid om termodynamikkens annen hovedsetning. Fem år etter ble han assosiert professor i Kiel, og i 1889, som 32-åring, overtok han et professorat i Berlin etter Kirchhoff. Hans eldre rådgiver og kollega var von Helmholtz. Planck ble i Berlin hele resten av sin karriere.

Både elektromagnetisme og termodynamikk var sentrale tema som opptok mange fysikere på 1800-tallet. Et aktuelt tema, som ble drevet frem av såvel stadig bedre eksperimenter som teoretiske nyvinninger, var studiet av stråling fra varme legemer, og det var Plancks arbeid innen dette problemfeltet som førte til hans store oppdagelse. Problemet var å finne ut hvorledes intensiteten av strålingen fordelte seg på de forskjellige bølgelengder.

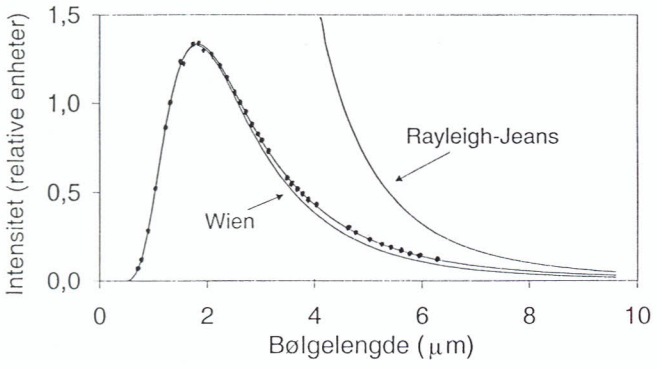
I 1859 hadde Kirchhoff innført begrepet *sort legeme*. Kirchhoffs egentlige anliggende var å studere linjer i solspekteret, og han gjorde i den sammenhengen grunnleggende teoretiske studier. Begrepet 'sort legeme' er en fruktbar idealisering, noe som ofte gjøres i fysikken for å "rendyrke" et problem; et sort legeme absorberer all innfallende strålingsenergi og stråler ut igjen den samme energien ved likevekt. Kirchhoff hadde også påvist en viktig detalj ved utstråling fra et legeme, som gjorde at problemet enklere kunne analyseres: Strålingen fra et legeme i et lukket hulrom der strålingen er i termisk likevekt med veggene, kunne studeres ved å betrakte strålingen som unnslipper fra et lite hull i hulrommets vegg. Strålingen som slipper ut tilsvarer strålingen fra et sort legeme. Dette var derved også en ide om hvorledes sort stråling kunne gjøres tilgjengelig for målinger. (Dette kan demonstreres ved et enkelt forsøk: Fest et stykke sort tape på en lukket eske, og stikk et hull på et par mm midt i tapen og inn i esken. Sammenlign så hullet med tapen når tapen belyses – hullet oppfører seg som et sort legeme.)

Som alltid i fysikken drev ny teori og bedre eksperimenter erkjennelsen framover. Planck hører også med blant dem som i skrift og tale markerte sin filosofiske holdning til sin vitenskap. Inntil slutten av 1800-tallet var det ikke noe klart skille mellom "teoretikere" og "eksperimentalister" som vi har i dag, men Planck var blant de første som definerte seg som viet til teoretiske studier spesielt. Imidlertid hadde han førstehånds informasjon om målinger av sort stråling.

På denne tiden skjedde det også viktige fremskritt innen eksperimentalteknikk. I studiet av stråling hadde Samuel Pierpoint Langley forbedret den spektroskopiske følsomheten vesentlig ved sitt bolometer, et måleinstrument der selve sensoren som regel er en temperaturfølsom motstand som igjen kan måles meget nøyaktig. Målingene ble stadig forbedret, og det ble stadig mer klart at teoriene ikke var riktige. Noen av forutsetningene for teoriene måtte være uriktige.

Det var stor aktivitet for å finne en fysikalsk beskrivelse av strålingens fordeling på de forskjellige bølgelengder. Kirchhoff hadde vist at strålingsenergien var avhengig av to størrelser, temperaturen og bølgelengden (eller alternativt frekvensen), og han utfordret fysikere til å finne den riktige matematiske funksjonen. Josef Stefan hadde vist eksperimentelt, og senere Ludwig Boltzmann teoretisk, at den totale utstrålte energien fra et varmt legeme er proporsjonal med legemets temperatur, målt i kelvin, i fjerde potens. (Her er det igjen enkelt å gjøre kvalitative observasjoner. Se hvorledes oppvarmet metall, f.eks. glødetråden i en lyspære, skifter farve fra rød til hvit når temperaturen øker. Eller mer eksotisk: Sammenlign farven på de to stjernene Betelgeuse ("kald") og Rigel ("varm") i stjernebildet Orion). Det eksisterte to teorier for spektralfordelingen. Wilhelm Wien, Plancks kollega i Berlin, hadde publisert en formel som inntil midten av 1900-tallet beskrev observasjonene. Det skulle imidlertid snart vise seg at teorien ikke stemte ved store bølgelengder. I England hadde Lord Rayleigh og Sir James Jeans også kommet fram til en formel som senere ble kalt Rayleigh–Jeans strålingslov. Denne formelen stemte rimelig bra med målinger for store bølgelengder, men var åpenbart ikke korrekt siden den gikk mot uendelig for små bølgelengder. Resultatene fra disse to teoriene er inkludert i figur 1.

I november 1899 presenterte Otto Lummer og Ernst Pringsheim eksperimentelle resultater der de hadde gjort nøyaktige målinger over et større bølgelengdeområde. Disse målingene avvek fra Wiens teori i bølgelengdeområdet over 4 mikrometer, dvs. i det infrarøde området. Planck håpet i begynnelsen at det var feil i målingene, men de ble verifisert av Plancks kolleger i Berlin, Heinrich Rubens og Ferdinand Kurlbaum, og av Friedrich Paschen i Hannover. Wiens formel var altså også definitivt feilaktig. Planck hadde forsøkt å utlede Wiens formel teoretisk med utgangspunkt i termodynamikkens 2. hovedsetning. Hans modell for beregningene var at hulromstrålingen vekselvirket med svingende, eller oscillerende, systemer i veggene. For å komme fram til dette måtte han gjøre



Figur 1. Grafisk framstilling av Plancks teoretiske fordeling av strålingsintensitet fra et sort legeme med temperatur 1596 K, som funksjon av bølgelengden. De eksperimentelle punktene, som faller nydelig sammen med Plancks teori, er tegnet inn for hånden etter en (noe utydelig) figur i referanse (4) fra 1916. Kurvene for Wiens og for Rayleigh-Jeans teorier er også vist.

spesielle antakelser om oscillatorenes egenskaper (deres entropi), noe han riktignok argumenterte meget grundig for.[3] Dette prosjektet ble han nå tvunget til å oppgi.

Planck fant ganske raskt en formel som kombinerte de to eksisterende teorier, Wiens og Rayleigh-Jeans. Dette var imidlertid i første omgang kun en matematisk formel som passet med de nyeste eksperimentelle data. Planck var en beskjeden mann, og hans kommentar til formelen var: "Så langt jeg kan se etter et raskt overblikk, reproduserer formelen de hittil publiserte data like godt som de tidligere foreslåtte formlene. Derfor føler jeg det rettferdiggjort å rette oppmerksomheten mot denne nye formel som jeg vurderer som den enkleste, unntagen Wiens." For Planck var en empirisk formel utilfredsstillende, og han ga seg straks i kast med å utlede den fra grunnleggende prinsipper. Senere beskrev Planck denne tiden som "noen uker med mitt livs mest strevsomme arbeid".

Planck måtte gjøre to radikale antakelser for å kunne utlede sin formel teoretisk. Først måtte han oppgi sin hittil klare overbevisning om at termodynamikkens 2. hovedsetning var en deterministisk og absolutt naturlov. I stedet ble han tvunget til å akseptere Boltzmanns interpretasjon av loven som en statistisk lov. Videre hadde Planck beskrevet oscillatorene som vekselvirket med strålingsenergien slik at de kunne absorbere og emittere svingeenergi fordelt over hele frekvensspekteret. Det viste seg at ingen kontinuerlig energifordeling ga det riktige svar. Det eneste som kunne gi det riktige svar var å anta at energien bare kunne absorberes og utsendes i diskrete (eller kvantiserte) verdier. De kvantiserte energier ϵ var proporsjonale med frekvensen, ν: $\epsilon = h\nu$. Matematisk erstattet han et integral over frekvensfordelingen med en sum. Den 14. desember 1900 leverte han inn et arbeid som må karakteriseres som det aller viktigste bidraget til starten på kvantefysikken, som skulle prege det kommende århundrets fysikk.

Mange lærebøker i dag har en utledning av Plancks strålingslov. Disse utledningene er imidlertid langt fra Plancks originale. De er sterkt preget av den senere utvikling, eller litt uærbødigsagt sagt, etterpåklokskap.

Proporsjonalitetsfaktoren h, som senere fikk navnet Plancks konstant eller Plancks virkningskvant, er en av de fundamentale naturkonstanter. Den har dimensjonen joule·sekund (Js), og den beste verdien i dag er $6{,}62606876 \cdot 10^{-34}$ Js. Planck selv beregnet den til å være $6{,}55 \cdot 10^{-34}$ Js, altså bare ca. 1 % avvik fra dagens verdi. Testing av hans teori og måling av h, ble et livlig forskningsfelt. Figur 1 viser Plancks teoretiske kurve sammen med et eksempel på målte punkter (fra 1916),[4] der overensstemmelsen er overbevisende god.

Plancks kvantehypotese var radikal, og det tok selvfølgelig lang tid før den var alment akseptert. Planck selv skrev i 1931 i et brev til R.W. Woods: *Kurz zusammengefasst kann ich die ganze Tat als einen Akt der Verzweiflung bezeichnen* (kort fortalt vil jeg karakterisere det hele som en handling i fortvilelse). Planck var konservativ og særdeles nøyaktig i sitt arbeid, men hverken han selv eller andre greidde å velte hans oppdagelse. Myten om at Planck selv ikke trodde på sin kvanteteori er gal. Det var imidlertid en uhyre radikal teori, og det var selvsagt ingen som øyeblikkelig trykket den til sitt bryst. I utgangspunktet beskrev Planck teorien som en rent formell antakelse som førte fram til et positivt resultat. Hans egen skepsis drev ham i lang tid til å gjennomarbeide teorien og dens implikasjoner, noe som i ettertid har gitt ham karakteristikken "en motstrebende revolusjonær".

Studiet av kvantefenomen var ikke nytt, naturen selv hadde lenge signalisert sine kvanteegenskaper for fysikerne, uten at det var forstått. Det beste eksemplet er kanskje optiske spektrallinjer, oppdaget av William H. Wollaston i 1802, senere målt mer presist av Joseph von Frauenhofer i 1814. Optisk spektroskopi ble raskt et livlig forskningsfelt. Den sveitsiske skolelærer Johann Balmer fant i 1885 en empirisk formel som korrekt beskrev de observerte bølgelengdene i hydrogenspekteret, men tiden var langt fra moden til å finne den riktige teorien. De

store vidtrekkende konsekvenser av Plancks kvantehypotese ble først fullt verdsatt ved Albert Einsteins teori for fotoelektrisk effekt i 1905, og Niels Bohrs atommodell publisert i 1913. Planck selv var lenge skeptisk til Einsteins lyskvanthypotese, en skepsis som varte helt til Arthur Comptons oppdagelse av spredning av lyskvant mot elektroner i 1922.

Tildelingen av Nobelprisen i fysikk i 1918 til Planck markerte den endelige og fulle aksept for hans store innsats og revolusjonerende arbeid. I tiden etter ble Planck stadig en mer markert skikkelse i tysk vitenskap, men som i stor grad ofret seg for administrative gjøremål. Han gikk av som professor i Berlin i 1926, hvoretter han ble president i *Kaiser Wilhelm Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften* inntil 1937. Denne institusjonen skiftet etter annen verdenskrig navn til *Max Planck Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften*. Denne institusjon har vokst til å bli en grunnpillar i tysk vitenskap, og omfatter i dag over 80 institusjoner innenfor alle vitenskaper. Etiketten *Max Planck Institut* er i dag et kvalitetsstempel som gis etter nøye vurdering og evaluering.

Plancks navn er i hans ettertid også knyttet til flere viktige begrep i fysikken. I tillegg til Plancks konstant har vi begrep som Planck-lengde, Planck-masse, Planck-tetthet, Planck-energi og Planck-skala.

Privat opplevde Max Planck flere store tragedier. Hans første hustru, med hvilken han hadde fire barn, døde etter 22 års ekteskap. Hans eldste sønn Karl falt under den første verdenskrig, og hans yngste sønn Erwin ble henrettet i 1945, anklaget for å ha deltatt i forsøket på å ta livet av Hitler. Begge hans døtre døde tidlig i barselseng. Kun hans eneste sønn fra andre ekteskap overlevde ham. Under krigen ble hans hus i Berlin fullstendig ødelagt under et bombeangrep, og mye verdifullt materiale ble ødelagt. Det sies om Planck at det var hans filosofiske og religiøse overbevisning som ga ham ballast til å bære det som skjedde ham privat. I nazitiden valgte Planck, tross sin sterke opposisjon til den rådende politikk, å bli i Tyskland for å "redde stumpene av tysk vitenskap". Planck skal også ha kontaktet Hitler direkte i et forsøk på å stanse hans vanvittige rasistiske politikk, og han gikk i forsvar for sine forfulgte jødiske kolleger. Hans vitenskapelige posisjon må åpenbart ha vært så sterk at nazistene ikke kunne eliminere ham, men han ble fratatt sitt vitenskapelige presidentskap. Hans markerte posisjon i denne tiden var ellers lite utbredt blant fremtredende "ariske" tyskere. Sin uredde og rettskafne holdning hadde han forøvrig til felles med en annen stor personlighet i tysk åndsliv på den tiden, komponisten Paul Hindermith.

Sønnen Erwins død ble for tung for Planck, og de siste årene så han på sin egen forestående død som en forløsning. Han døde den 4. oktober 1947 i en alder av 89 år. Til det siste var han hedret som den store personlighet og den store vitenskapsmann han var. Og Max Plancks navn, knyttet til en av de aller største oppdagelser innen fysikken, vil leve så lenge det eksisterer tenkende mennesker.

Referanser

1. *Temanummer om Röntgen.* Fra Fysikkens Verden **57**, Nr. 4 (1995)
2. T. Holtebekk: *100 år med Becquerel.* Fra Fysikkens Verden **96**, 37 (1996)
3. F. Aaserud: *Plancks Energikvantbegrep.* Hovedoppgave i fysikk, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo (1976)
4. W.W. Coblentz: *Constants of Spectral Radiation of a uniformly heated Inclosure or so-called Black Body.* Bull. of the Bureau of Standards **13**, 459 (1916)

Generelle kilder

1. *Max Planck.* Encyclopædia Britannica **Britannica.com**
2. E.A. Hylleraas: *Max Planck – Nobelprisen i fysikk 1918.* Fra Fysikkens Verden **8**, 145 (1946)
3. Armin Beck (red.): *Max Planck zum gedenken.* Akademie-Verlag Berlin (1959)
4. D. Giulini und N. Straumann: *Plancks ungerader Weg zur Strahlungsformel.* arXiv:quant-ph/0010008 **2 okt. (2000)** (Los Alamos' preprinttjeneste på Internett)

∞

FUN – En undersøkelse om fysikkutdanning i Norge

Ellen K. Henriksen, Carl Angell* og Anders Isnes* **

Innledning

Alle med interesse for fysikk vil ha merket seg at faget sies å være inne i en rekrutteringskrise. Selv om andelen elever som velger 2FY og 3FY i videregående skole har holdt seg relativt stabil gjennom de siste 15 årene, har man sett en markant nedgang i søkningen til fysikkrelaterte universitets- og høyskoleutdanninger.[1] Dette skjer i en tid da prognoser tilsier at behovet for realfagskandidater kommer til å øke betraktelig i årene framover.[2,3]

I skoleåret 2000/2001 har ca. 12 % av landets 17-18-åringer valgt 2FY, og ca. 8 % av 18-19-åringene har valgt 3FY. Jenteandelen er omkring 30 %. Til sammenligning velger ca. 16 % av svenske ungdommer fysikk til høyeste nivå i videregående skole. Ved Universitetet i Oslo er studenttallet på begynnerkurset i fysikk blitt mer enn halvert siden første halvdel av 1990-tallet. Også mange ingeniørfag opplever synkende rekruttering, og de sliter særlig med å øke kvinneandelen. I 1995/96 var kvinneandelen ved ingeniørutdanningen 13,7 %.[4]

Hva må til for å dekke framtidens behov for fysikere og teknologer? Våren 2000 ble forskningsprosjektet FUN (Fysikkutdanning i Norge) startet i regi av Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt, UiO, og Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling, UiO. De overordnede målene med prosjektet er å bidra til at fysikkutdanningen blir bedre og at flere velger fysikk, samt å komme med begrunnede anbefalinger om fysikkfagets form og innhold i skolen og i høyere utdanning. Mer spesifikt søker vi i prosjektet å belyse følgende spørsmål:

- Hvilke faktorer påvirker elever og studenter til å velge (eller ikke velge) fysikk i videregående skole og høyere utdanning?
- Hvordan ser elever, lærere og studenter på fysikkfaget?
- Hvordan opplever elever, lærere og studenter undervisningen?

Metode

For å belyse disse spørsmålene konstruerte vi spørreskjemaer til fem grupper av respondenter (se tabell 1). Spørreskjemaene inneholdt både avkrysningsspørsmål og åpne spørsmål. Alle avkrysningsspørsmål hadde en 5-delt skala, som vist i tabell 2.

Gruppe	Antall svar	Svarprosent	Kvinneandel
2FY-elever	1 141	~ 70 %	33 %
3FY-elever	1 051	~ 70 %	29 %
Fysikklærere	342	~ 50 %	11 %
1. årsstudenter	196	~ 65 %	36 %
4. årsstudenter	49	~ 60 %	33 %

Tabell 1. Tabellen viser hvilke grupper som var med i undersøkelsen, antall svar, svarprosent, og kvinneandel. 1.-årsstudentene fulgte begynnerkurs i fysikk (mekanikk) ved UiO, UiB, NTNU og NLH våren 2000. 4.-årsstudentene hadde tatt begynnerkurset i mekanikk ved UiO våren 1997, og hadde nå enten forlatt fysikkstudiene eller var i ferd med å begynne på hovedfag.

Et eksempel på et åpent spørsmål er: "Det jeg oppfatter som mest karakteristisk ved fysikkfaget er: ..."

Noen av spørsmålene gikk igjen på spørreskjemaene til alle grupper; andre spørsmål var spesifikke for den enkelte gruppe. Svarene på avkrysningsspørsmålene ble analysert statistisk (i pro-

*Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, UiO.

**Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling, UiO.

A9. Vi ber deg gjøre noen vurderinger av 2FY ved å krysse av i tabellen nedenfor.

Jeg synes 2FY har vært	❒ meget lett	❒ ganske lett	❒ passe	❒ ganske vanskelig	❒ meget vanskelig
Jeg synes innholdet i 2FY har vært	❒ helt uinteressant	❒ ganske uinteressant	❒ OK	❒ ganske interessant	❒ meget interessant
Jeg synes kvaliteten på undervisningen i 2FY har vært	❒ meget dårlig	❒ ganske dårlig	❒ OK	❒ ganske bra	❒ meget bra

Tabell 2. Eksempel på avkrysningsspørsmål i undersøkelsen.

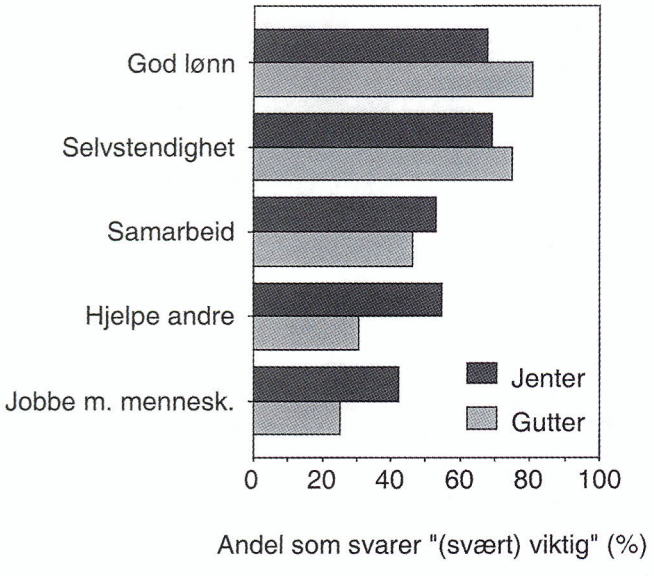
grammet SPSS). Svarene på de åpne spørsmålene ble kategorisert, kodet og analysert statistisk.

Resultater

Noen utvalgte resultater fra den foreløpige analysen av dataene presenteres her.

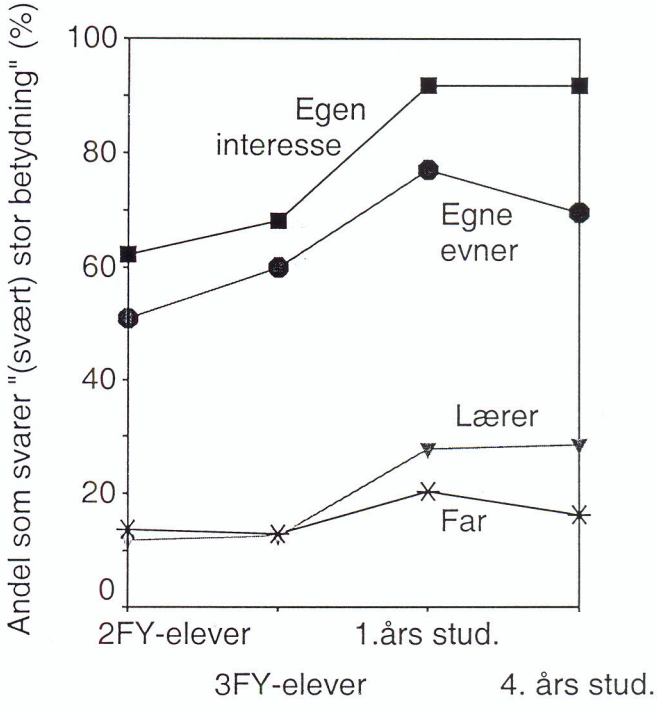
Faktorer som påvirker utdanningsvalg

2FY- og 3FY-elevene ble spurt om hva de syntes var viktig i en framtidig jobb. Elevene rangerte høy lønn og selvstendighet i jobben høyt, mens "personorienterte" aspekter, som å hjelpe andre og arbeide med mennesker, ble rangert noe lavere. Jentene la relativt mer vekt enn guttene på de "personorienterte" aspektene ved en jobb (figur 1).



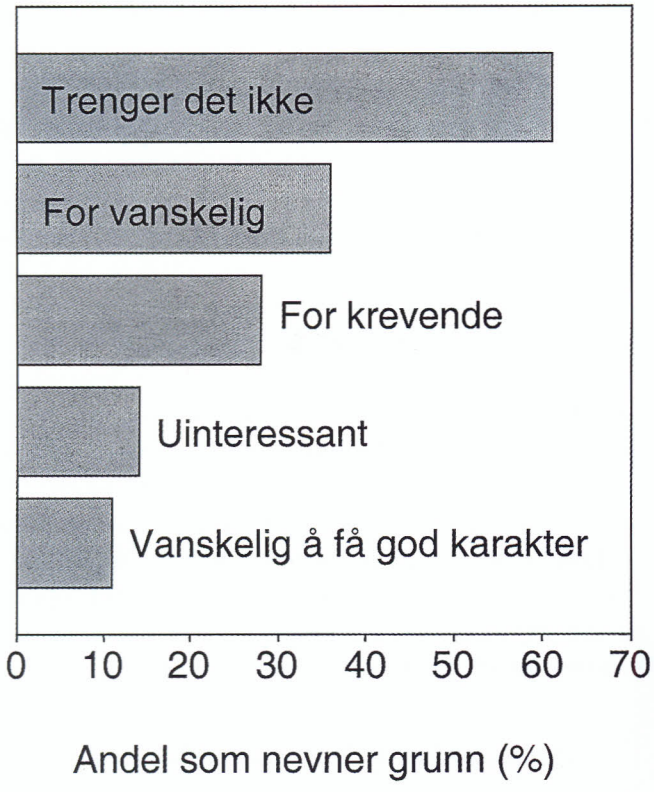
Figur 1. 2FY- og 3FY-elevers vurdering av ulike aspekter ved en framtidig jobb.

Elevene ble også spurt om betydningen av ulike argumenter for deres valg av fysikk som studieretningsfag i videregående skole. De fleste elevene oppga opptakskrav fra høyere læresteder og generell nytte for framtidig utdanning og yrke, som viktige argumenter for å ta fysikk. Personlig interesse for faget var også et viktig argument. På spørsmål om hvilke faktorer som, direkte eller indirekte, kunne ha påvirket deres valg av fysikk, kom egne evner og interesser fram som de overlegent viktigste faktorene hos både elever og studenter (figur 2). Denne tendensen ble sterkere desto lengre ute i utdanningsløpet respondenten befant seg. Respondentene vurderte *ikke* påvirkning fra familie, venner og massemedier som betydelig, men av familiemedlemmene var det far som ble vurdert å ha den sterkeste innflytelsen; imidlertid oppga en del av universitesstudentene i fysikk at lærere i skolen hadde hatt betydning.



Figur 2. Elevers og studenters vurdering av betydningen av ulike påvirkningsfaktorer for deres valg av fysikk.

Blant 2FY-elevene i vår undersøkelse var det 40 % av jentene og 27 % av guttene som *ikke* hadde tenkt å gå videre med 3FY. På et åpent spørsmål om den viktigste grunnen til denne beslutningen, var det vanligste svaret: "Jeg trenger det ikke for min videre utdanning" (underforstått: "Det er ingen grunn til å ta fysikk hvis man ikke må"). Andre grunner som ofte ble nevnt, var at faget var vanskelig og arbeidskrevende (figur 3). Hvis vi sammen-



Figur 3. 2FY-elevers grunner til *ikke* å fortsette med 3FY (noen nevnte flere grunner).

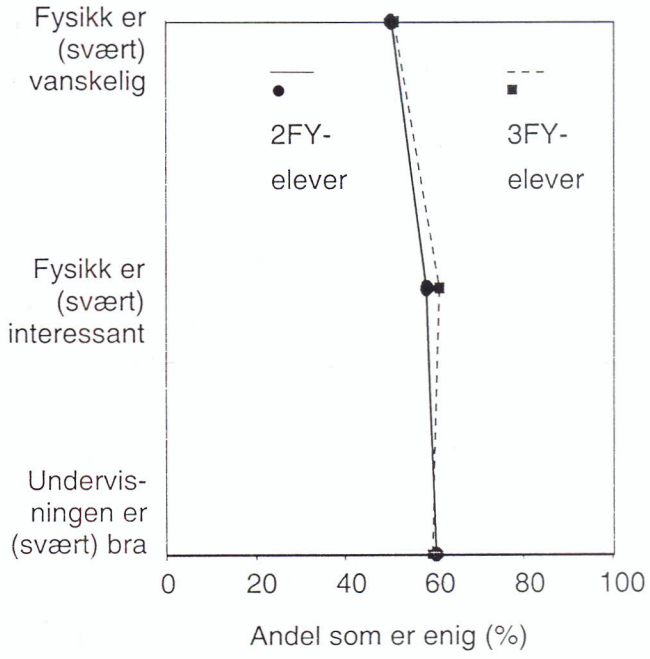
ligner de 2FY-elevene som *ville* gå videre til 3FY med dem som *ikke* ville, ser vi at de som går videre er de elevene som trives best med skolefysikken slik den fungerer i dag. Disse elevene har bedre karakterer og er mer fornøyde med faget og undervisningen enn "avhopperne". Dette er selvsagt ikke overraskende, men det bidrar til å understreke inntrykket av at dagens skolefysikk er spesielt tilpasset en liten, men eksklusiv gruppe elever.

Oppfatning av fysikkfaget

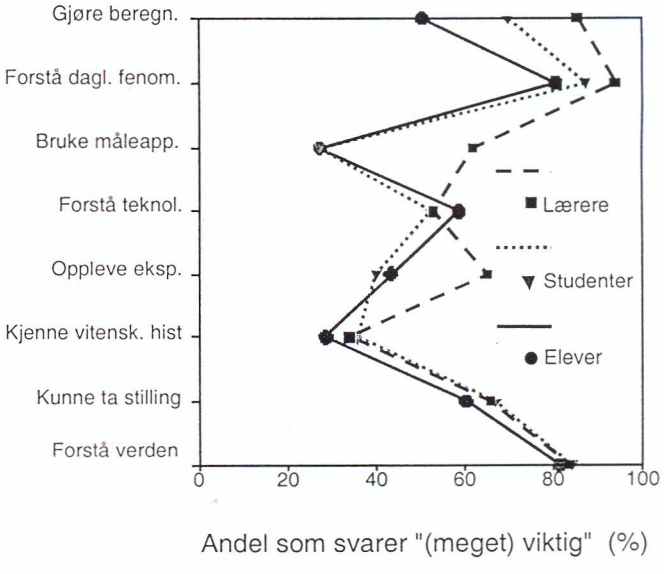
2FY- og 3FY-elevene var stort sett fornøyd med fysikkfaget og undervisningen, men de syntes at faget var vanskelig og krevende (figur 4). Særlig jentene, også de med god karakter i fysikk, vurderte faget som vanskelig.

Vi ba elever, studenter og lærere om å vurdere hva som var viktig i fysikkfaget. Aspekter som angikk det å forstå verden omkring seg og hverdagsteknologien, ble vurdert høyt av alle grupper (figur 5). Elever og studenter ga relativt sammenfallende svar, mens lærerne la litt mer vekt på aspekter som hadde med eksperimenter å gjøre.

Alle grupper fikk også et åpent spørsmål om hva de så på som mest karakteristisk for fysikkfaget.

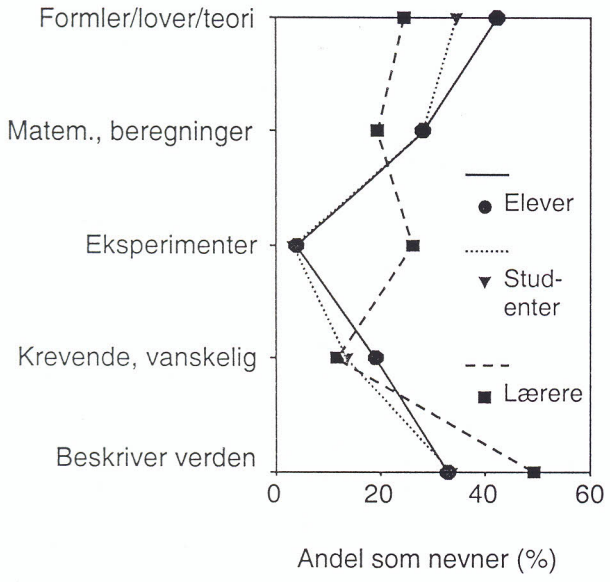


Figur 4. 2FY- og 3FY-elevers vurdering av fysikkfaget og undervisningen.

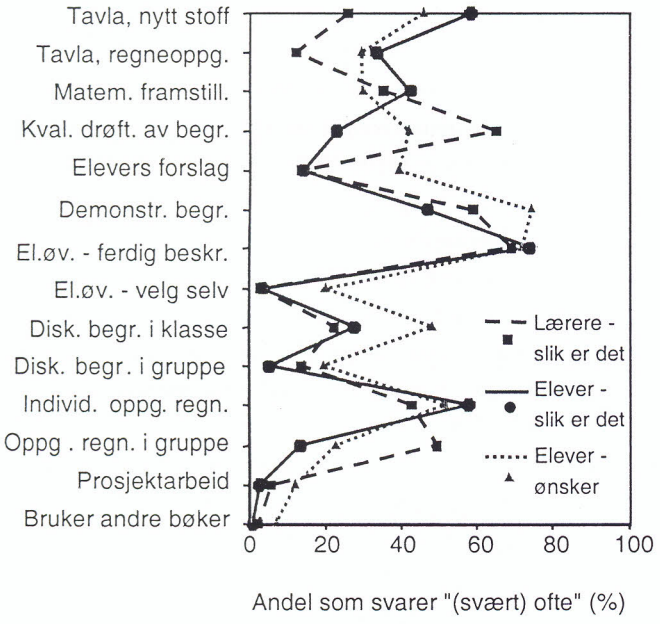


Figur 5. Elevers, studenters og læreres vurdering av hva som er viktig i skolefysikken.

De svarene som forekom hyppigst hos elever og studenter, var "formler, lover, teorier", tett fulgt av "matematikk/regning" og formuleringer om at "fysikken beskriver verden omkring oss". Igjen ga elever og studenter ganske like svar, mens lærerne la mer vekt på fagets eksperimentelle natur (figur 6).



Figur 6. Elevers, studenters og læreres beskrivelse av hva som er karakteristisk for fysikkfaget (noen nevnte flere faktorer).

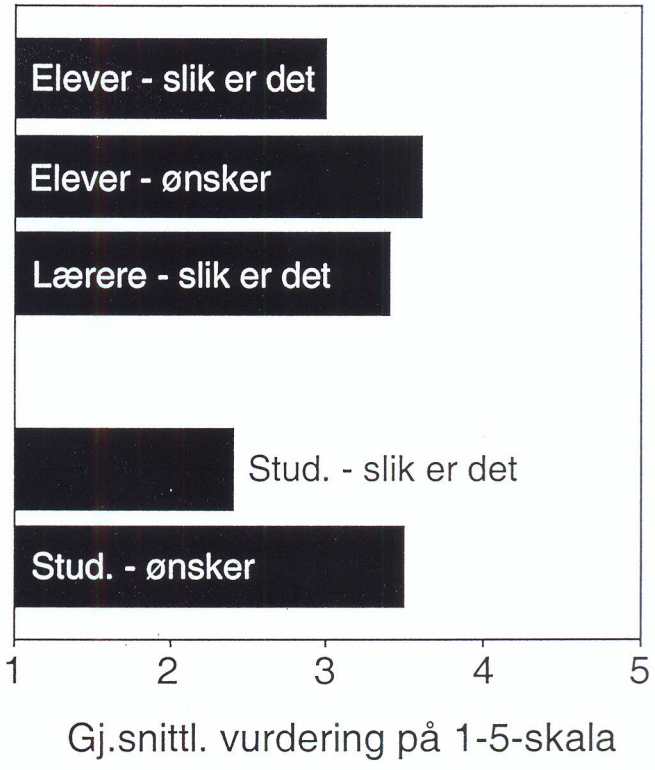


Figur 7. Elevers og læreres vurdering av hvor ofte ulike undervisningsformer er i bruk i fysikkurset de arbeider med, og elevenes ønsker om de ulike undervisningsformene.

Opplevelse av fysikkundervisningen

Alle grupper fikk et avkrysningsspørsmål der de ble bedt om å vurdere hvor ofte et utvalg av ulike undervisningsmetoder ble brukt i det fysikkurset de for øyeblikket arbeidet med. Elever og studenter ble dessuten bedt om å indikere hvor ofte de kunne *ønske* at de ulike undervisningsmetodene ble brukt dersom de kunne velge. Metodene som ble presentert, var forelesninger med tavleundervisning, gruppediskusjoner av nye begreper, demonstrasjoner, elevøvelser, individuell oppgaveregning, oppgaveregning i grupper osv. Det viste seg at 2FY- og 3FY-elevene stort sett var enige med sine lærere om hva som faktisk foregikk i fysikktimene (figur 7). Elevene var også stort sett fornøyde med situasjonen som den var – det var få store sprik mellom hva elevene opplevde i timene og hva de kunne ønske seg. Imidlertid var det et visst antall som ville ønske mer av hva vi kan kalle "kvalitative undervisningsmetoder", som f.eks. drøfting (i plenum eller i grupper) av de kvalitative aspektene ved nye begreper, og demonstrasjoner for å forklare begreper. Lærerne oppga at kvalitativ drøfting av begreper foregikk mer hyppig enn elevene mente.

Tendensen til å ønske mer kvalitative undervisningsformer fant vi igjen i langt sterkere grad hos universitetsstudentene (figur 8). Hos dem er det stor forskjell mellom hva de opplever og hva de kunne ønske seg av kvalitative undervisningsformer.



Figur 8. Elevers, læreres og studenters gjennomsnittlige vurdering, på en skala fra 1 ("aldri") til 5 ("svært ofte"), av en kombinasjon av tre "kvalitative" undervisningsformer.

Hva så?

Situasjonen for fysikkfaget i videregående skole kan (lett karikert) beskrives som følger: Rekrutteringen

til faget er for liten til å dekke landets behov for kompetanse; samtidig er de få elevene som faktisk velger faget, fornøyde og har lite ønske om forandring. Også lærerne er ganske godt fornøyde med faget som det er. Fysikkelever og -lærere utgjør et slags "lukket system" der begge parter får det faget de vil ha. For å øke rekrutteringen til fysikkrelaterte utdanninger og yrker, er man imidlertid nødt til å rekruttere elever også utenfor dette "lukkede systemet". Hvilke endringer må gjøres for å få til dette, og hvordan vil disse endringene bli mottatt av de gruppene som i dag er fornøyde med faget?

Med tanke på framtidige læreplanendringer for 2FY og 3FY, er det flere interessante spørsmål som kan reises på grunnlag av resultatene fra FUN, for eksempel:

- *Elevene oppfatter fysikkfaget i skolen som meget krevende og vanskelig.* Bør vi gjøre noe med dette, og i så fall hva? Er det slik at fysikkfaget i seg selv er spesielt krevende, eller er nivået på skolefysikken av historiske grunner holdt uforholdsmessig høyt?
- *Jenter er underrepresentert på alle nivåer i fysikkutdanning, og jentene utgjør dermed det største potensialet for rekruttering.* Både våre egne data og tidligere undersøkelser,[5,6,7] tyder på at det er en del forskjeller mellom jenters og gutters preferanser og prioriteringer, slik at jentene jevnt over er mer "personorienterte" en gutter. Bør fysikkfaget endres slik at f.eks. helsemessige og samfunnsmessige aspekter kommer tydeligere fram, for å tiltrekke flere jenter? Hvordan vil i så fall slike endringer bli mottatt av de gruppene som i dag velger fysikk?
- *Hva vil vi med elevøvelser i fysikkundervisningen?* Elevene i vår undersøkelse likte eksperimenter (bortsett fra rapportskrivingen), men til forskjell fra lærerne anså de ikke eksperimenter for viktige, og de nevnte ikke eksperimenter i sin karakteristikk av faget. Kan det tenkes at elevøvelser, slik de gjøres i dag, oppfattes av elevene bare som "artige krydder" i undervisningen, uten at elevene ser den viktige rollen som eksperimenter har i utviklingen av naturvitenskapene?
- *Elever, og i særlig grad studenter, etterlyste hyppigere bruk av "kvalitative undervisningsmetoder" som f.eks. gruppediskusjoner og lærerstyrt drøfting av begreper.* Bør vi gjøre noe for å møte dette behovet?

Til slutt kan vi spørre: Vil endringer i læreplaner og undervisningsformer i fysikk være nok til å snu trenden med at unge mennesker velger vekk fysikkfaget? Det er ikke sikkert at det er så lett; det finnes indikasjoner på at den synkende interessen for fysikk henger sammen med fundamentale endringer i livsvilkårene i det moderne samfunn.[8,9] Likevel, med det store behovet for kvalifisert arbeidskraft i årene framover, har vi neppe råd til å la være å prøve de midlene vi har til rådighet. Vi vil oppfordre til mer utbredt forsøks- og utviklingsaktivitet i skolen som grunnlag for neste læreplanreform, og vi håper at resultater fra FUN-prosjektet kan være nyttige innspill i dette arbeidet. Videre håper vi at resultatene våre vil stimulere til diskusjon og kreativ tenkning blant fysikklærere på alle nivåer.

Referanser

1. NIFU (Norsk institutt for studier av forskning og utdanning): *Arbeidsmarkedet et halvt år etter eksamen for universitets- og høgskolekandidater utdannet våren 1999.* http://www.nifu.no/kandidat (besøkt juni 2000)
2. T. Næss: *Fremskrivinger av student- og kandidattall.* NIFU Skriftserie 18/98 (1998).
3. O.J. Eikeland og O. Tvede: *Rekrutteringsbehov i naturvitenskapelige og teknologiske fag: Status i 1997. Prognosar mot 2015.* NIFU Rapport 20/98 (1998).
4. M. Tveitereid m.fl.: *Matematikk, naturvitenskap, teknologi: Tiltak for å styrke disse fagområdene i norsk utdanning.* Kirke-, utdannings- og forskningsdepartementet (1997).
5. M. Stewart: *Gender issues in physics education.* Educational research **40**, (no 3), 283–293 (1998).
6. S. Lie og C. Angell: *Fysikk i videregående skole: Hvem velger faget, og hvorfor?* Universitetet i Oslo (1990.)
7. L.J. Sax: *Retaining tomorrow's scientists: Exploring factors that keep male and female college students interested in science careers.* Journal of Women and Minorities in Science and Engineering **1**, 45–61 (1994).
8. B.C. Jørgensen: *Mathematics and Physics Education in Society – The Justification and Enrolment Problems from a General Perspective, in J.H. Jensen, M. Niss and T. Wedege (eds): Justification and Enrolment Problems in Education Involving Mathematics or Physics.* Roskilde University Press (1998).
9. S. Haavie: *Valg av studier – en søken etter identitet?* Aftenposten (kronikk), 3. november 2000.

∞

Konferanse

ICPS 2000 i Kroatia

På Fysikermøtet i Tromsø i juni premierte NFS to gode studentforedrag som ble holdt av stipendiatene Randi Valestrand (reservoarfysikk) og Kjellmar Oksavik (romfysikk) ved UiB. De fikk dekket reise og opphold ved den XV internasjonale studentkonferansen, ICPS 2000, i Zadar, Kroatia, 4–11. august. Her følger deres rapport fra konferansen.

Det var med stor spenning vi takket ja til å reise til Kroatia. Ingenting visste vi om landet på forhånd: Er det en del av Jugoslavia? Er det trygt å ferdes der etter konfliktene som har herjet regionen de siste årene? Bankene i Bergen hadde heller ikke hørt om valutaen *kuna* som er omtrent like mye verdt som den norske kronen. Uten å vite hva vi ville møte, dro vi til Kroatia og Zadar.

Kroatia

Republikken Kroatia er et lite land med 4,8 millioner innbyggere, de fleste romersk-katolske, fordelt på 56 538 km^2. Hovedstaden Zagreb huser 1,2 millioner innbyggere. Andre store byer er Dubrovnik, Split, Pula og Zadar. Kroatia har Middelhavets kanskje flotteste skjærgård med 1185 øyer, hvorav kun 66 er bebodd. Klimaet er kontinentalt i nord, alpint i høyfjellet, og middelhavsklima ved Adriaterhavet. I sør og langs Adriaterhavet har man siesta midt på dagen, mens i nord gjør middeleuropeisk kultur inntog.

Kroatisk historie strekker seg fra ca. år 400 før Kristus, da de første greske koloniene ble grunnlagt på øyene rundt Adriaterhavet. Landet har vært rammet av mange kriger og unioner med større naboland. Etter andre verdenskrig ble Kroatia en av statene i Jugoslavia; men i 1991 erklærte de selvstendighet, og krigen mot Jugoslavia brøt ut. I 1992 ble Kroatia med i FN, og med FNs hjelp ble de siste kroatiske landområdene frigjort i 1998. Av sikkerhetsmessige årsaker var det faktisk en stund tvil om hvorvidt ICPS 2000 kunne arrangeres i Kroatia.

Zadar

Zadar er en 3000 år gammel kystby ved Adriaterhavet. Byen var hovedstad i Dalmatia i flere hundre år. I bybildet ser man fremdeles mange spor

Figur 1. Randi Valestrand og Kjellmar Oksavik (begge fra UiB) fikk dekket reisen av Norsk Fysisk Selskap etter å ha vunnet pris for de beste studentforedragene under Fysikermøtet i Tromsø.

etter romersk kultur: Romerske gater, tykke bymurer med vakre porter, et forum fra år 100, og en rekke gamle kirker, helt fra det 9. århundre. Men Zadar har også rike akademiske tradisjoner. Det første kroatiske universitet ble nemlig grunnlagt der i 1396!

I Zadar kunne vi også se flere spor etter krigshandlinger. I utkanten av sentrum så vi hus som var sprengt i stykker og murvegger med granatmerker. På vei til flyplassen fikk vi også se store minelagte områder, og på begge sider av veien var det satt opp høye gjerder og fareskilt. Taxisjåføren kunne fortelle at under krigen ble den gamle flyplassen bombet sønder og sammen. I stedet for å utbedre skadene, ble det bestemt at man skulle bygge en helt ny flyplass. Det var imidlertid svært få minefrie steder, så rullebanen ble like godt lagt på tvers av en sterkt trafikkert motorvei! Flystripa er merket med bom, skilt for planovergang og to røde blinklys. I tillegg er to politifolk helttidsansatt for å stoppe trafikken når flyene skal lette eller lande.

IAPS

ICPS (International Conference for Physics Students) arrangeres av IAPS (International Association of Physics Students). Første møtet ble arrangert i Budapest i 1986, og IAPS ble dannet året etter. Deretter er konferansen blitt holdt i en rekke europeiske storbyer. Hittil har IAPS hovedsaklig vært en europeisk dominert organisasjon, men de har nå visjoner om også å trekke inn fysikkstudenter fra resten av verden, ved bl.a. å arrangere ICPS i andre verdensdeler. IAPS har to hovedmål:
1) Å oppmuntre fysikkstudenter i deres akademiske og faglige arbeid i en internasjonal sammenheng.
2) Å fremme forståelse og tillit mellom fysikkstudenter jorden rundt.

ICPS 2000

ICPS 2000 ble holdt på Filosofisk fakultet i Zadar. Lokale arrangører var studenter fra Kroatisk Fysisk Selskap, Filosofisk fakultet i Zadar og Fysisk institutt ved Universitetet i Zagreb. Arrangørene gjorde en kjempejobb. Alt gikk stort sett knirkefritt, og vi ble servert både kroatisk mat, drikke, kultur og natur. Et av høydepunktene i det sosiale programmet var den internasjonale aftenen, hvor hvert land fikk profilere sin egen mat, drikke og kultur. Vi var også på en fantastisk dagstur til Kornatiøyene, en gruppe kritthvite middelhavsøyer som ligger et par timers reise med båt fra Zadar.

Arrangøren hadde delt konferansedagene i to økter. Først en morgenøkt med foredrag frem til lunsj/siesta. Under siestaen fikk vi oppleve sol, blå himmel, strandliv, handlegater, gode restauranter og kroatisk middelhavskultur. Det kroatiske folket var vennlige, og vi merket ingen kriminalitet. Det virket som om folk var lei krig og uroligheter

Figur 2. Universitetet i Zadar hvor konferansen fant sted.

og så lyst på fremtiden. Ut på ettermiddagen startet andre økt med nye forelesninger/foredrag. De fleste bidragene (58 foredrag og 22 postere) ble holdt av studenter. Av de 13 norske studentene på konferansen var det tre som holdt foredrag. I stekende sydensol pekte Kjellmar Oksavik på mulighetene for å overvåke romværet ved hjelp nordlysobservasjoner i polarnatten på Svalbard ("Space weather in the arctic"). Randi Valestrand orienterte om en nyutviklet metode for bestemmelse av permeabiliteter i kjerneprøver ("Simultaneous determination of absolute and relative permeability"). Sigrid Sagevik, fra UiB, presenterte målinger av nettfrekvente magnetfelt fra kraftlinjer ("Environmental measurements of power-frequent magnetic fields"). Generelt synes vi kvaliteten på foredragene var høy. Det er artig å se bredden i dagens fysikk! Det var også flere paneldebatter og noen gode inviterte foredrag.

Seniorforsker *Slobodan Danko Bosanac* (Institute Ruder Boskovic, Zagreb) satte fokus på kvantefysikken og den sterke koblingen til klassisk fysikk i sitt foredrag "Classical concepts in quantum world". Bosanac brenner for at mye av den moderne fysikken enkelt kan reformuleres ut fra klassisk fysikk. Han gjorde et stort poeng av at hvis man i klassisk fysikk tar hensyn til usikkerhetsprinsippet og representerer en partikkel med en faseromstetthet i stedet for med ett enkelt punkt i faserommet, så kan en rekke fenomener i moderne fysikk, f.eks. tunneleffekten, beskrives klassisk.

Sir Arnold Wolfendale (professor ved University of Durham og president i European Physical Society) tok i sitt foredrag "Physics and society", opp fysikkens posisjon i samfunnet. Hva mener samfunnet om fysikken, vitenskap og oss fysikere? Hvorfor trenger vi fysikere når de fleste demokratiske beslutninger tas av ikke-fysikere? Hvilke utfordringer står vi overfor? Sir Arnold Wolfendale gav også en engasjerende ekstraforelesning om "The search for extra-terrestrial intelligence". Finnes det liv der ute, eller er vi helt alene i universet? Hvilke indikasjoner finnes på utenomjordiske vesener? Han innledet foredraget med å stille en rekke spørsmål til publikum. Det viste seg at et stort flertall mente at det finnes mange intelligente sivilisasjoner. Sir Arnold tok dette som utgangspunkt og provoserte nok de fleste da han etter 60 minutter konkluderte med at sannsynligvis er vi alene. Hvis vi mot formodning ikke skulle være det, så er det ekstremt lite sannsynlig at vi noen gang vil klare å oppdage andre sivilisasjoner.

Professor *Frank Burnet* (University of the West of England, Bristol) fortalte i sitt foredrag, "Public understanding of science", om hva som gjøres i Storbritannia for å øke publikums forståelse for viktigheten av naturvitenskap, forskning og teknologi. Flere store kriser, f.eks. utbruddene av kugalskap, har ikke akkurat økt publikums tillit til forskning. Slike kriser rammer heller ikke bare det berørte fagfeltet. Mange vet nemlig ikke forskjell på en biolog og en fysiker! Av den grunn har Storbritannia de siste årene brukt enorme beløp på å folkeliggjøre naturvitenskap og teknologi. Nasjonale vitenskapsuker, regionale sentre for formidling av naturvitenskap og bussreklame er noen av tiltakene som er iverksatt. Målgruppen for disse kampanjene er barn og ungdom. Ifølge biologen Burnet, har den voksne befolkningen allerede gjort seg opp en mening. Barn og unge er derimot en mye mer interessant målgruppe, og de blir fremtidens forskere. Burnet snakket også om forskningsformidling. Ikke all formidling er god formidling. Hva skal vi formidle? Svarene, spørsmålene eller ingen av delene? Hvis vi bare formidler svarene, kan publikum begynne å lure på hvorfor man fremdeles trenger å forske. Publikum er heller ikke interessert i lange, kompliserte svar. Ifølge Burnet er heller ikke en forsker som har alle svarene noen god forsker. En god forsker stiller i stedet de rette spørsmålene og klarer å formidle sin glød og sitt engasjement. Her har lærere i skolen en kjempeutfordring som forskningens viktigste ambassadører. Lærernes mest sentrale oppgave er å vekke elevenes kjærlighet til kunnskaper. Når alt kommer til alt har vel interesser for vitenskap og forskning en god del til felles med følelser.

Neste år blir konferansen (ICPS 2001) arrangert i Irland. Vi oppfordrer herved norske studenter til å delta!

Så ønsker vi å takke Norsk Fysisk Selskap for økonomisk støtte til å delta på ICPS 2000!

Randi Valestrand og Kjellmar Oksavik

∞

Bokomtaler

Otto Øgrim og Bjørn Ebbe Lian: Fysiske størelser og enheter – navn og symboler, Universitetsforlaget, Oslo, 2000 (120 sider), 228 kr.

Fysiske størrelser og enheter i ny utgave

Vet du hva enheten "gon" står for og hvem det er som benytter denne enheten? Det er kanskje ikke så viktig for de fleste å vite det, men hvis du skulle like å vite det, og svært mye annet som det er viktig for oss som arbeider med fysikk å vite, kan du slå opp i Otto Øgrim og Bjørn Ebbe Lians nyutgitte bok. Dette er 3. utgave, og den er på 120 sider. 1. utgave kom i 1984. Den første boken "Størrelser, enheter og symboler i fysikken", med Øgrim som eneforfatter, utkom i 1961.

Størrelser, enheter, navn og symboler i fysikk kan fortone seg som det rene villniss selv for fagfysikere. Det er metersystem og gamle britiske og amerikanske systemer av enheter, det er cgs-system og SI-system og en skog av benevnelser og symboler. Med "Fysiske størrelser og enheter" har Øgrim og Lian gitt oss et uvurderlig nyttig og viktig hjelpemiddel til å orientere oss med sikkerhet ut av villnisset. Deres utrolig innholdsrike bok tryller simpelthen villnisset bort. At boken også er spennende lesning, kan synes enda mer utrolig, men det opplever jeg at den er.

Jeg har gjennom årene hatt stor glede og nytte av de tidligere utgavene av boken i undervisningen på Fysisk institutt, UiO, og understreker nå for studentene at de må gjøre seg godt kjent med den nye. Den vil hjelpe dem i studiesituasjonen og ikke minst være meget nyttig under eksamen. Vi benytter i stor utstrekning engelskspråglige lærebøker. I Øgrim og Lians bok finner vi en engelsk–norsk ordliste. Det engelske "momentum" er nå oversatt med "driv". Denne sentrale størrelse har gjennom årene hatt mange navn: bevegelsesmengde, massehastighet og massefart. På siste side i boken finner vi internettadresser som oppdaterer oss på verdier av sentrale fysiske konstanter.

Personlig beveger jeg meg ikke langt uten å sørge for å ha Øgrim og Lians bok innen rekkevidde.

Apropos enheten "gon". Den er definert på side 38, og er en vinkel lik $\frac{\pi}{200}$ som benyttes av landmålere.

Kristoffer Gjötterud

∞

Orbok for fysikk og kjemi til skolebruk. Norsk språkråds skrifter Nr. 7, 2000, ISBN 82-990559-9-7.

Fagterminologi i fysikk og kjemi

Alle som underviser i fysikk, uansett trinn og nivå, møter før eller senere problemet med bruk av korrekt faglig ordbruk. I praksis har dette ført til en varierende og til dels forvirrende terminologi, ofte med regionale "dialekter" og (u)vaner. Dette er et problem som ofte neglisjeres, og et uheldig resultat er at studenter må leve med de forskjellige dialektene etter hvert som de passerer gjennom hele skolesystemet. Problemet er spesielt stort for de som lager og utgir lærebøker.

Norsk språkråd har i lang tid hatt en komite med oppdrag om å foreslå en standardisert norsk fagterminologi i fysikk og kjemi. Resultatet av mange års komitearbeid foreligger nå i en bok. Med 75 sider fysikk- og 35 sider kjemiterminologi skal en langt inn i fagenes spesialfelter for å finne ord som er utelatt.

Alle termer og symboler i denne boka er i overensstemmelse med vedtak fattet av Generalkonferansen for mål og vekt (CGPM). Gjennom de utøvende organer blir vedtatte standarder oversatt og gitt ut som nasjonale standarder. Termene i boka er derfor å betrakte som norsk standard.

For hver term er det gitt en kort forklaring. Disse forklaringene er som regel godt poengterte, men alle er ikke ment å være fullstendige. Presisjonen er tilsynelatende størst for de mest brukte grunnleggende termene. En bruker av en bok som dette vil som regel ta stikkprøver innen eget spesialområde, og da vil en nok finne enkelte unøyaktigheter.

Som i all norsk offentlig dokumentasjon har komiteen effektivt løst problemet med to målføre. Både fysikkdelen og kjemidelen av ordboka har termer på begge målføre der de er forskjellige. Enhver påpasselig språkpolitiker bør være fornøyd med at i fysikkdelen står nynorsktermen foran bokmålstermen, mens rekkefølgen er motsatt i kjemidelen. Videre er alle forklaringer på nynorsk i fysikkdelen og på bokmål i kjemidelen.

I tillegg til ordlistene har boka viktige tillegg om størrelser og enheter, og om standarder for notasjon. Videre finner vi definisjoner av grunnenhetene i SI-systemet, en liste over koherente SI-enheter med egne navn og symboler (f.eks. hertz = 1/s), samt de mest brukte "ikke-SI-enheter".

Bakerst i boka finner vi også et tillegg om nomenklaturregler for kjemiske forbindelser, samt fire sider med tegning av og navn på det vanligste laboratorieutstyret.

Dette er en meget nyttig bok for alle som på en eller annen måte er beskjeftiget enten med å undervise eller med å lære fysikk og kjemi. Boka er trykket i et forbausende beskjedent opplag på 1500, og denne amelderens råd er at her gjelder det å være raskt ute for å sikre seg et eksemplar.

Finn Ingebretsen

∞

Fysikksnutter

To pensjonerte og meget aktive fysikere, Svenn Lilledahl Andersen og Otto Øgrim, har en jevn produksjon av verdifullt pedagogisk materiale. De har blant mye annet laget forslag til en rekke små, enkle demonstrasjoner som de kaller "snutter". Disse burde glede fysikere i alle aldre, og kan tas fram ved nær sagt enhver anledning, fra klasserom og auditorium til en regnværsferie på hytta med underholdningshungrige barn og/eller barnebarn. FFVs redaksjon har fått et utvalg av snuttene, og vil publisere dem i tur og orden. Her følger den første:

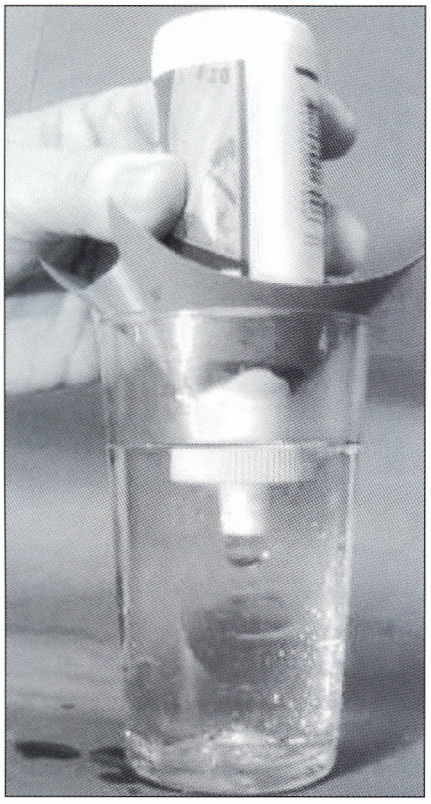
Dråpemor og dråpebarn

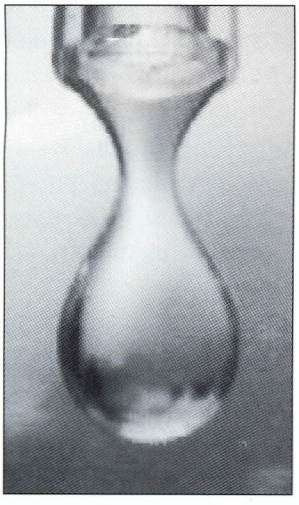
Mora først, så barnet

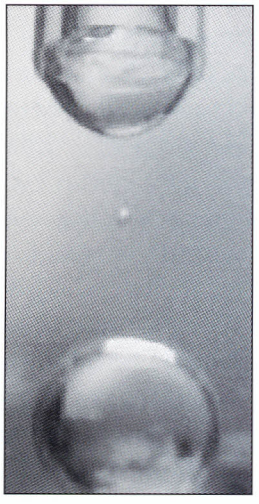
Når en dråpe faller fra en røråpning, følger det oftest en bitte liten dråpe like etter. Dråpene faller fort, og dråpebarnet er bitte lite og så vanskelig å oppdage at vi aldri ser det. Men en vanndråpe i olje faller langsomt, og da er det lett å se dråpebarnet.

Vi brukte en klar matolje i et glass og lot vanndråpene falle i det. Dråpene fikk vi fra en liten plastflaske for håndkrem. Vi klippet av tuten og satt igjen med en rørstuss med en åpning på 5–6 mm. Flaska fylte vi med vann og satte den opp ned i oljeglasset. Det kom dråper når vi klemte forsiktig på flaska. Når vi brukte lupe var det lett å se dråpebarnet. Kanskje kan skarpøyde ungdommer se det uten lupe også.

Når dråpen faller i olje, samler den opp litt olje og tar med seg på veien. Det spiller ingen rolle for den store dråpen, men det er nok til at den lille stopper praktisk talt opp etter et par centimeter.







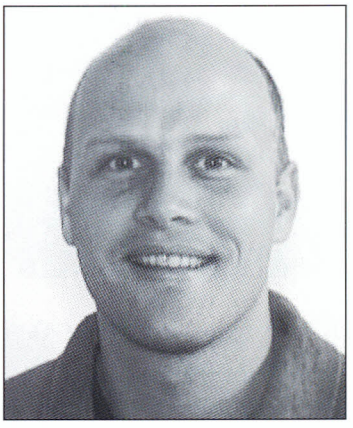
Bildene er tatt med et videokamera. Da ser vi både selve dråpedannelsen, og i det siste bildet ser vi dråpebarnet også, så vidt det er.

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Nye Doktorer

Christian Brekken



Sivilingeniør Christian Brekken disputerte 1. sept. for dr.ing.-graden ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Macromolecular transport parameters in tumor tissue and their response to hyaluronidase.*

De dårlige kliniske resultatene fra kreftterapi med nyutviklede medikamenter som monoklonale antistoffer og genvektorer, er bakgrunnen for Brekkens doktoravhandling som understreker et sentralt, men uløst problem i molekylær kreftterapi.

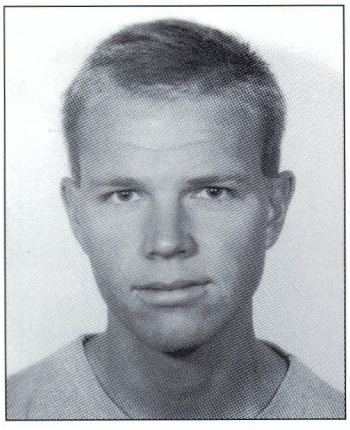
Nye molekylære medikamenter har evnen til å nøytralisere kreftceller i kroppen uten å ramme normale celler i samme grad som konvensjonell kreftterapi. Sammenlignet med tradisjonelle cellegifter er disse nye medikamentene store molekyler. Et sentralt problem er derfor ineffektiv transport av medikamentet fra blodårene og frem til kreftcellene. Doktorgradsarbeidet har resultert i flere nye teknikker for å bestemme parametre som trolig påvirker opptaket av medikamenter i kreftvev. En av hovedkonklusjonene er at opptaket av medikamenter kan forbedres ved periodisk reduksjon av det unormalt høye væsketrykket som oppstår i svulster. Dette kan oppnås ved periodisk injeksjon av enzymet hyaluronidase, som ved å bryte ned kreftvevet endrer dets transportegenskaper.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med førsteamanuensis Catharina de Lange Davies som hovedveileder. Arbeidet ble finansiert av NTNU, Den Norske Kreftforening og Norges forskningsråd.

Christian Brekken er nå ansatt som postdoktor ved SINTEF UNIMED.

∞

Einar Dale



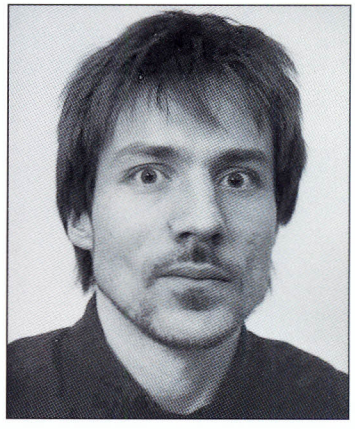
Cand.scient. Einar Dale forsvarte 6. oktober sin avhandling *Modeling normal tissue complication probability after radiotherapy of the pelvic region* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

Einar Dale har i sin avhandling vist at bivirkninger etter strålebehandling av kreftsvulster kan forutsies ved hjelp av en matematisk modell.

Nest etter kirurgi er stråleterapi fortsatt den viktigste behandlingsmetoden for kreft. Stråledosen til svulsten er imidlertid begrenset av toleransen til de friske organer som ligger i strålefeltene. For flere organer er det vist at risikoen for bivirkninger er bestemt av størrelsen på dosen og av hvor stor del av organet som er bestrålt. Økt kunnskap om denne sammenhengen gjør det mulig å plassere strålefeltene slik at risikoen for bivirkning blir minst mulig, samtidig som kreftsvulsten gis en dødelig dose. Dette vil få vidtrekkende konsekvenser, fordi langt flere kreftpasienter kan bli helt friske uten at forekomsten av bivirkninger øker. I Dales undersøkelser er det spesielt sett på organer i faresonen ved strålebehandling av to viktige kreftformer: prostatakreft og livmorhalskreft. Arbeidet er utført ved Avdeling for medisinsk fysikk og teknikk, Det Norske Radiumhospital, med professor Erik O. Pettersen som veileder, og Dale var stipendiat ved Den Norske Kreftforening under studiet. Han studerer nå medisin.

∞

Audun Ramstad



Sivilingeniør Audun Ramstad disputerte 10. juni 1999, for graden dr.ing. ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Surface science studies of model bimetallic catalyst systems.*

Katalysatorer brukes bl.a. i produksjon av kjemikalier, til oljeraffinering og til avgassrensing fra biler og industri. Dessuten brukes de i brenselceller til energiproduksjon, som ventes å få stor utbredelse i fremtiden. Katalysatorer får kjemiske reaksjoner til å gå med lavere energiforbruk ved at reaktantene adsorberes på katalysatorens overflate før de reagerer. Effektiviteten til en katalysator bestemmes derfor i stor grad av vekselvirkninger mellom reaktantgassene og katalysatoroverflaten. Et sentralt spørsmål er: Hvor lett og hvor sterkt binder molekyler seg til overflaten?

Ramstad har studert modellsystemer for platinabaserte katalysatorer. Ved hjelp av forskjellige teknikker har han studert vekselvirkningen mellom enkle molekyler og metalloverflater på atomær skala. Både strukturelle og elektroniske egenskaper er studert. I avhandlingen vises flere eksempler på hvordan bindingsstyrken mellom et molekyl og en metalloverflate kan endres drastisk ved tilsetting av små mengder av et annet metall, og ved legering med et annet metall. Avhandlingen vil bidra til å danne basis for rasjonelt design av katalysatorer.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Steinar Raaen som veileder, og det er finansiert av Norges forskningsråd. Ramstad er nå ansatt ved Tandberg Data.

∞

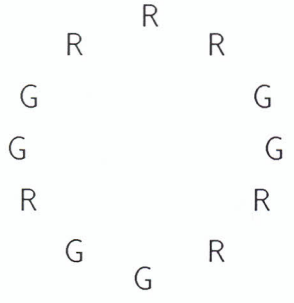
Trim i FFV

FFVT 4/00

a) Du er ombord i en båt i et svømmebasseng. Et klassisk spørsmål er hva som skjer med vann-nivået når du mister en flaske brus overbord: Stiger det, synker det eller er det uforandret? Et annet spørsmål er: Hva skjer med vann-nivået hvis båten lekker?

b) Farg halvdelen av de 12 tallene på en klokkeskive røde (R), den andre halvdelen grønne (G). Intervallet mellom to ulike røde tall er definert som det minste antall timer som ligger mellom dem, et heltall som er minst 1 og høyst 6. Det er i alt 15 slike intervaller siden det er femten ulike par røde tall. I figureksemplet nedenfor er settet av intervaller lik 1, 1, 1, 2, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 5 og 6. Bevis at de røde og de grønne tallene alltid har samme sett av intervaller!

Denne sammenhengen ble oppdaget empirisk av komponister som arbeidet med Arnold Schönbergs tolvtoneskala. I musikksammenheng representerer tallene 1 til 12 de tolv tonene i den kromatiske skala.



Løsning FFVT 3/00

a) Langs en bilrundbane var det plassert n bensindepoter i ulike avstander, med en totalmengde av bensin som akkurat var nok for en hel rundtur. Det skulle vises at uansett hvordan bensinen er fordelt på depotene så kan en starte ved ett bestemt depot med tom tank, fylle opp, og kjøre rundt hele banen idet en fyller ved de depotene som passeres undervegs.

For å vise det gjør vi det tankeksperiment at vi tar en prøvetur med ganske mye bensin på tanken, og starter på et vilkårlig sted. Ved alle depotene fyller vi på bensinen som er lagret der. På denne tenkte rundturen vil bensinmåleren stå lavest på et bestemt sted, nødvendigvis idet vi ruller *inn* til et depot. *Dette depotet* er det vi skal starte ved på den virkelige rundturen. Bensinmålerstand null før fylling her vil være minimumsverdien på rundturen. Altså kommer vi rundt hele banen ved å starte her.

b) Det var oppgitt at i dag fylte både jeg og barnebarnet år, og at det var den sjette fødselsdagen på rad at min alder var et heltallig multiplum av barnebarnets alder. Du skulle bestemme min alder.

Løsning: Anta at 5 og 6 år inngår i barnebarnets fødselsdager. De eneste to nabotall under 125 som er multiplum av disse er (35, 36), (65, 66) og (95, 96). 7 år kan ikke inngå i tillegg til 5 og 6, fordi hverken 37, 67 eller 97 er delelig med 7. Derimot kan 4 inngå fordi 64 er delelig med 4 (men 34 og 94 er det ikke). Og 3, 2 og 1 kan inngå fordi 63, 62 og 61 er delelig med henholdsvis 3, 2 og 1. Altså er løsningen at jeg er 66 år.

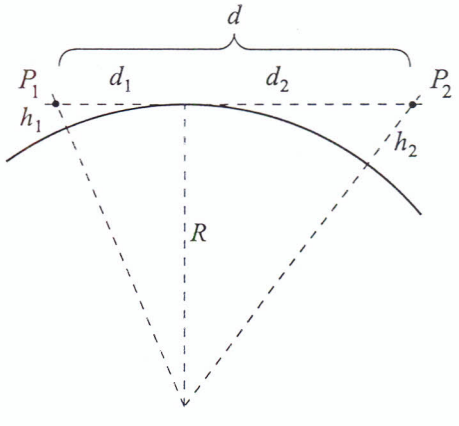
Til slutt må vi undersøke om det er andre løsninger. Hvis 5 og 6 ikke inngår, må 10 og 11, eller høyere tall, inngå. 10 og 11 kan vi utelukke fordi da må mine fødselsdager være minst 120 og 121. Men selv dette går ikke, fordi 119 er ikke delelig med 9, og 122 er ikke delelig med 12. På liknende måte kan vi sjekke at 15 og 16 ikke kan inngå blant barnebarnets seks fødselsdager, for da måtte mine tilsvarende fødselsdager være 255 og 256, osv. (Mer generelt kan en vise at om $n-1$ og n er to av barnebarnets fødselsdager, må jeg være minst n^2 år.) Altså er løsningen 66 år entydig.

Kommentar til sommernøtt i FFV 3/00

Det generelle uttrykk for jordradien ut fra målingene over stille innlandsvann er:

$$R \simeq \frac{d^2}{2\,(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}.$$

Størrelsene er definert på figuren.



∞

Innsendt løsning FFVT 3/00 a)

Redaksjonen har mottatt følgende induksjonsbevis for FFVT 3/00 a):

Påstanden er opplagt riktig for $n = 1$. Anta at den gjelder for tall mindre enn n. Gitt en bane med n depoter.

1) Hvis det finnes et depot A med for lite bensin til å komme til nærmeste nabodepot, kan dette depotet og et stykke av banen tilsvarende bensinmengden i A, fjernes. Da får vi en bane med $n-1$ depoter som fyller kravene i oppgaven, slik at påstanden i oppgaven er riktig. Da vil den også være riktig når depot A og veistykket som fjernes, settes tilbake.

2) Anta at det ikke finnes noe slikt depot. Fra ethvert depot vil det da være nok bensin til å komme til et av de to nabodepotene. Hvis dette er i samme omløpsretning for alle depotene, vil det være mulig å kjøre helt rundt, og saken er i orden. Hvis ikke, vil det finnes to nabodepoter som begge har nok bensin til å komme til hverandre. Disse to depotene slås sammen til et depot mellom de to opprinnelige. Da har vi en bane med $n - 1$ depoter som oppfyller kravene i oppgaven, og som det derfor er mulig å kjøre rundt. Det vil ikke gjøre noen endring i dette om bensinen fordeles på de to opprinnelige depotene igjen, slik at en også da vil kunne kjøre rundt. Dermed er det vist at påstanden er riktig.

Tor Fidje

∞

Hva skjer

Fysikermøtet 2001

Fysikermøtet i år 2001 arrangeres i Trondheim fra torsdag 14. til søndag 17. juni. Institutt for fysikk ved NTNU står som arrangør. Vi har nå flyttet inn i det nye realfagbygget på Gløshaugen og ser fram til å ønske deltagerne på Fysikermøtet velkommen til et stort fysikkarrangement i nybygget vårt.

På årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap i Tromsø i år, ble det vedtatt at Fysikermøtet 2001 både skal omfatte årsmøtet i NFS og andre tradisjonelle arrangement knyttet til Fysikermøtet og gruppemøter for de enkelte faggruppene. Slike store fysikermøter planlegges avholdt annet hvert år. Fysikermøtet 2001 blir det første av de store møtene. Arrangementet vil derfor bestå av gruppemøter for hver av de 7 nye faggruppene i NFS samt hoveddelene av det tradisjonelle Fysikermøtet.

Programmet for møtet i 2001 inneholder inviterte plenumsforedrag og parallellsesjoner for hver av faggruppene fra torsdag formiddag og fram til lunch på lørdag. Parallellsesjonene vil også inneholde ett eller flere inviterte foredrag. Det er satt av tid til en postersesjon torsdag ettermiddag. Lørdag etter lunch vil utdelingen av Simrad Optronics fysikkpris og Undervisningsprisen foregå. En plenumsdebatt er også planlagt denne ettermiddagen. Årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap avholdes på formiddagen søndag 17. juni.

Fysikermøtet 2001 vil med sine gruppesesjoner by på interessante foredrag innen de enkelte fagområdene, samtidig som det blir rikelig med muligheter for deltagerne til å utvikle kontakter med de andre faggruppene. Vi oppfordrer til et betydelig innslag av studentforedrag på gruppesesjonene slik at studentene får anledning til å presentere sine arbeider for sitt fagmiljø. Med godt oppmøte vil gruppesesjonene bli et samlingspunkt for de nye faggruppene i NFS. Vi oppfordrer derfor alle medlemmene til å slutte opp om arrangementet.

Påmelding og program for møtet kommer i første nummer av Fra Fysikkens Verden i 2001. En egen hjemmeside for møtet vil bli lagt ut i januar 2001 under hjemmesiden til Institutt for fysikk, NTNU, *http://www.phys.ntnu.no*. Påmelding vil kunne foregå via hjemmesiden til Fysikermøtet. Påmeldingsavgiften vil bli 1000 kr. For studenter og lærere i videregående skole blir avgiften 500 kr.

Norsk Fysisk Selskap gir stipender til studenter som deltar på Fysikermøtet 2001, og det blir langt flere studentstipender enn ved tidligere møter. Dette gir derfor studenter ekstra gode muligheter til å delta på møtet. For fysikklærere i videregående skole gis det også støtte til reise og opphold i forbindelse med møtet.

Vi ønsker alle velkommen til et innholdsrikt fysikermøte i Trondheim i juni 2001.

For arrangementkomiteen
Anne Borg
e-post: anne.borg@phys.ntnu.no

∞

Nytt fra NFS

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Simrad Optronics pris i elektrooptikk

Simrad Optronics A/S gir annet hvert år en fagpris i elektrooptikk. Prisen er på 15 000 kr og deles ut av Norsk Fysisk Selskap. Prisen gis for et norsk arbeid på fagområdet elektrooptikk eller et arbeid der elektrooptiske metoder er anvendt. Prisen skal gis som belønning for et arbeid som er utført av en eller flere personer innenfor de fem siste år før utdelingen. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodeses med prisen.

Norsk Fysisk Selskaps undervisningspris

Norsk Fysisk Selskap har med støtte fra Aschehoug, Cappelens forlag, NKI-forlaget, Norsk Undervisningsforbund og Statoil, opprettet et fond hvis avkastning hvert annet år vil bli brukt til en undervisningspris i fysikk. Prisen for 2001 er på 15 000 kr. Prisen deles ut til en eller flere som underviser i grunnskole eller videregående skole. Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet.

Mer informasjon er tilgjengelig via internett: *http://www.fys.uio.no/nfs*

Begrunnede forslag på kvalifiserte kandidater til de to prisene kan sendes til Norsk Fysisk Selskaps sekretariat innen 31. mars 2001. Adresse: Norsk Fysisk Selskap, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo.

∞

Nye medlemmer 30. oktober 2000

Jens O. Andersen
Institute of Theoretical Physics, University of Utrecht
Princetonplein 5, 3584 Utrecht, Netherland

Sharam Ariafar
Jotunveien 24, 3913 Porsgrunn

Tom Kristian Bardal
Brugseier Olsens vei 25, 7018 Trondheim

Jon Are Beukes
6, Rue It. Trocad, F-38000 Grenoble, France

Marit Mikkelsen Bråthen
Glimmerveien 15, 3070 Sande

Anders Buen
Fauchaldsgate 4A, 0365 Oslo

Bjørn Galleberg
Sande vgs., 3070 Sande

Arild Lyng Monsen
Greveskogen vgs., Eikvn. 2, 3122 Tønsberg

Kristian August Mowinckel
Nordbyringen 6A, 2050 Jessheim

Odd Nygård
Stryn vgs., 6783 Stryn

Sverre Vegard Pettersen
Fysikalsk elektronikk, NTNU, 7491 Trondheim

Finn Tore Stiansen
Haukelandsbakken 45, C-215, 5009 Bergen

Nils Ivar Østerbø
Øystese gymnas, Boks D, 5604 Øystese

∞

God Jul og Godt Nytt År!

C-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. Men andre kan også abonnere på bladet, og 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 hhv. 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon til alle med interesse for fysikk, og tidsskriftet ønsker å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i vieregående skoler og andre undervisnigsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på en lett og forståelig måte på norsk uten unødig bruk av spesielle faguttrykk og matematikk. Faguttrykk som må brukes må defineres, og matematikken bør være forståelig for vanlige fysikkstudenter. En mindre eksakt verbal form er oftest å foretrekke, men det må brukes standard begreper og enheter. Husk at artiklene i FFV primært skal gi oversikt og informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare kan leses med utbytte av en snever faggruppe, har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redasjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres fortrinnsvis på diskett eller som e-post, med papirutskrift i tillegg. Diskettene må merkes med hvilket operativsystem/tekstbehandlingsprogram som er brukt. Manus kan også leveres maskinskrevet med dobbelt linjeavstand.

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

SMÅSTYKKER: bokomtaler, skolestoff, møtereferater, nekrologer etc. mottas gjerne, men de bør ikke være lengre enn 1–2 sider.

DOKTOROMTALER trykkes gjerne, men bør begrenses til ca 0,5 sider inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en svært viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene og bruk norsk teksting. Figurene vil som regel bli trykket i svart/hvitt. Bare i helt spesielle tilfeller kan figurer trykkes i farger, av økonomiske grunner. Figurene bør helst være i omtrent dobbelt format, og de må ikke være rastrerte. Alle figurer og bilder må merkes tydelig.

Det skal refereres til figurer og tabeller i teksten, og ønsket plassering bør 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 artikkel. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Steinar Stapnes
Fysisk inst., Univ. Oslo.
E-post: steinar.stapnes@fys.uio.no

Visepresident:
Professor Kristian Fossheim
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

Styremedlemmer:
Førsteaman. Olav Gaute Hellesø
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Førsteaman. Jan Petter Hansen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Førsteaman. Anders Isnes
ILS, Univ. Oslo.

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 26, Fax.: 22 85 64 22
E-post: heidi.bruvoll@fys.uio.no
Postgiro: 0802 5883889
Bankgiro: 5102.05.42806

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter
Professor Finn Ingebretsen
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. for teor. astrofysikk, Univ. Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
E-post:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227

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