Fra Fysikkens Verden

Nr. 2/3 – 2003
65. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Thormod Henriksen::
Norsk Fysisk Selskap – 50 år . . 36
Steinar Stapnes:
Norsk Fyssisk Selskap i 2003 . 47
Øyvind Grøn:
Kosmologiens utvikling. 49
Kristian Fossheim:
Den mirakuløse superleiaren . . 52
Erik Stensrud Marstein:
Transistorer og integrerte kretser 57
Knut Stenersen:
Laseren. 61
Lars Bugge:
Utviklingen i partikkelfysikk . . 66
G. T. Einevoll, P. B Lilje og C. A. Lütken:
Fysikkens fremtid? 70
Fra Redaktørene 34
FFV Gratulerer 34
Alv Egeland
Kristian Fossheim
Nytt fra NFS 80
Bokkronikk 80
Bokomtale. 83

Fysikermøtet i Bergen høsten 1953
1. rekke f.v.: O. C. Bøckman, O. Dahl, B. Trumpy, E. A. Hylleraas
2. rekke: L. Vegard, S. Koch, H. Wergeland og J. Barth
(Se artikkel: Norsk Fysisk Selskap – 50 år)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Norsk Fysisk Selskap er 50 år. Det gir grunn til feiring – men også til ettertanke. NFS ble stiftet i en tid full av framtidsoptimisme, og den første president, Bjørn Trumpy, konkluderte på det første Fysikermøtet i 1953 med at "*fysikkfaget og forskningen har gode kår i Norge*".

Selv om forskning og utdannelse er "gjenoppstått" som et politisk prioritert område, er det dessverre – 50 år etter – neppe mange fysikere som vil slutte seg til Trumpys utsagn fra 1953. Men fysikken i Norge høster fortsatt fruktene av satsingen for 50 år siden, og har en bredde og et aktivitetsnivå som aldri har vært større. Faget har i denne perioden tiltrukket seg mange talenter som har gjort – og gjør – seg internasjonalt bemerket, men i dag er det dessverre mye norsk talent som ikke utnyttes optimalt, og det er ikke fordi det er mangel på effektivisering og styring innen forskningssystemet.

Det tjuende århundret var i stor grad fysikkens århundre. Det var store vitenskapelige gjennombrudd som førte til radikal ny erkjennelse og innsikt i den fysiske verden vi er en del av. Og – i erkjennelsens "kjølvann" – fulgte en eventyrlig teknologisk utvikling som radikalt har forandret våre livsbetingelser og vår hverdag.

I dette jubileumsnummeret av FFV tar vi – med en serie artikler – et tilbakeblikk, ikke bare på NFS 50-årige virksomhet, men også på noen resultater av fysikkens store – og uforutsette – gjennombrudd i denne perioden; *laseren*, *transistoren* og *høytemperatur superledere*, fysikkbaserte oppfinnelser med et uant potensiale for teknologiske anvendelser. Utviklingen innen områder som betegnes "big science", *kosmologi* og *partikkelfysikk*, har ikke vært mindre spektakulær og har gitt oss ny innsikt i vår plass i Universet. Og *Fysikkens fremtid* vil fortsatt bli spennende og full av utfordringer i den videre utforskning "Fra verdensrummets dybder til atomernes indre".

I hvor stor grad norske fysikere og NFS skal være med på å utforme den videre utvikling er det "krefter" utenfor fysikermiljøet som avgjør. Men vi håper likevel at beslutningen blir tatt på basis av innsikt og visjoner, slik at i en ikke for fjern framtidig, kan presidenten i NFS igjen slutte seg til Trumpys konklusjon fra 50 år tilbake.

∞

FFV Gratulerer

Kongens gullmedalje til Alv Egeland

Professor emiritus Alv Egeland mottok H.M. Kongens fortjenstmedalje i gull den 12. mars 2003. Medaljen ble tildelt som belønning for fremragede innsats innen nordlysforskning, nasjonalt og internasjonalt, samt innen kultur og forskningsformidling.

Egeland avla sin doktorgrad i fysikk ved Universitetet i Stockholm i 1963. Han vikarierte i ett år som direktør for Kiruna Geofysiske Observatorium, og ble deretter ansatt ved Oslo-avdelingen av Det norske institutt for kosmisk fysikk, som 1. amanuensis (1964-1968) og som bestyrer (1968-1977) frem til avdelingen ble inkorporert i Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Egeland ble utnevnt til professor i 1972.

Gjennom hele sin vitenskapelige karriere har Egeland gjort grunnleggende forskning på radiobølger, atmosfære og nordlysfenomen. Tuftet på innsatsen til Birkeland, Størmer og Vegard, har han bidratt sterkt til den raske utviklingen av romfysikk som fagfelt i Norge, med bruk av raketter og satellitter i kombinasjon med bakkemålinger av nordlys. Som en anerkjennelse fra det norske polarforskningsmiljøet, mottok han Nansenprisen med medalje fra Det Norske Videnskaps–Akademi i 1973. I samband med 100–årsjubileet for det første geofysiske år, ble han i 1983, av Universitetet i Tokyo, tildelt gullmedalje for fremragende forskningsinnsats innen geofysikk. Egeland ble medlem

av Det Norske Videnskaps–Akademi i 1981. Han ble valgt inn i International Academy of Astronautics i 1995, og i Royal Astronomical Academy, London i 1999.

På midten av 70–tallet var Egeland med å etablere Dagnordlysprosjektet på Svalbard, og gjennom 80- og 90-årene bidro han til å bygge opp målestasjoner i Longyearbyen og Ny-Ålesund, på utposter som Hopen og Hornsund, samt også i perioder på Grønland og Heiss-Island. Dagnordlysprosjektet, med direkte målinger av sol-jord vekselvirkning og romvær, har lagt grunnlaget for en gren i nordlysforskningen hvor norske forskere er blant de fremste i verden.

Egeland har publisert mer enn 150 vitenskapelige artikler og vært medforfatter av 8 lærebøker innen kosmisk fysikk og miljøfysikk. I løpet av sin karriere har han loset rundt 40 studenter frem til hovedfag og doktorgrad i fysikk. Han har i de senere år lagt ned stor innsats ved NAROM (Nasjonalt senter for romrelatert opplæring på Andøya) for utvikling av undervisningsaktiviteter for et bredt spekter av målgrupper.

Egeland har også utmerket seg ved sin innsats innen formidling av kultur og vitenskap. Sammen med Asgeir Brekke har han utgitt to poplærvitenskapelige bøker om Nordlysets historie og fysikk. Han har mottatt tre priser for populærvitenskapelig formidling; førsteprisen for markedsføring av UiO under vinter–OL på Lillehammer, Norges forskningsråds Formidlingspris og Universitetet i Oslos Formidlingspris. En ny utgave av Nordlysutstillingen fra Lillehammer–OL har vært vist, foruten i en rekke land i Europa, i Japan og USA. Egeland ga råd til Norges Bank for utvelgelsen av motiv på 200-kr–seddelen, og skrev en biografi om Kristian Birkeland i forbindelse med utgivelsen.

Egeland har en meget betydelig internasjonal kontaktflate og har vært gjesteprofessor ved en rekke forskningsinstitusjoner rundt om i verden; i USA, Canada, Sverige, England, Hellas, Japan og Australia. I forbindelse med markeringen av Egelands 70-årsdag i 2002, arrangerte Fysisk institutt, UiO, et internasjonalt symposium: "Egeland Symposium on Auroral and Atmospheric Research".

Gratulerer Alv! Vi i gruppen for plasma og romfysikk ved UiO setter stor pris på at du fortsatt vil arbeide sammen med oss, og vi ønsker deg mange gode og aktive år fremover.

Jøran Moen

∞

Allforskprisen til Kristian Fossheim

Foto: NTNU Info/Rune Petter Ness

Professor Kristian Fossheim ble under NTNUs festmøte med doktorpromosjon i år, tildelt Allforskprisen. Prisen deles ut til forskere eller forskningsgrupper og miljøer, som arbeider med allmennvitenskapelige problemstillinger innenfor Allforsk og NTNU. Prisen finansieres av Trondheim kommune og er på kr 25 000, samt et kunstverk.

Fossheim har i hele sitt virke vært opptatt av å formidle vitenskap, ikke bare fra sitt eget fagfelt, superledning i faste stoffer, men også fra naturvitenskap generelt, forskningspolitikk og musikk. I tillegg til artikler og kronikker, har Fossheims virksomhet også i stor grad kommet til uttrykk i andre media – ved foredrag, som bidragsyter, inspirator og konsulent for TV- og radioprogram som "Schrødingers katt", "Verdt å vite" og "P2-akademiet". Fossheim har bidratt med utallige innslag i disse programmene, alltid gjennomtenkte, artige og med et godt journalistisk poeng.

Fossheims har gjort en stor innsats ved å produsere et interaktivt laboratorium – en "superlab" – innen sitt spesialemne, supraledende magneter og den faste materiens fysikk. Resultatet er blitt spredt i mange land og gitt ham ros og ære. Interesserte kan finne dette og annet arbeid på Internett. Fossheims bidrag utgjør også en del av Norsk Fysisk Selskaps presentasjon av fysikk på Internett.

∞

Norsk Fysisk Selskap – 50 år

Thormod Henriksen *

Norsk Fysisk Selskap fylte 50 år den 8. juni i år. På denne dagen i 1953 kom en gruppe på omkring 45 personer sammen på Blindern, hvor de vedtok å danne et selskap med navnet Norsk Fysisk Selskap (NFS). I dag har Selskapet omkring 1200 medlemmer, og det kan være av interesse å se litt nærmere på tilblivelsen av NFS og den aktivitet som har vært i Selskapet i de 50 år som er gått.

Forspillet

Den første spede begynnelse til Norsk Fysisk Selskap var *Fysikkforeningen* ved Universitetet i Oslo. Denne forening besto av realstudenter, universitetsansatte og skolefolk. Den ble stiftet 23. november 1938, og hadde som formål å samle fysikkinteresserte ved UiO, men også andre. Det første styret i Fysikkforeningen besto av: cand.mag. Vidar Risberg, amanuensis Jonathan Aars, cand.mag. Olav Netteland, cand.mag. Leif Arneng og cand.real. Sigurd Stensholt. Foreningen hadde jevnlige møter med foredrag. Møtene samlet ca. 50 tilhørere, og all aktivitet var konsentrert rundt Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Etter hvert vokste det frem et ønske om å samle fysikere fra hele landet.

Fra Fysikkens Verden

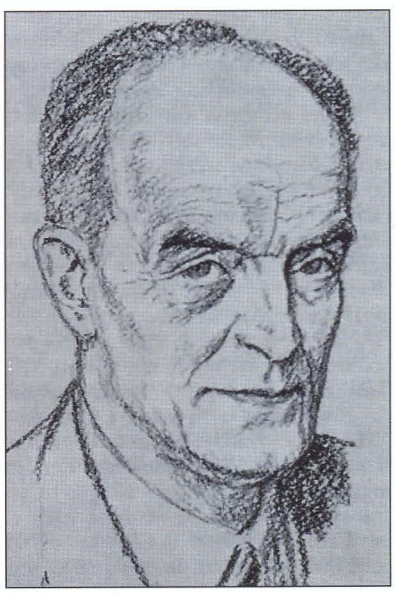
Samtidig med stiftelsen av Fysikkforeningen, kom tanken om et tidsskrift som kunne få utbredelse også utenfor Oslo. Her kunne en bl.a. trykke foredrag som ble holdt i Fysikkforeningen. Tidsskriftet fikk navnet *Fra Fysikkens Verden* (FFV), og første heftet kom ut i 1939.

Selv om tidsskriftet ble utgitt av Fysikkforeningen, ble det betraktet som et selvstendig organ. Redaksjonskomiteen var i starten *styret* i Fysikkforeningen, men dette ble forandret fra nyttår 1940. Da fikk tidsskriftet en valgt redaksjonskomité. Egil Hylleraas ble redaktør, og J. Aars og O. Netteland dannet sekretariatet. Det ble også etablert et redaksjonsråd, og Fra Fysikkens Verden kom ut med 3-4 hefter i året.

Fysikermøtet 1951

I 1951 tok fysikerne ved Universitetet i Oslo initiativ til å arrangere det aller første fysikermøte på Blindern. Det var cand.real. Vidar Risberg ved teoriavdelingen (avdeling C) som kalte inn foredragsholdere. Det møtte ca. 80 deltagere som kom fra Forsvarets forskningsinstitutt, universitetene i Oslo og Bergen og NTH, og det ble holdt 21 foredrag.

På dette møtet ble det holdt et foredrag av Anna og Olof Beckman fra Uppsala, om *"Svenska Fysikersamfundet gjennom 30 år"*. Foredraget ble etterfulgt av en diskusjon om muligheten for et norsk fysikersamfunn og om norske fysikermøter som en fast institusjon. Det var stemning for dette, og det ble tatt skritt for å organisere flere fysikermøter i fremtiden.



Egil A. Hylleraas var drivkraften i dannelsen av NFS og FFV.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Her er vi ved et viktig punkt i selskapets historie fordi det ble nedsatt et *midlertidig styre for dannelse av et fysisk selskap i Norge.* Dette interimstyret besto av: prof. Egil A. Hylleraas (formann), prof. Bjørn Trumpy (med Aadne Ore som varamann), prof. Harald Wergeland (med prof. Roald Tangen som varamann), forskningssjef Leif Harang (med forskningssjef Gunnar Randers som varamann) og direktør Oluf Chr. Bøckman (med direktør Jacob B. Barth som varamann).

Alle som var med i interimstyret er nå døde, og vi har ikke noen opptegnelser fra det arbeidet de utførte fra juni 1951, men de utarbeidet statutter for et norsk fysisk selskap. Det midlertidige styret innkalte så til *årsmøte,* eller *stiftelsesmøte,* på Blindern 8. juni om aftenen! De hadde som dagsorden:

1. Beretning fra styret
2. Vedtagelse av dagsorden
3. Drøftelse og vedtagelse av statutter
4. Godkjennelse av medlemsliste og innvotering
5. Valg av styre
6. Planleggelse av foredragsmøte 1953
7. Eventuelt

Det ble vedtatt å danne en organisasjonen med navnet *Norsk Fysisk Selskap.* Formannen i interimstyret, prof. Hylleraas, håpet at dette selskapet ville bli en aktiv organisasjon til beste for den fysiske forskning i landet.

Statuttene ble vedtatt, og det viktigste punktet var: *"Å fremme og støtte forskning, opplysning og samarbeide på fysikkens område."* Det fremgår også av statuttene at sammen med årsmøtet skal det – som regel – arrangeres et fysikermøte. Og slik har det vært gjennom mesteparten av de 50 år som er gått. – Det ble invitert til nytt fysikermøte i Bergen utpå høsten 1953.

Vi kan merke oss at allerede på stiftelsesdagen hadde direktør Bøckman lykkes med å få økonomiske bidrag fra en del bedrifter (Per Kure, NEBB, National Industri, Christiania Spigerverk og Nordisk Aluminiumsindustri), i alt 4000 kr. Dette ble starten på kollektive medlemskap som gjennom årene har ført betydelige midler til selskapets drift.

Det ble valgt inn 12 nye medlemmer på møtet, slik at det i alt var 56 medlemmer da NFS startet sin virksomhet. Personlig medlemskap i NFS forutsatte vitenskapelig, teknisk eller pedagogisk innsats. Nye medlemmer kunne opptas på årsmøtet ved avstemming (om nødvendig skriftlig).

Interimstyret skulle fortsette til nyvalg, som skulle finne sted på Fysikermøtet i Bergen.

Fysikermøtet i Bergen 1953

Dette første fysikermøtet i Norsk Fysisk Selskaps regi ble holdt i Chr. Michelsens institutts nye bygning. Møtet samlet 55 deltagere, og det ble holdt 34 foredrag. Professor Bjørn Trumpy ønsket velkommen, og Odd Dahl holdt foredrag om *"Det planlagte europeiske samarbeid innenfor kjernefysisk forskning"* – CERN.

Fysikkens kår i 1953

La oss se litt nærmere på fysikkens stilling den gang Norsk Fysisk Selskap ble stiftet. Trumpy gjennomgikk dette i sitt foredrag som het: *"Fysikkens kår i 1953."*

Trumpy så lyst på norsk fysikks fremtid. Han hevdet at i 1953 hadde fysikkfaget og forskningen gode kår i Norge! Det var den gang mange unge entusiastiske fysikere, og det var to forskningsråd som støttet dem økonomisk. På utstyrssiden nevnte han at det var bygd Van de Graff-generatorer i Trondheim og i Oslo. I Bergen var det en betatron og et høyspenningsanlegg ved Haukeland sykehus. Videre var det bygd en uranreaktor på Kjeller som ble åpnet 30. juli 1951. Til sammen betydde dette gode arbeidsforhold, og det meste lå til rette for en spennende fremtid. Tilstrømmingen til fysikkstudiet var gledelig stor. Vi kan tilføye at Trumpy ofte var entusiastisk, men det er helt klart at det var en positiv stemning blant norske fysikere da NFS ble dannet.

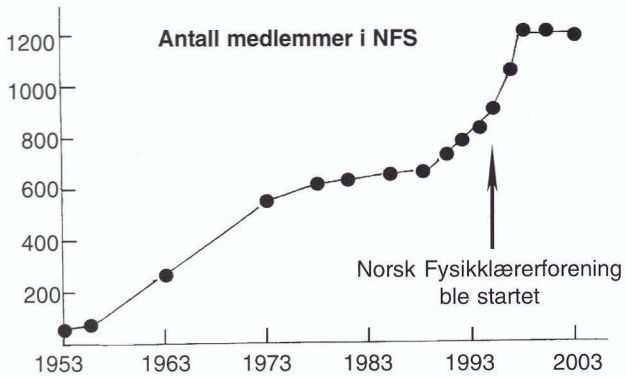
Hvem kunne bli medlem av NFS?

Noe som ble diskutert grundig på møtet i Bergen, var betingelsene for medlemskap. En kunne ikke uten videre melde seg inn i NFS. Det var i starten nesten som et videnskapsakademi der en måtte bli foreslått av et tidligere medlem, og forslaget skulle være begrunnet. Dette skulle sikre at nye medlemmer hadde tilstrekkelig kompetanse innen fysikk. En kan jo merke seg at dette har vi nå gått bort fra – betingelsen er nå i første rekke at en har interesse for faget fysikk.

Medlemsutviklingen

Vi nevnte at det var 56 medlemmer som startet Norsk Fysisk Selskap – ingen kvinner var med. Medlemsutviklingen var beskjeden de første 3 årene, men de neste 17 årene økte medlemsmassen med 27–28 pr. år. Figur 1 viser hvordan medlemstallet har utviklet seg gjennom 50 år. Det var en viss stag-

nasjon i 1970- og 1980-årene, men vi fikk en betydelig øking i 1990-årene (omkring 80 pr. år) takket være dannelsen av *Norsk Fysikklærerforening.*



Figur 1. Figuren viser hvordan tallet på medlemmer i NFS har utviklet seg gjennom de 50 år. Tallene her er trolig noe for høye fordi de ikke til enhver tid er oppdatert for frafall.

Presidenter

Egil A. Hylleraas, som hadde vært formann i det midlertidige styret fra 1951, trakk seg på årsmøtet i Bergen i 1953. Slik gikk det til at den største drivkraften til dannelsen av NFS bare var formann for et interimstyre i de første måneder av selskapets historie. Årsmøtet valgte Bjørn Trumpy til ny formann.

Betegnelsen *formann* ble brukt til 1988, men siden det jo ikke er kjønnsnøytralt, ble det da endret til *leder.* På Fysikermøtet i Bergen i 1989, vedtok årsmøtet å endre tittelen fra leder til *president.* Vi velger derfor å kalle alle de tidligere formenn for presidenter. Det har bare vært 9 presidenter i disse 50 årene til tross for at valgperioden kun er 2 år. Følgende har vært presidenter i NFS:

1. Egil A. Hylleraas, 1953 + interimstyret
2. Bjørn Trumpy, 1954–1957
3. Johan Holstmark, 1958–1959
4. Sverre Westin, 1960–1965
5. Njål Hole, 1966–1969
6. Tormod Riste, 1970–1979
7. Eivind Osnes, 1979–1990
8. Thormod Henriksen, 1991–1998
9. Steinar Stapnes, 1999–2003

Vi ser at noen av presidentene, særlig Tormod Riste og Eivind Osnes, har hatt svært lange "regjeringsperioder". Videre går det frem at vi kun har hatt menn som presidenter. Når nå NFS har hele 166 kvinnelige medlemmer (omtrent 14 % av medlemsmassen) kan vi håpe på å få en kvinne som president.

Faggrupper

På årsmøtet i Bergen i 1953 var en inne på tanken om å opprette avdelinger av NFS i Oslo, Bergen og Trondheim. Dette ble det aldri noe av, men i stedet fikk vi en oppdeling i faggrupper. Idéen bak dette er at medlemmer som hører til et visst fagområde i fysikken skulle kunne arrangere egne møter der de i større grad kunne presentere mer spesielle foredrag enn det som egnet seg på de vanlige fysikermøtene.

I en periode hadde Selskapet hele 13 faggrupper, men alle var ikke aktive til enhver tid. Vi har nå fått en ny inndeling der noen av fagområdene er slått sammen. For tiden har selskapet følgende 7 faggrupper:

- Subatomær fysikk og astrofysikk
- Rom-, plasma- og klimafysikk
- Kondenserte faser, med atomfysikk
- Industri- og energifysikk
- Biofysikk
- Undervisning og formidling (NFL)
- Akustikk og optikk

I tillegg til disse 7 faggruppene, har NFS opprettet en egen avdeling som er kalt *"Nettverk for kvinner i fysikk".* Denne gruppen søker å støtte, informere og øke kontakten mellom kvinner med høyere fysikkutdanning, samt å bidra til økt kvinnerekruttering innen fysikkutdanning og forskning.

Selskapets "liv" gjennom 50 år

Når NFS nå har nådd en alder på 50 år, passer det å se litt tilbake og ta frem igjen en del store og små ting som har skjedd. Jeg vil i første rekke se på hendelser i forbindelse med årsmøtene og fysikermøtene, men også andre ting.

1955 Oslo – Blindern

Dette fysikermøtet samlet ca. 100 deltagere, og der var 42 foredrag. Blant annet snakket Arne Lundby om *"Utvikling av atomenergi til sivil anvendelse".*

Et utvalg bestående av Hylleraas, Tangen og Ore hadde utredet spørsmålet om NFS skulle utgi et eget norsk fysisk tidsskrift. De konkluderte med

PRESIDENTER

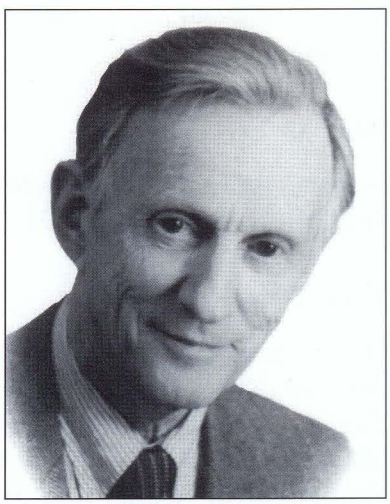
Egil A. Hylleraas
1953

Bjørn Trumpy
1954-1957

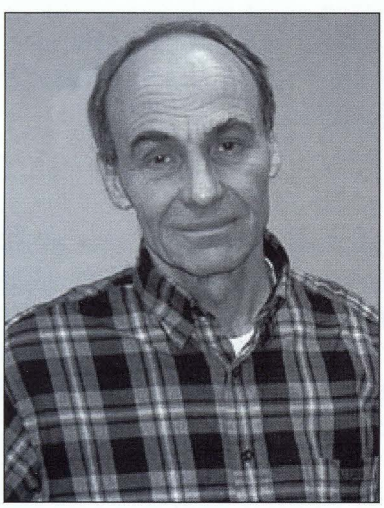
Johan P. Holtsmark
1958-1959

Sverre Westin
1960-1965

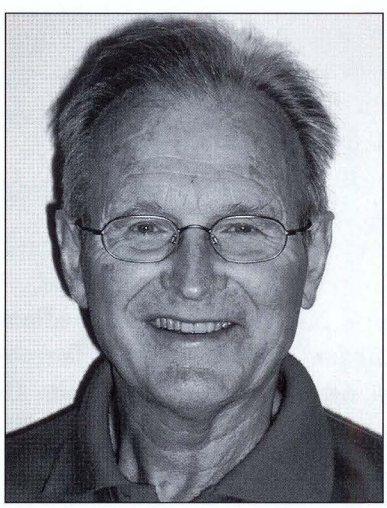
Njål Hole
1966-1969



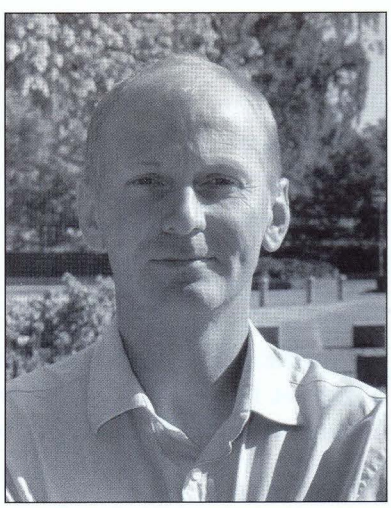
Tormod Riste
1970-1979



Eivind Osnes
1979-1990



Thormod Henriksen
1991-1998



Steinar Stapnes
1999-2003

at NFS ikke skulle/burde utgi et eget tidsskrift. I stedet ble det vedtatt at NFS skulle overta utgivelsen av *Fra Fysikkens Verden*. Det skjedde med første nummer av årgang 18, i mai 1956.

Møtet i 1955 var mitt første fysikermøte. Jeg fikk anledning til å holde et innlegg om deler av min hovedoppgave og hadde lagt ned betydelig arbeid med dette foredraget – tilpasse det til tilmålt tid, lage slides (vi brukte bare slides den gang) og hadde prøveholdt innlegget opptil flere ganger. Fysikermøtene gir unge, ferske fysikere en utmerket mulighet til å holde sitt første faglige foredrag for et "vennligsinnet" publikum. Det gir erfaring før en skal opptre på større internasjonale konferanser. Jeg var selv kanskje mer nervøs foran dette møtet enn senere på kjempekonferanser.

1956 Trondheim

Fysikermøtet ble holdt allerede 7.–9. mai dette året. 20 nye medlemmer kom til, og NFS hadde da 79 medlemmer.

1957 Oslo – Blindern

Nok et fysikermøte i mai. Johan P. Holtsmark ble valgt til ny president i NFS.

1959 Oslo – Blindern

Denne gang var fysikermøtet lagt til september. Holtsmark var president, men gikk sammen med Tangen og Wergeland ut av styret. Det nye styret ble: O. Chr. Bøckmann, J. Baarli, L. Harang, S. Skavlem og S. Westin, med sistnevnte som ny president.

1963 Bergen – Fana Folkehøgskule

På årsmøtet ble det vedtatt statutter som gjorde det mulig å velge inn *æresmedlemmer.* Samtidig ble Oluf Chr. Bøckman valgt inn som første æresmedlem i NFS. Selskapet var da 10 år gammelt, og Bøckmaan holdt på dagen 8. juni en tale der han i korte trekk gikk gjennom forspillet til NFS og litt av hendelsene de første 10 år. Han nevnte at i mars 1909 ble det dannet et *"Fysisk Selskap* i Christiania med formål *at fremme og understøtte interessen for fysisk videnskap ved regelmessige møder".* Dette selskapet fikk aldri noen stor utbredelse og opphørte å fungere i midten av 1920-årene.

Oluf Chr. Bøckman ble første æresmedlem i NFS. Han deltok i dannelsen av Selskapet og styrket økonomien gjennom de kollektive medlemmer. Han arbeidet spesielt for tidsskriftet FFV.

1964 Oslo – Blindern

NFS hadde nå 268 medlemmer, og opplaget til FFV var 1200. Egil A. Hylleraas ble innvalgt som andre æresmedlem. Styret besto av: S. Westin (president), N. Hole (visepresident), O. Chr. Bøckman, H. Trefall og Aa. Ore.

1966 Oslo – Kjeller og Blindern

På dette fysikermøtet var det en interessant debatt om norsk fysikk. Temaet, *Hva vil vi – Hva bør vi – Hva kan vi?* hadde som innledere Tore Olsen, Haakon Olsen og Bjørn Trumpy.

1968 Tromsø

Fysikermøtet var nå for første gang lagt til Tromsø. Det var flere av oss søringer som da for første gang fikk oppleve midnattsolen. Njål Hole var president, og ellers ble Harald Sørum valgt inn i styret sammen med Nico Normann, Arnfinn Graue, Kristoffer Gjøtterud og Svein Sigmond.

1969 Trondheim

På dette møtet kom det forslag om å opprette *Norsk Fysikkråd.* Videre ble det vedtatt at NFS skulle søke medlemskap i EPS *(European Physical Society).* Tormod Riste ble valgt til ny president etter Njål Hole. Hole holdt et innlegg der han mente NFS gjorde for lite for skolefysikerne.

1970 Oslo – Blindern

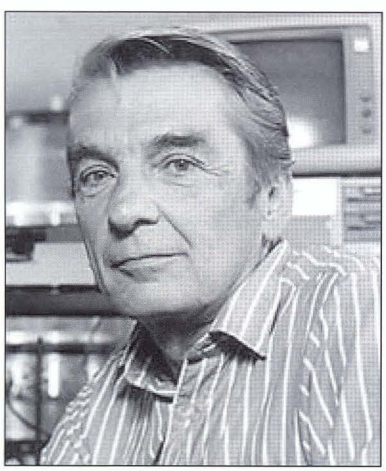
Årsmøtet vedtok at president og visepresident skulle være delegerte til EPS. Det ble valgt inn nye medlemmer til styret, som fra 1. januar 1971 bestod av: Tormod Riste (president), Arnfinn Graue, Gunnar Kvifte, Thormod Henriksen og Ivar Svare.

1972 Tromsø

La oss først nevne at i mars 1972 holdt EPS sitt rådsmøte i Oslo. På fysikermøtet i Tromsø var det hele 105 deltakere. *Sverre Westin* og *Bjørn Trumpy* ble æresmedlemmer.

1973 Trondheim

Medlemstallet var 1. juni 1973 kommet opp i 558. Det var dette året Ivar Giæver fikk Nobelprisen i fysikk (sammen med Leo Esaki, Japan og Brian D. Josephson, England). Giæver er det eneste medlem i NFS med nobelpris.



Ivar Giæver

1974 Oslo

Årsmøtet vedtok at Selskapet skulle gi rom for studentmedlemmer. Kontingenten for disse skulle være 50 % av vanlig medlemskap. Hans Bethe gjestet fysikermøtet og snakket om nøytronstjerner og breederreaktorer.

1975 Bergen

På årsmøtet ble Tormod Riste gjenvalgt som president og Arnfinn Graue som visepresident. Samtidig var Graue formann i Norsk Fysikkråd. – Opplaget av FFV var nå 1500.

1976 Tromsø

Medlemstallet 31. mai 1976 var 607. På dette fysikermøtet var det inviterte foredrag av P.G. de Gennes som snakket om makromolekyler og polymerer. Professor J. King snakket om variasjoner i solaktiviteten og dens innvirkning på været. Egil Hesstvedt snakket om ozonlaget.

Ved årsskiftet 1976/77 skjedde det redaktørskifte i FFV. Haakon Olsen takket av etter 15 år i redaktørstolen og Olav Steinsvoll overtok. Hallvard Torgersen (redaksjonssekretær) og Gudrun Gressman (sekretær) fortsatte arbeidet sammen med den nye redaktøren.

1978 Oslo

Selskapet, representert ved styret, dannet "Nasjonalkomiteen for IUPAP" (International Union for Pure and Applied Physics). På årsmøtet ble den første fysikkprisen delt ut i selskapets regi. Det var Norsk Data som hadde stilt til disposisjon midler til en pris innen fagområdet partikkelfysikk. Senere har Selskapet delt ut i alt 35 priser til 43 prisvinnere.

1979 Bergen

På årsmøtet ble Eivind Osnes valgt til president. Han startet sin presidentperiode ved årsmøtets slutt. Osnes fikk dessuten Norsk Datas pris på årsmøtet.

1980 Tromsø

Fysikermøtet var på ny lagt til Tromsø. Tormod Riste ble æresmedlem. Styret i 1980 var: Eivind Osnes (president), Svein Sigmond (visepresident), Ove Bratteng, Noralv Bjørnå, Torgeir Engeland og Kårmund Myklebost.

1981 Trondheim

I juni 1981 var det 634 medlemmer i NFS. Formann i Norsk Fysikkråd var Thormod Henriksen. Det ble et nytt redaktørskifte i FFV. Fra og med nr. 3, 1981 (43. årgang) sluttet Olav Steinsvoll og inn kom Knut J. Knutsen og Hans Kolbenstvedt.

1982 Stavanger

Dette var første fysikermøte som ble lagt til Stavanger. Norsk Datas pris for 1982 ble tildelt Torgeir Engeland og John Rekstad. – FFV hadde nå et opplag på 1600.

1983 Oslo

Selskapet var nå 30 år. I den anledning hadde presidenten, Eivind Osnes, et innlegg i FFV. Han viser til statuttenes paragraf 2 som sier at NFS sin oppgave er *"å støtte forskning, opplysning og samarbeid på fysikkens område"*. Han mente Selskapet gjør dette ved å arrangere fysikermøter, ved å stå for utgivelsen av FFV, og ved å delta i internasjonale organisasjoner som EPS og IUPAP. Osnes pekte på at NFS er frittstående og har ingen formell innflytelse på forskningspolitiske beslutninger (den rollen har Norsk fysikkråd).

1984 Bergen

I 1984 var antall medlemmer 662. Erik L. Eriksen var formann i Norsk fysikkråd. Norge deltar for første gang i Fysikkolympiaden. Den gikk i Sverige og 20 nasjoner deltok. Norske ledere var Ingerid Hiis Helstrup og Vidar Horsfjord.

1985 Tromsø

På dette årsmøtet ble det en opphetet debatt om det amerikanske stjernekrigsprogrammet, *"Star Wars"*. Kristoffer Rypdal fremmet et resolusjonsforslag som gikk ut på at *"årsmøtet i NFS innstendig oppfordrer den norske regjering til å arbeide for en øyeblikkelig stans i planene om et strategisk rombasert forsvar"*. Svein Sigmond (vikarierende president) kom med motforslaget: *"Årsmøtet avviser å gi noen uttalelse"*. Dette forslaget var basert på at NFS skal være upolitisk (Osnes sitt innlegg i 1983). Sigmonds forslag ble vedtatt med 35 stemmer mot 22.

1986 Trondheim

Styret i NFS er nå: Eivind Osnes (president), Svein Sigmond, Noralv Bjørnå / Ove Havnes, Torgeir Engeland og Kårmund Myklebost. Formann i Norsk fysikkråd er Haakon Olsen. Det var på ny redaktørskifte i FFV. Knut Jostein Knutsen og Hans Kolbenstvedt sluttet med årgang 48, 1986. Fra 1/1 1987 overtok Øivin Holter og Finn Ingebretsen som redaktører. Tor Langeland ble redaksjonssekretær.

1988 Oslo

Det ble endringer i tidsskriftet FFV idet Langeland trakk seg som redaksjonssekretær og Bertel Grimeland overtok. Til årsmøtet hadde Annik Magerholm Fet sendt inn et forslag om å opprette et *Kontaktnett for kvinnelige fysikere*. Forslaget ble godt mottatt, og Annik Magerholm Fet ble kontaktnettets første leder. Kontaktnettet representerte noe nytt, ikke bare i NFS, men i alle de fysiske selskaper vi kjenner til.

Brev til Kringkastingsrådet. På årsmøtet ble det også fremmet et annet forslag som førte til en tildels opphetet debatt. Finn Ingebretsen og Tormod Riste fremmet et forslag om å sende et brev til Kringkastingsrådet om NRKs dekning av emner innen fysikk. De skrev: *"Etter vår mening får ofte dekningen av naturvitenskapelige emner en form som er preget av faglig begrepsforvirring og gis en journalistisk vri som kan føre til misinformasjon og ubegrunnede skremsler for allmennheten. Videre stilles ofte fagfolk i miskreditt hvis de ikke bekrefter journalistens konklusjoner."* Brevet pekte konkret på Tsjernobyl-ulykken, ozonlaget og drivhuseffekten. Det ble foreslått at NRK burde legge mer vekt på faglig kompetanse og vurdere den på linje med journalistisk dyktighet i ansettelsessaker.

Brevet ble unådig mottatt, men Thormod Henriksen ble invitert til Krinkastingsrådets møte, og holdt der et innlegg om "Medier og miljøfysikk" – uten at det satte noen spor etter seg.

1989 Bergen

Det var 129 deltagere på dette fysikermøtet, og det ble holdt 43 foredrag. Dette var forresten året for "kald fusjon"! Selskapet hadde nå 699 medlemmer og kontaktnettet for kvinner hadde 59 medlemmer. Årsmøtet bestemte å endre betegnelsen *leder* til *president*.

1990 Tromsø

Medlemstallet hadde gått betydelig opp i løpet av året, og NFS hadde nå 746 medlemmer. Det skjedde en del endringer i styret ved valget. Marianne Foss kom inn i styret som den første kvinne (Unni Pia Løvhaug hadde vært varamedlem en tid). Thormod Henriksen ble valgt til neste president og Egil Leer kom inn i styret.

1991 Trondheim

Styret består nå av: Thormod Henriksen (president), Johan Stadsnes (visepresident), Egil Leer, Haakon Olsen og Marianne Foss. Jan Vaagen ble formann i Norsk fysikkråd, og Bjørn Berre ble viseformann. I fysikkolympiaden på Cuba fikk Morten Kloster gull. Han ble totalt nr. 10. Dette er den beste norske innsatsen noen gang.

Årsmøtet fattet vedtak om at Selskapet skulle utdele en *undervisningspris.* Det var i lengre tid blitt satt av midler til en slik pris. Vi fikk dessuten støtte fra Cappelens forlag, NKI-forlaget, Norsk undervisningsforbund og Statoil. Dette førte til et fond der avkastningen hvert annet år skulle brukes til en undervisningspris. Den deles ut til én eller flere for fremragende undervisningsinnsats i den videregående skole.

1992 Stavanger

Karl Måseide er ny redaksjonsekretær i FFV. På årsmøtet ble Eivind Osnes og Haakon Olsen æresmedlemmer.

1993 Oslo

Den første undervisningsprisen deles ut til Ingerid Hiis Helstrup. Dette var kanskje et "kvinneår", for kontaktnettet for kvinner arrangerte eget møte med tittelen *"Klart det går!"* i forkant av fysikermøtet. Videre var det nå to kvinner med i styret, Marianne Foss og Anne Grete Frodesen. Antall medlemmer var 842. Eivind Osnes ble valgt inn i styret i EPS.

1995 Tromsø

Gerd Jarrett ble æresmedlem i NFS et par måneder før hun døde. Gerd hadde vært Selskapets sekretær i hele 26 år. Hun var en inspirasjonkilde for oss alle med sitt smittende humør. Hun kjente nesten alle medlemmene i NFS og var midtpunkt i de fleste styremøter, årsmøter og fysikermøter.

Norsk Fysikklærerforening. På årsmøtet i 1995 ble det vedtatt at en skulle opprette et interimstyre for å arbeide med planene om en Norsk Fysikklærerforening. En hadde jo en faggruppe for undervisning (av enkelte kalt FUN), men det var mange som ønsket en mer selvstendig forening for alle fysikklærere – spesielt de som var knyttet til den vidregående skole.

Gerd Jarrett på en av de mange fisketurer i fysikermøtenes regi.

1996 Trondheim

Et minneverdig år. Faggruppen for undervisning gikk inn, og *Norsk Fysikklærerforening ble stiftet og organisert som en egen forening tilknyttet Norsk Fysisk Selskap.* Foreningen skal fremme faglig og pedagogisk utvikling innen norsk fysikkundervisning. Foreningens første styre ble: Eimund Aamot (leder), Sigrid Skogan (nestleder), Carl Angell (sekretær) og Einar Oterholm (finans). I 2003 har Norsk Fysikklærerforening nær 400 medlemmer.

Fysikkolympiaden 1996

Den 27. Fysikk-OL gikk av stabelen i Oslo fra 30. juni til 6. juli. Arnt Inge Vistnes var leder for arrangementet der 55 land deltok med 260 deltakere. Arrangementskomitéens innsats var imponerende. Svært mange hjalp til, og de fleste ved Fysisk institutt ved UiO var involvert. Det var både teoretiske oppgaver (laget av Per Chr. Hemmer) og laboratorieoppgaver (laget av Tom Henning Johansen, Børge Holme og Arnt Inge Vistnes). I alt kunne en oppnå 50 poeng, og kineseren Yurun Liu fikk 47,5 poeng som bestemann. Beste norske deltaker kom på 122. plass, og som nasjon kom vi på 33. plass - dog foran Finland, Danmark og Sverige.

1998 Oslo

Fysikermøtet i Oslo dette året ble spesielt fordi en stor del av fysikerne var i streik. Lederen i arrangementskomitéen, Steinar Stapnes, var i streik og ble like så godt plassert som streikevakt som skulle hindre de streikende i å delta på møtet! Stapnes ble valgt til neste president på årsmøtet.

På dette fysikermøtet var *"Nordic–Baltic Group"* invitert, og alle disse landene hadde representanter til stede. Gruppen ble dannet etter initiativ av Nordita i 1996. De nordiske fysiske selskaper forsøker å støtte de fysiske selskapene i Estland, Latvia og Litauen. Disse selskapene sliter med dårlig økonomi og små ressurser. Vi bidro bl.a. med støtte til Litauen og Latvia for medlemskap i EPS.

2002

NFS bidrar til at vi nå har et nettsted med informasjon om fysikk, *http://www.fysikknett.no/* Dette kan gi enhver tilgang til interessante fysikkemner.

Æresmedlemmer

Norsk Fysisk Selskap har i alt hatt 9 æresmedlemmer. Den første var altså Oluf Chr. Bøckman i 1963, og senere er følgende blitt æresmedlemmer: *Egil A. Hylleraas, Sverre Westin, Bjørn Trumpy, Tormod Riste, Eivind Osnes, Haakon Olsen, Gerd Jarrett* og *Thormod Henriksen.*

Fysikkpriser

Gjennom de siste 25 år har Norsk Fysisk Selskap hatt gleden av å kunne bidra med fysikkpriser. Alle prisene består av et beskjedent pengebeløp, men det er helt klart en ære å få en slik utmerkelse. De fleste prisene har vært knyttet til bestemte fagområder, noe som betyr at det er en del fysikere som aldri har kunnet komme i betraktning for en pris. Nå har vi fått til en pris, *Norsk Hydros Birkelandpris,* som kan gis for fremragende innsats i fysikk generelt.

De prisene vi har hatt, er gitt av Norsk Data, Simrad Optronics, IBM og Norsk Hydro. I tillegg har vi fått en undervisningspris der grunnlaget er lagt av Selskapet selv.

La oss se litt nærmere på de priser Selskapet har hatt gleden av å dele ut, og hvem som har fått dem.

Norsk Datas pris

Norsk Data delte ut priser i 9 år til fagområdet partikkelfysikk. Prisvinnerne er:

1978: Jan Myrheim
1979: Eivind Osnes
1980: Hallstein Høgåsen
1981: Kjell Johnsen
1982: Torgeir Engeland og John Rekstad
1983: Jon Magne Leinaas
1984: Bjørn Wiik
1985: Gunnar Løvhøiden, Karl Nybø og Tor Fredrik Thorsteinsen
1986: Arne Lundby

Simrad Optronics pris

Denne prisen går til fagområdet elektro–optikk, eller til et arbeid der elektro-optiske metoder er anvendt. Den deles ut hvert annet år. Prisvinnerne er:

1979: Karsten Dybvik og Ole Johan Løkeberg
1981: Halvor Heier og Jacob Stamnes
1983: Tycho Jæger
1985: Lars Othar Svaasand
1987: Morten Eriksrud
1989: Gunnar Wang
1991: Kjell Bløtekjær
1993: Aasmund S. Sudbø
1995: Hans Magne Pedersen
1997: Dag Roar Hjelme
1999: Jon Thomas Kringlebotn
2001: Jon Tschudi

IBMs pris

IBM Norge har gitt i alt 7 priser til fagområdet kondenserte fasers fysikk. Prisvinnerne er:

1990: Arne Skjeltorp
1991: Jon Magne Leinaas og Jan Myrheim
1992: Jens Feder og Torstein Jøssang
1993: Harald Bratsberg og Tom Henning Johansen
1994: Kuong-An Chao
1995: Asle Sudbø
1996: Jens Lothe

NFS undervisningspris

Denne prisen har Selskapet selv gitt grunnlaget for. Vi fikk i starten støtte fra fra Cappelens forlag,

NKI-forlaget, Norsk undervisningsforbund og Statoil. Prisen deles ut hvert annet år. Prisvinnerne er:

1993: Ingerid Hiis Helstrup
1995: Karl Torstein Hetland
1997: Øystein Falch
1999: Nils Fløttre
2001: Per Jerstad

Norsk Hydros Birkelandpris

Denne prisen er gitt av Norsk Hydro. Den har fått navn etter professor Kr. Birkeland og er til minne om hans innsats for Norsk Hydro. Prisen er ikke knyttet til noe bestemt fagområde, men skal gis for *fremragende norsk forskning innen fagområdet fysikk.* Prisvinnerne er:

1999: Ove Havnes
2000: Asle Sudbø

Kvinner i NFS

I 1953 da Selskapet ble dannet, var det ingen kvinner med. Femti år senere har NFS 166 kvinnelige medlemmer, ca. 14 % av medlemsmassen. Det gjenspeiler noenlunde forholdet mellom fysikkutdannede kvinner og menn. Vi finner kvinner i alle fagområdene i fysikk, men særlig innen biofysikk og medisinsk fysikk.

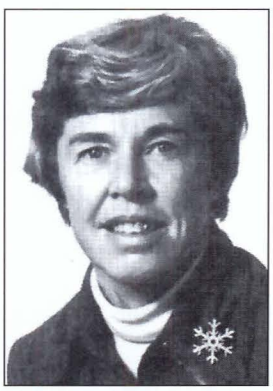
I 1990 kom den første kvinne inn i styret til NFS, Marianne Foss fra Tromsø. Vi har hatt kvinner med hele tiden siden, og i dag har vi Anne Borg som visepresident.

Men på ett område har kvinnene vært fullstendig dominerende i NFS. Det er i sekretærjobben, som kanskje er den viktigste styrefunksjonen vi har. Det er sikkert ikke alle i NFS som vet hvilken kjempejobb sekretæren utfører med å ordne medlemskartotek, styremøter, fysikermøter faggruppemøter, og nå også nettstedene: *www.norskfysikk.no/nfs/* og *www.fysikknett.no/*

Det er sekretæren som kjenner de fleste i Selskapet, og som også mange av medlemmene henvender seg til. De som har hatt denne jobben er:

1. Ingerid Woldhaug - senere Rognes. Hun var sekretær da presidenten var fra Trondheim.
2. Gerd Jarrett, som overtok jobben da Tormod Riste overtok presidentvervet i 1969. Gerd "styrte" Selskapet i 26 år, og tre presidenter fikk gleden av å ha henne ved sin side. For sin innsats i alle disse år ble Gerd valgt til æresmedlem i 1995.
3. Tove Svendby overtok som sekretær i 1995 da Gerd døde, og hadde denne jobben i 4 år. I denne perioden kom dataalderen for fullt, og hele kartoteket ble lagt inn på data. Dette gjorde oversikten adskillig lettere.
4. Heidi Bruvoll overtok sekretærjobben da Steinar Stapnes ble president i 1999. Hun har blant annet ført NFS inn på Internett. Både Tove og Heidi er fysikere, og gjennom det også vanlige medlemmer i Selskapet.

Vi vil benytte anledningen til å takke alle sekretærene for den fine innsatsen de har gjort.



Gerd Jarrett
1969–1995

Tove Svendby
1995–1998

Heidi Bruvoll
1999–2003

Fra Fysikkens Verden

Tidsskriftet vårt, FFV, som distribueres til alle medlemmene, og som inneholder en masse fin fysikk og nyheter, har vært knyttet til Norsk Fysisk Selskap fra 1956, men hadde hele 17 årganger bak seg da NFS kom inn i bildet.

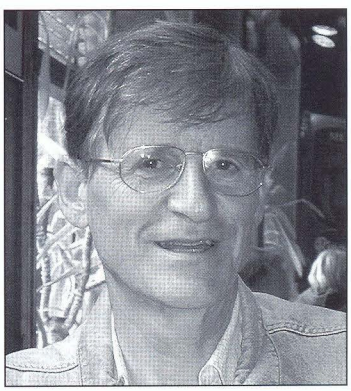
Fra Fysikkens Verden ble startet i 1939 etter initiativ av professor Egil A. Hylleraas. Det kom 4 hefter i 1939, og ett i krigsåret 1940. Fra sommeren 1941 til sommeren 1942 (årgang 3) kom det 4 hefter, og fra 1942 til sommeren 1943 (årgang 4) kom det også 4 hefter. Høsten 1943 kom det 2 hefter (årgang 5). Så fra 1944 (årgang 6) er FFV kommet jevnlig med 4 hefter pr. år.

Vi har tidligere nevnt at det var Fysikkforeningen på Blindern som sto ansvarlig for FFV, og at det hadde en valgt redaksjonskomite med Hylleraas som ansvarlig redaktør. I hele perioden fra 1939 frem til 1956 (hele 17 årganger) var Hylleraas redaktør. Da tidsskriftet offisielt kom inn under NFS, overtok Gotfred Kvifte som redaktør. De som har vært redaktører frem til i dag er:

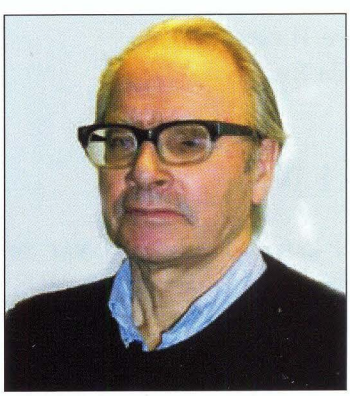
Haakon Olsen var redaktør for FFV i 15 år. Han har videre vært styremedlem i NFS i mange år. For denne store innsatsen ble han æresmedlem i NFS i 1992.

- Egil A. Hylleraas (1939–1955)
- Gotfred Kvifte (1956–1961)
- Haakon Olsen (1962–1976)
- Olav Steinsvoll (1977–1981)
- Jostein Knutsen og Hans Kolbenstvedt (1981–1986)
- Øivin Holter og Finn Ingebretsen (1987–).

I dag styres tidsskriftet av Øivin Holter og Finn Ingebretsen med Karl Måseide som redaksjonssekretær. Tidsskriftet utgis med 4 nummer i året, og som regel med 32 sider i et opplag på 1900.



Finn Ingebretsen



Øivin Holter

Målsettingen for FFV har hele tiden vært at det skal være et populærvitenskapelig tidsskrift med artikler fra alle deler av fysikken. Det skal kunne leses og "forstås" av Selskapets medlemmer, og for en stor del av elever i den vidregående skole med interesse for fysikk. Tidsskriftet skal informere, inspirere og skjerpe appetitten for faget fysikk.

Et tips til alle lesere. Unn deg tid og bla gjennom mange – ja gjerne alle – hefter av Fra Fysikkens Verden. Du vil da få en historisk gjennomgang av både norsk og internasjonal fysikk. Det er et stort antall artikler som må kunne danne et utmerket utgangspunkt for særoppgaver i den vidregående skole. Du vil oppdage at det er enkelte som har bidradd med et stort antall artikler, både om emner de ikke selv arbeider med til daglig og egne arbeider. I en lang periode var Hylleraas den toneangivende. I den nåværende redaksjonsperiode har Olav Steinsvoll og Øivind Grøn toppet listen over bidragsytere.

∞

Norsk Fysisk Selskap i 2003

Steinar Stapnes *

Aktiviteten i Norsk Fysisk Selskap er blitt vesentlig endret de siste årene. Det er defor på tide å gjøre seg noen tanker om endringene, og ikke minst om veien videre. Dette er noe enhver femti-årig organisasjon bør ta seg tid til.

Styre og faggrupper

I 1999 ble styresammensetningen endret til å inkludere en person fra hver faggruppe. Hensikten var å gjøre organisasjonen mer enhetlig, øke kontakten mellom gruppene og den sentrale ledelsen, og involvere flere mer effektivt for å gjennomføre våre mål. Samtidig ble gruppestrukturen endret slik at vi nå har 7 faggrupper.

I hovedtrekk har disse endringene vært positive. Ikke alle grupper fungerer som et felles miljø, noen omfatter to miljøer, men det trenger ikke være avgjørende. Det er spesielt positivt at vi fremdeles gjennomfører alle våre faglige møter. På mange måter er de Selskapets sjel, og de er sentrale for utviklingen av våre fagmiljø.

Statuttene ble også endret, delvis pga. ny styresammensetning, men også for å gjøre driften enklere. I dag er kommunikasjonen i hovedsak basert på e-post og på web-sidene våre: *http://www.norskfysikk.no/nfs/index.htm*

Fysikermøtene

Vi arrangerer nå et større fysikermøte hvert annet år. Hensikten er å få større og bedre møter som gjør oss mer synlige, og som tiltrekker flere og bedre foredragsholdere både innenfor og utenfor vårt miljø. Samtidig prøver vi å få spennende parallelle faggruppemøter inn i fysikermøtene, og la gruppene få sjanse til å ordne sine interne møter og valg. Alt sammen for å øke det faglige utbyttet, og øke kontakten og samarbeidet på tvers av faggruppene. Vi arrangerer vårt andre store møte i år. Programmet finnes på Internett: *http://www.fys.uio.no/fysikermote/*

Etter årets møte bør vi gjøre opp status og evaluere denne ordningen.

Synliggjøring av norsk fysikk

Vi mottok støtte fra Norges forskingsråd i 2001–2 for å lage et web-basert fysikkopplegg for et generelt publikum, skoleelever og lærere. Dette finnes nå på *www.fysikknett.no.* Et betydelig arbeid ble lagt ned, og vi har nå også mottatt støtte for 2003–4 for å videreføre prosjektet. Hovedmålet nå er å utnytte grunnlaget som ble lagt for å nå ut til så mange som mulig for å informere, vekke interesse og rekruttere. Vi vil tenke mer på opplegg for lærere, interaktivitet og vedlikehold av nettsidene. Dette er et nytt initiativ, og mange fysikere i Selskapet har brukt en god del tid på å presentere moderne forskning i fysikk. Jeg synes at mye er blitt riktig bra, og alle involverte har hatt mye moro med å lage dette. Så kanskje dette kan være en inpirasjon til flere for å popularisere sin forskning.

Overfor næringsliv og det offentlige, har vi derimot ikke lykkes så langt. Det har vært vanskelig å finne kontaktpunkter og konkrete innfallsvinkler bortsett fra rekrutteringsarbeidet og felles bekymring over tilstanden til realfagene i Norge. Her er det utvilsomt muligheter, men inntil videre forblir dette en utfordring for fremtiden.

Fra Fysikkens Verden

Kvaliteten på bladet er kanskje bedre nå enn noen gang. Forskningsrådets støtte er imidlertid borte, og endringer diskuteres. Mye er basert på solid frivillig innsats av nøkkelpersoner, og noen av disse begynner nå å komme opp i årene. Den videre utvikling er derfor åpen. Det er viktig å opprettholde et godt produkt samtidig som vi må oppnå

*Fysisk institutt, Universitetet I Oslo.

budsjettbalanse, evaluere form og fornye staben etter behov.

Fysikkåret 2005

Dette er nok Selskapets største utfordring fremover. Vi har tenkt oss en betydelig markering der vi over et helt år markerer fysikk og fysikkens betydning for vårt samfunn. Målet vil være å få institutter, skoler og massemedia involvert. Noen ideer finnes på *http://www.eps.org/wyp2005/wyp2005.html*

Det er ingen tvil om at Selskapets aktivitet i dag er begrenset av midler til å lønne medarbeidere. Mens mye kan gjøres med frivillig innsats, så krever arrangementer av typen som vi her tenker på, personer som bruker mesteparten av sin tid på dette. Å få i stand et skikkelig opplegg med de økonomiske midler som kreves for å markere Fysikeråret 2005, er derfor både vår største utfordring og samtidig vår største mulighet til å øke Selskapets aktivitet og driftsgrunnlag i neste periode.

Rekruttering og profilering

Vi har flere prosjekter som er blitt årlige gjengangere, eller som er i startfasen. Vi ønsker å innarbeide automatisk medlemskap for hovedfagstudenter. Vi fungerer fortløpende som nasjonalt koordinasjonssenter for rekrutteringstiltak: *Fysikkolympiaden* og EU/CERN/ESA-prosjekter som *Physics on Stage, Physics and Life, Life in the Universe,* etc. Alle disse bringer ungdom i nærmere kontakt med fysikkmiljøet og moderne forskning i fysikk. Vi har god kontakt med EPS, men vi ønsker også å øke kontakten med EPS på sentrale felt (rekruttering, industritiltak, læreplaner).

Ønskedrøm: Å få det årlige budsjettet opp i millionklassen slik at vi kunne ansette en person på heltid. En slik person er det stort behov for i Fysikk-Norge, til drift og utvidelse av alle prosjekt vi er involvert i. Vår beste sjanse er nå i forbindelse med Fysikkåret 2005.

Gruppenes aktiviteter

For gruppene har vi lagt vekt på å definere tre–fire mål innen forskingsmiljø/ faglige møter, synlighet/ medieprofilering og kontakter til nærliggende felt/ organisasjoner. Hensikten er at faggruppene setter noen få realistiske mål for neste periode utover å arrangere de årlige møtene, som vil forbli en svært viktig del av gruppevirksomheten.

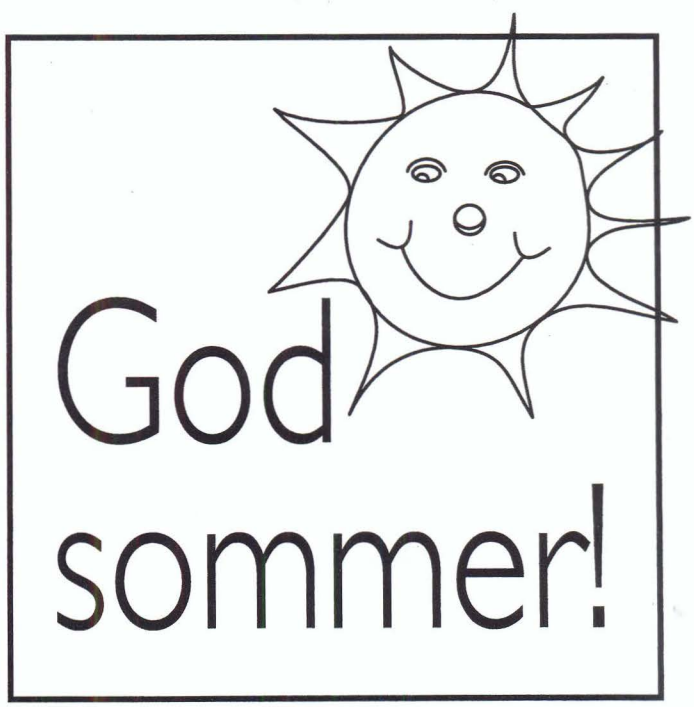
Norsk Fysikklærerforening (NFL)

Faggruppen har hatt stor suksess med tanke på at den har ca 400 medlemmer, og den blir stadig mer aktiv. Faggruppen har et elektronisk blad – Fysikklæreren: *http://fysikk.hfk.vgs.no/.* I år vil gruppen arrangere fysikklærerkonferanse og samordne den med fysikermøtet for første gang. Gruppen gjør forberedende arbeid for en ny fagplan for fysikk. NFL har ansvar for utvelgelse av elever som skal representere Norge i Fysikk-OL, og både antall elever involvert og støtten til disse, har økt.

Veien videre – de neste 5 år

For første gang i historien vil NFS kunne få en kvinnelig president fra 2004. Arbeidet med Fysikkåret i 2005 betyr en enestående sjanse for oss fysikere til å profilere fysikk i det norske samfunnet på alle plan. Samtidig har vi mange spennende prosjekter innen Selskapet. Mer generelt så bør vi se på våre institutter. Vi har gjennomført, eller er i ferd med å gjennomføre, en betydelig foryngelse av norsk fysikk, og vi tiltrekker oss meget dyktige nyansatte. Rekruttering til fysikkstudiene er samtidig på vei opp. Det er derfor all grunn til å se lyst på fremtiden til 50-åringen, ja, faktisk er det umulig å ikke være optimistisk for fremtiden til NFS og norsk fysikk.

∞



Kosmologiens utvikling de siste 50 årene

Øyvind Grøn *

I perioden fra 1950 til i dag har kosmologien utviklet seg fra et forskningsområde der observasjonene var relativt få og usikre, til en presisjonsvitenskap som har gitt oss rike kunnskaper om universet. Ved hjelp av store optiske teleskoper og radioteleskoper på bakken, og teleskoper i satellitter som observerer fra den infrarøde delen av spekteret til gammastråling, er vi nå i stand til å observere universets egenskaper i nesten hele spekteret. Bildet vi har fått er detaljert, men inneholder store uløste mysterier.

Big Bang-modellene blir etablert

I 1928 annonserte Edwin Hubble at fjerne galakser beveger seg vekk fra oss med en fart som er proporsjonal med avstanden, $v = H \cdot d$. Dette kalles *Hubbles lov,* og proporsjonalitetsfaktoren H kalles hubbleparameteren. I de neste årene ble dette resultatet tolket med utgangspunkt i Einsteins generelle relativitetsteori.[1] Man oppfatter det da slik at selve rommet utvider seg og tar galaksene med seg. Verdien av H bestemmer den kosmiske ekspansjonshastigheten. Hubbles lov innebærer at universet var tettere før. Hvis man går bakover i tid, finner man at det må ha eksistert et tidspunkt, $t = 0$, da tettheten var uendelig stor. Gravitasjon må ha retardert den kosmiske ekspansjonen. Farten må ha vært mye større nær $t = 0$ enn den er nå. Hubbles lov tolket ved hjelp av relativitetsteorien, tyder på at universet har startet fra en eksplosiv tilstand med enormt høy temperatur, tetthet og begynnelsesfart. Denne starttilstanden ble kalt *Big Bang.*

George Gamow og medarbeidere undersøkte i slutten av 1940-årene hvordan de letteste grunnstoffene ble dannet ved fusjon i de første minuttene etter Big Bang. De fant at det burde være omtrent 75 % hydrogen og 25 % helium i universet. Dette stemmer godt med observasjoner. De små mengdene av tyngre grunnstoffer i universet er dannet i eksploderende stjerner. Gamow oppdaget også at de tidlige kjernereaksjonene produserte stråling, og han forutsa at denne nå er avkjølt til omtrent 10 Kelvin. Den burde kunne observeres som en kosmisk bakgrunnsstråling med intensitetsmaksimum i mikrobølgeområdet av spekteret. Denne strålingen ble første gang observert av Penzias og Wilson i 1965. Dette ble tolket som en bekreftelse av Big Bang-modellene for universet og innebærer at universet har en endelig alder.

Universets ekspansjonsfart

I de 30 årene fra 1965 til 1995 ble det gjort store anstrengelser for å øke nøyaktigheten i bestemmelsen av universets ekspansjonsfart. Målingene var basert på Hubbles lov.

På midten av 60-tallet bidro den norske astrofysikeren Sjur Refsdal med en ny metode til å bestemme verdien av hubbleparameteren. Han viste hvordan man kan bruke den gravitasjonelle linseeffekten for dette formålet. Denne effekten skyldes at lys avbøyes når det passerer massive legemer eller store masseansamlinger, for eksempel stjerner eller galakser. Dermed kan det skje en fokusering av lys fra fjerne kvasarer når det passerer galakser som nesten ligger i synslinjen. Først i 1979 ble de første gravitasjonslinsebildene observert. Fra da av tok det ikke lang tid før Refsdals metode ble utnyttet til å bestemme hubbleparameteren.

Senere er andre metoder blitt brukt. Blant annet var en av de viktigste oppgavene til hubbleteleskopet å bidra til å bestemme hubbleparameteren med 10 % nøyaktighet. Dette ble oppnådd i 1999. Som nevnt sier Hubbles lov at farten til fjerne galakser er proporsjonal med avstanden fra oss. Man fant at farten blir 22 ± 2 km/s større for hver million lysår avstanden øker.

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

Universets alder

Universets alder er tiden fra Big Bang til nå. Hvor lang denne tiden er, bestemmes av ekspansjonsfarten. Hvis farten har vært konstant, er den nåværende avstanden til en galakse med farten v, lik $d = v \cdot t_H$, der t_H er universets alder. Ved å sammenlikne med Hubbles lov, finner vi at alderen til universet da er $t_H = 1/H$. Dette kalles *Hubble-alderen* til universet. Innsetting av den målte verdien for H, gir $t_H = 13,3 \pm 1,3$ milliarder år.

Einsteins relativitetsteori sier at rommet kan være "krumt". Rommets krumning har betydning for lysets utbredelse. I et "flatt" rom vil to parallelle lysstråler ha uendret avstand. I et rom som er "positivt krummet", vil de bøyes mot hverandre, og i et "negativt krummet" rom vil de bøyes vekk fra hverandre. Universets massetetthet bestemmer rommets krumning. Dersom rommet er flatt, sies universet å ha *kritisk massetetthet.* Hvis rommet er positivt krummet er tettheten større enn den kritiske, og hvis rommet har negativ krumning er den mindre.

Frem til begynnelsen av 1990-årene mente de fleste astronomene at universet er fylt av en kald gass med kritisk tetthet og neglisjerbart trykk. I et slikt univers ville ekspansjonen ha blitt bremset av gravitasjonen. Følgelig måtte ekspansjonsfarten ha vært større i fortiden, og alderen ville vært mindre enn om universet hadde hatt konstant ekspansjonsfart. For en slik universmodell gir Einsteins likninger alderen $t_0 = (2/3)t_H = 8,9 \pm 0,9$ milliarder år. Teorien for utvikling av stjerner tyder imidlertid på at de eldste stjernene er omtrent 13 milliarder år gamle.

Horisontproblemet

I 1970-årene ble temperaturen til den kosmiske bakgrunnsstrålingen målt med god nøyaktighet. Målingene ga samme temperatur i alle retninger. Det betyr at strålingen kommer fra kilder med lik temperatur. Men det er usannsynlig at kilder på motsatt side av universet tilfeldigvis skulle ha samme temperatur. Målingene tyder derfor på at det må ha eksistert en mekanisme tidlig i universets historie som har sørget for at strålingen i alle retninger kommer fra kilder i termisk likevekt. I 1970-årene var dette et uløst problem.

Universet ble gjennomsiktig omtrent 400 000 år etter Big Bang. Bakgrunnstrålingen forteller oss derfor om kildenes temperatur på denne tiden. Kilder i termisk likevekt må ha "kommunisert" med hverandre slik at de kunne "vite om" hverandres temperatur. Det krever at de hadde mindre avstand fra hverandre enn den strekningen lyset kunne bevege seg i løpet av 400 000 år.

Ved å bruke relativitetsteorien kan man beregne utstrekningen til det området av universet vi kan observere, 400 000 år etter Big Bang. Det viser seg da at kilder obervert i motsatte retninger hadde mye større avstand enn 400 000 lysår på den tiden. Det kommer av at starthastigheten for rommets ekspansjon var uendelig stor ifølge Big Bang-modellene. Etter hvert sakket hastigheten av, men den var mye større enn lyshastigheten i universets tidlige historie. Dette er ikke i konflikt med den spesielle relativitetsteorien som kun begrenser hastigheter *gjennom* rommet til å være mindre enn, eller lik, lyshastigheten, men ikke begrenser selve rommets ekspansjonshastighet. Noen god forklaring på at bakgrunnsstrålingen har samme temperatur i alle observasjonsretninger, hadde man derfor ikke.

Kosmisk inflasjon

Omkring 1980 undersøkte flere fysikere konsekvensene av de forente teoriene for de fundamentale kreftene kombinert med Einsteins teori for tid, rom og gravitasjon. En artikkel av Alan H. Guth fra 1981, fikk stort gjennomslag. Han viste at det kan ha skjedd faseoverganger ekstremt tidlig i universets historie, før universet var 10^{-33} s gammelt. Det dreier seg om overganger mellom ulike vakuumtilstander med svært høy energitetthet. En eller annen form for vakuumenergi kan ha dominert universets utvikling denne første lille brøkdelen av et sekund. En slik tidlig vakuumdominert periode kalles *inflasjonsperioden.*

Hvis det ikke er mulig å måle hastighet i forhold til vakuumenergi, følger det av relativitetsteorien at vakuumenergien virker på seg selv med frastøtende gravitasjon. Vakuum er eksplosivt! Big Bang kan skyldes nettopp en slik vakuumeksplosjon. Mens den opprinnelige Big Bang-kosmologien kun var en teori om utviklingen *etter* Big Bang, så er inflasjonskosmologien også en teori for selve Big Bang-eksplosjonen.

Det viste seg at inflasjonskosmologien kan forklare flere egenskaper ved universet som måtte puttes inn som *ad hoc* begynnelsesbetingelser i de tradisjonelle universmodellene. Horisontproblemet ble løst. Under inflasjonsperioden utvidet universet seg eksponensielt. Områder som opprinnelig var

svært små, og som da etablerte termisk likevekt, fikk etter inflasjonsperioden flere ganger større utstrekning enn vårt observerbare univers hadde den gangen. Dette innebærer at den observerbare delen av universet var i termisk likevekt da det ble gjennomsiktig 400 000 år senere. Dermed har man en forklaring på at temperaturen til den kosmiske bakgrunnstrålingen er lik i alle retninger med en nøyaktighet på bedre enn en tusendels grad.

Inflasjonsmodellene for universet gir også en mekanisme for dannelsen av tetthetsfluktuasjoner i den kosmiske gassen som senere utvikler seg til stjerner, galakser og hoper av galakser. Opprinnelsen var små kvantefluktuasjoner med utstrekning som ble enormt forstørret under inflasjonsperioden. I tillegg forklarer inflasjonsmodellene det faktum at universet utvider seg.

Mørk materie

Bevegelsen til galakser og hoper av galakser, viser at galaksene og galaksehopene inneholder mer enn 10 ganger større masse enn den samlete massen til stjernene. Observasjonene tyder på at "den gravitasjonelle massen" i universet har en tetthet på omkring 20 % av den kritiske tettheten, mens den lysende materien bare bidrar med omtrent 1/40 så mye. Nesten all materien er mørk.[2] Ikke nok med det, den er ikke engang baryonisk, dvs. den består ikke av protoner og nøytroner. Observasjoner av mengdeforholdene til de letteste grunnstoffene i universet kombinert med teorien for hvordan de ble dannet de første minuttene etter Big Bang, viser at tettheten av baryonisk materie i universet er ca. 4 % av den kritiske tettheten, altså 1/5 av tettheten til den gravitasjonelle massen. Størsteparten av den mørke materien er følgelig av ikke-baryonisk, ukjent natur.

Temperaturfluktuasjoner i bakgrunnsstrålingen

Som nevnt, ble den kosmiske bakgrunnsstrålingen første gang observert i 1965. I løpet av de neste årene ble temperaturen målt med stadig bedre nøyaktighet.[3] Men selv med en nøyaktighet på en tusendels grad, fant man ingen temperaturforskjeller. Først i 1992 registrerte astronomene, med instrumenter i satellitten COBE, små temperaturforskjeller i den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Etter mer enn ett års observasjoner og nok ett år med analyser av de observerte dataene, greide man å identifisere ulike typer temperaturvariasjoner. For det første er det en retningsavhengig variasjon som viser at vårt solsystem beveger seg gjennom bakgrunnsstrålingen med en hastighet på 370 km/s. Det ble også funnet et mønster av temperaturvariasjoner som er likt i alle retninger. Temperaturvariasjonene ble målt med en vinkeloppløsning på 7°, og man registrerte temperaturforskjeller på under en tusendels Kelvin.

De mest nøyaktige observasjonene er gjort ved hjelp av instrumenter i en satellitt kalt WMAP. Den ble skutt opp i juni 2001, og de første analyseresultatene ble publisert i februar 2003. Temperaturvariasjonene ble nå målt med en vinkeloppløsning på 0,3°. Man kunne se et mønster av variasjoner som viser et "bilde" av den kosmiske gassen omtrent 400 000 år etter Big Bang, da universet ble gjennomsiktig. Mønsteret avhenger av geometrien til universet, hva det inneholder og av hvor fort det ekspanderer. De viktigste resultatene av disse undersøkelsene er:

1. Universets alder er bestemt til 13,7 milliarder år med en usikkerhet på bare 1 prosent.
2. Universet ble gjennomsiktig etter 380 000 år.
3. De første stjernene ble dannet 200 millioner år etter Big Bang.
4. Universet er "flatt".
5. Materie og energiinnholdet i universet er: 73 % vakuumenergi, 23 % kald mørk materie av ukjent natur og 4 % vanlig (baryonisk) materie.

Akselerert ekspansjon

To internasjonale grupper av astronomer satte i midten av 1990-årene i gang med et prosjekt for å måle den forventede retardasjonen av universets ekspansjonshastighet på grunn av tiltrekkende gravitasjon. De målte farten og avstanden til fjerne supernovaer, og brukte så Hubbles lov til å bestemme hubbleparameteren, dvs. universets ekspansjonshastighet. Når man ser utover i universet ser man bakover i tid, siden et observert objekt viser objektets tilstand ved tidspunktet da det sendte ut det observerte lyset. Ved å observere supernovaer i ulike avstander, kunne man dermed bestemme verdien av hubbleparameteren, og følgelig universets ekspansjonshastighet ved forskjellige tidspunkter.

Resultatet av disse målingene ble høyst uventet. De viste at universets ekspansjon øker farten.[4] Dette ble av tidsskriftet *Science* slått opp som årets vitenskapelige gjennombrudd i 1998. Det ga oss et nytt bilde av universet. Den dominerende energiformen i universet kunne verken være materie eller stråling. Begge deler ville ha retardert ekspansjonshastigheten. Den eneste muligheten var at energien måtte være en eller annen form for vakuumenergi som forårsaker frastøtende gravitasjon.[5]

I begynnelsen av 1990-årene tydet mange typer observasjoner på at universet er dominert av kald mørk materie. Som nevnt, ga målingene av hubbleparameteren som resultat at universet i så fall måtte være yngre enn de eldste stjernene. Dette aldersproblemet ville kunne forklares dersom universet ekspanderte langsommere før enn nå. I så fall måtte universets ekspansjon akselerere. Ingen målinger tydet på dette så sent som i 1995. Men de nye målingene løste aldersproblemet til universet.

Ikke bare det. Målingene av temperaturfluktuasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen tyder på at universet har kritisk tetthet. Dette er også hva man ventet ut fra inflasjonsmodellene. Men observasjoner av bevegelsene til stjerner og galakser, og av universets massefordeling i stor skala, tydet på at den gjennomsnittlige tettheten av materien i universet bare er omtrent 1/3 av den kritiske tetthet. Supernovamålingene løste også dette problemet. Tettheten av materie og vakuumenergi som skal til for å forklare den akselererte ekspansjonen, er til sammen lik den kritiske tettheten.

Vakuumenergiens natur er imidlertid et stort mysterium. Trolig kommer vi ikke til klarhet i vakuumenergiens karakter før vi har en kvantegravitasjonsteori som omfatter både dagens kvanteteori og den generelle relativitetsteorien. Allerede i 1925 sa Einstein til Heisenberg da han strevde med å forstå kvantefenomenene: *Det er teorien som forteller hva vi observerer.*

Referanser

1. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller.* FFV **56**, (3) 75–83 (1994)
2. S.O. Sørensen: *Mørk materie.* FFV **52**, 57–67 (1990)
3. Ø. Grøn: *Temperaturfluktuasjoner i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.* FFV **62**, (2) 39–45 (2000)
4. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon"* FFV **61**, (3) 73–80 (1999)
5. Ø. Grøn: *Kvintessens – universets vakuumenergi.* FFV **63**, (1) 9–14 (2001)

∞

Den mirakuløse superleiaren

Kristian Fossheim *

I 1911 oppdaga den nederlandske fysikaren Heike Kamerlingh-Onnes i Leiden, at når metallet kvikksølv vart kjølt ned under ein viss kritisk temperatur T_c, miste det all elektrisk motstand. Etter kvart skulle det vise seg at det same gjeld for mange vanlege metall, som aluminium, tinn, bly osv., og for ei lang rekkje andre material. Fenomenet fekk namnet superkonduktivitet, eller superleiing. Temperaturen der superleiing oppstår, har vist seg å variere sterkt, men i metall er den vanlegvis under 10 K. Vi skal her gje eit oversyn av dei viktigaste trekka ved den historiske utviklinga i dette fascinerande feltet som er blitt eit av fysikkens aller mest utforska områder. Til slutt skal vi kort omtale den norske innsatsen.

At ein superleiar viser null elektrisk motstand, $R = 0$, inneber til dømes at om vi startar opp ein elektrisk straum i ei lukka sløyfe av materialet, og held sløyfa nedkjøld under temperaturen T_c der superleiing oppstår, så vil straumen halde fram å gå

*Institutt for fysikk, NTNU.

i år etter år, ja tusenvis og kanskje millionar av år! Men i 1933 oppdaga W. Meissner og R. Ochsenfeld i Tyskland at ein superleiar har ein eigenskap til som er like merkeleg: Den skjermer seg perfekt mot eit ytre statisk magnetfelt. Det betyr at om vi kjøler materialet mens det er i eit konstant magnetfelt, så kastar det brått ut magnetfeltet når temperaturen kjem under T_c. Denne evnen til å skjerme seg mot eit statisk magnetfelt omtalar vi som perfekt diamagnetisme. Då er susceptibiliteten $\chi = -1$. Dette fenomenet blir til vanleg kalla Meissner-effekten. Skjerminga bryt saman ved høgt nok magnetfelt, noko som har store konsekvensar, ikkje minst for den praktiske bruken av superleiar.

Superleiing har vist seg å vere eit felt der nye oppdagingar har kome jamt og trutt, både når det gjeld fysisk innhald og nye material. Merkeleg nok skulle det og kome til å vise seg at same teori som forklarar superleiing i metall, også kan forklare viktige eigenskapar til atomkjerner. Dette heng saman med at begge deler handlar om reint kvantefysiske fenomen, men altså på svært ulik storleikskala. I dei seinare åra er ein viss kjennskap til fenomenet superleiing blitt nokså allmenn i Norge takka vere oppdaginga av såkalla høg-T_c superleiarar av J.G. Bednorz og K.A. Müller i Sveits i 1986, og etterfølgjande forsking i Norge.

Fenomenologiske teoriar

At arbeidet fram mot ei første fysisk forståing av superleiing skulle ta over 45 år, viser vel betre enn noko anna at vi her snakkar om eit krevjande tema. Midt på 1930-talet, etter oppdaginga av Meissner-effekten, tok eit visst teoretisk fundament til å ta form ved ein fenomenologisk teori av brørne F. og H. London frå Ungarn. Dei sette fram følgjande merkelege postulat: Når ein superleiar er utsett for eit ytre magnetfelt oppstår det ein motstandsfri superstraum $\vec{J}$ i overflata, gitt ved relasjonen

$$\vec{J} = -\Lambda \vec{A},$$

der $\vec{A}$ er vektorpotensialet som $\vec{B}$-feltet kan avleiast av, dvs at $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$. Denne London-likninga er, som vi ser, heilt analog med Ohms lov i normalt metall. Her er det derimot ikkje eit elektrisk felt $\vec{E}$ som driv straumen, men vektorpotensialet $\vec{A}$. Konstanten Λ varierer frå material til material. Likninga kan visast å innebere at den tapsfrie superstraumen skjermar det indre av superleiaren mot eit *statisk* magnetfelt. Det kostar altså ingen energi å halde skjerminga ved like, bortsett frå det å halde prøven kald. Dette er den perfekte diamagnetismen, det same som Meissner-effekten som vi omtala ovanfor. Altså finn vi at superstraumen som oppstår i overflata, skjermar superleiaren mot eit statisk magnetfelt, og er driven av vektorpotensialet til det feltet den skal skjerme! I praksis må feltet trengje inn avstanden $\lambda_L = (\mu_0 \Lambda)^{-1/2}$, ei lengd som er gitt av elektronkonsentrasjonen og i storleik er omtrent på μm-skala. Noko seinare vart den fenomenologiske to-væskemodellen formulert av C.J. Gorter og H.B.G Casimir i Nederland. Dei foreslo å dele opp straumen i ein superleiande komponent og ein normal komponent, begge deler sterkt temperaturavhengige. Både London-postulatet og to-væskemodellen skulle vise seg å tole dagsens lys også etter utforming av ein kvantefysisk teori.

1950-talet, det ti-året då Norsk Fysisk Selskap vart grunnlagt, skulle komme til å stå i ei særstilling når det gjeld nye resultat og ny innsikt. A.B. Pippard i England oppdaga at superleiar må beskrivast ved ikkje-lokal teori. Det vil seie at superstraumen i eit punkt i materialet må finnast ved å integrere responsen til feltet over eit område med ei viss utstrekning, ξ. Pippard innførde dermed den viktige lengdeparameteren ξ for å karakterisere denne eigenskapen. I 1950 vart Ginzburg–Landauteorien publisert i Sovjet, ein teori som vart ein "arbeidshest" for både eksperimentalfysikarar og teoretikarar. Essensen av den er ei utvikling av fri energi i potensar av bølgjefunksjonen Ψ nær T_c. Denne teorien har vore mykje nytta heilt fram til i dag, og etter kvart på meir og meir avanserte måtar.

Kvantefysisk forståing

I 1956 gav L.N. Cooper i USA eit viktig bidrag til forståing av superleiing ved å vise at to elektron utanfor ei fyllt Fermi-fordeling foretrekkjer å danne eit elektronpar sjølv ved den aller minste attraktive vekselverknad. I USA lanserte så J. Bardeen, L.N. Cooper, og J.R. Schrieffer, (BCS), den berømte BCS-teorien i 1957. Der vart fonon-mekanismen for danning av Cooper-par utforma. Kort sagt går den ut på at vekselverknaden mellom to elektron – med det positivt lada ionegitteret som aktivt mellomledd – gir opphav til ei svak tiltrekking, tilstrekkeleg til å overvinne Coulomb-fråstøytinga og binde saman to elektron med motsett spinn og motsett impuls, $\hbar\vec{k}$ og $-\hbar\vec{k}$. Bindingsenergien, eller energigapet, for desse Cooper-para er svært liten, på millielektronvoltskala, samanlikna med bandgapet i met-

all som er på elektronvoltskala, og var såleis spesielt vanskeleg å finne opphavet til. Verifikasjonane på BCS-teorien kom på rekkje og rad utover på slutten av 50-talet og byrjinga av 60-talet.

Same året som BCS-teorien vart lansert, kom eit avgjerande arbeid av A.A. Abrikosov i Sovjet, der han viste at magnetisk fluks kan trengje inn i superleiarar i kvantiserte minste mengder $\Phi_0 = h/2e$, når vilkåret $\kappa = \lambda/\xi \geq 1/\sqrt{2}$ er oppfyllt. Her er h Plancks konstant, og e er storleiken av elektronet si ladning. Denne kvantiserte fluksen er ikkje ein partikkel, men tynne superstraumkvervlar, gjerne kalla magnetiske fluksliner eller vortex-liner, eller berre vortexer, med magnetisk radius λ_L. Det er desse som fører den magnetiske fluksen frå ein ytre magnet gjennom materialet. Denne innsikten gav vidare opphav til eit avgjerande skilje mellom to typar superleiarar, kalla type I når $\kappa \leq 1/\sqrt{2}$, og type II når $\kappa \geq 1/\sqrt{2}$. Den siste skulle vise seg å vere den einaste som kunne brukast på stor skala, dvs. i tråd og kabel, til dømes til magnetviklingar, og til likestraumsenergitransport.

Superleiarar på stor skala

Abrikosov si oppdaging skulle gjere mykje til å legge grunnlaget for ein begynnande superleiarindustri utover 60-talet, ein industri som tok fart for alvor då magnetisk resonansavbilding, MRI, vart utvikla etter 1980. Denne industrien åleine har i dag eit omsetningsvolum på fleire milliardar kroner årleg, og er utan samanlikning den viktigaste bruken av superleiar i dag. MRI er litt av ein teknisk triumf, basert på fundamental fysikk, og er eit unikt diagnostisk hjelpemiddel, spesielt i sentralnervesystemet, men også i kroppen elles. Det er nå og lett å sjå kvifor Kamerlingh-Onnes ikkje lykkast med å lage sterke magnetar av superleiarar, ein ambisjon han hadde frå første stund. Grunnen var at han arbeidde med type I-material, og såleis aldri hadde ein sjanse. Innan magnetteknologi i forskingslaboratoria har superleiarar teke heilt over pga. redusert storleik, langt sterkare magnetfelt som vart lett tilgjengeleg, redusert energiforbruk og redusert kompleksitet i kjøleanlegget for store magnetar. Materiala som vart tekniske og kommersielle suksessar i denne samanhengen, var Nb_3Sn og NbTi, og desse er framleis dominerande.

Eitt av dei områda i fysikken der superleiarar har kome til stor hjelp, er innan akseleratorteknologi ved CERN, der superleiande holromsresonanskavitetar for akselerasjon av partikkelstrålen alt for lenge sidan vart tekne i bruk. I det neste store prosjektet, Large Hadron Collider, vil partikkelstrålen bli styrd av 14 meter lange superleiande avbøyingsmagnetar. Høgenergifysikken i CERN blir dermed ennå sterkare avhengig av superleiarteknologi i framtida.

Frå 1990 til 1997 utvikla Japan Railway eit eksperimentelt tog, Maglev, som svevar (leviterer) ved bruk av superleiande låg-T_c elektromagnetar. Toget flyt av garde omtrent lydlaust over ein 40 km strekning 10 cm over skinnegangen, i ein fart på over 500 km/t . Slike tog vil kunne kome til å bli tekne i bruk på den høgt trafikkerte strekningen Tokyo–Osaka. Med ein slik fart ville eit tog kunne køyre frå Trondheim til Oslo på om lag ein time! Kjem det nokon gong? Kanskje ikkje, men teknisk er det fullt mogeleg.

Superleiarar på liten skala

Går vi så attende til 60-talet, kom der og nye epokegjerande oppdagingar. I nordmannen Ivar Giaever sitt arbeid frå 1960, vart energigapet for Cooper-par målt på den mest elegante måten ved tunnelering av ladningsberarar gjennom eit tynt oksidsjikt mellom to tynne filmar, ein av normalt metall og ein av superleiar. At Giaever hadde si utdanning innan maskinteknikk(!) ved NTH, gjorde ikkje prestasjonen mindre. Han arbeidde ved General Electric sitt forskingslaboratorium i Schenectady i New York, og hadde starta eit fysikkstudium ved sida av jobben då han fekk ideen til eksperimentet under ei forelesing. Hans arbeid la samtidig eit teknisk grunnlag for seinare verifisering og bruk av ein forbløffande prediksjon av den unge engelskmannen B.D. Josephson i 1962. Josephson fann at *ein netto superstraum skulle gå ved null påtrykt spenning* mellom superleiande elektrodar som var skilde med ein tynn tunnelbarriere (Josephson-kontakt). Uttrykket han fann kunne knapt blitt enklare: Superstraumen mellom superleiar nr 1 på den eine sida og nr 2 på den andre sida av barrieren, kunne uttrykkast som $I = I_0 \sin\gamma$, der $\gamma = \phi_1 - \phi_2$ er differansen mellom fasen ϕ_1 til bølgjefunksjonen i superleiar nr 1, og fasen ϕ_2 i superleiar nr 2. I_0 er maksimalverdien av straumen, og vil vere sterkt avhengig av tjukkleiken på den isolerande barrieren og kva material den er laga av. Her kan vi spørje: Kva fysisk meining har så fasen til ein bølgjefunksjon? Kort sagt kan vi oppfatte den som analog med ein vinkel som måler retninga på magnetiseringa i ein ferromagnet. Men

partiklane som tunnelerer i ein Josephson-kontakt er ikkje dei same som i Giaever sitt eksperiment. I Giaever sitt tilfelle var ladningsberarane enkeltelektron, kalla "kvasipartiklar", som er frigjorde frå Cooper-parbindinga og finst *over* energigapet. I Josephson-effekten er det Cooper-par som tunnelerer i bunden tilstand, og såleis føler fasedifferensen mellom dei to sidene. Josephson sin prediksjon var så overraskande at John Bardeen ikkje trudde på den i førstninga. Men det tok ikkje lang tid før superstraum ved null spenning vart observert. Faktum var at Giaever og ein medarbeidar hadde observert den og publisert slike data alt før Josephson hadde lansert sin teori, men utan å forstå fenomenet. Dei tok difor ingen kreditt for å ha oppdaga Josephson-effekten.

Josephson-effekten la grunnlaget for nye og unike teknologiar. I første rekkje står SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) som utan samanlikning er den mest følsame magnetfelt-detektor som fins. Denne er teken i bruk på ei lang rekkje områder som spenner frå biofysikk og medisinsk hjernediagnostikk til geomagnetisme og avanserte laboratorie-magnetometer. Josephson-effekten blir brukt i høgfrekvent radioastronomi, og som gunnlag for ny målestandard for elektrisk spenning. Den har potensiale for utvikling av m.a. superraske reknemaskinar.

Nye material og bruksområde

Frå 70-talet og utover, har det kome ei rekkje nye superleiarmaterial. Organiske superleiarar vart oppdaga av D. Jérome og medarbeidarar i Paris i 1979. Dette har utvikla seg til eit eige forskingsområde, men T_c ligg for det meste under 10 K. Sidan kom den store sensasjonen, oppdaginga av ein klasse superleiarar med perovskittstruktur av J. G. Bednorz og K.A. Müller i 1986, som nemnt. Det er av interesse her at norsk fysikk deltok svært aktivt i forsking på perovskittar på 60-70-80 talet, mellom anna i samarbeid med Müller på prototypen $SrTiO_3$. Dei superleiande perovskittane er meir kompliserte. Dei har eitt felles karakteristikum: Dei inneheld strukturelle sjikt i form av nesten planare nettverk av CuO_2, og blir difor kalla kuprat-superleiarar. Det aller mest studerte materialet er $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ med $T_c = 93$ K. Dette vart oppdaga alt så tidleg som i 1987. Etter desse oppdagingane har superleiing som forskingsfelt utvikla seg svært. Rekorden for superleiingstemperatur er flytt opp til 138 K ved vanleg trykk, og bortimot eit hundretals nye variantar er identifiserte. Men eitt stort spørsmål står ennå att å svare på: Kva er mekanismen for Cooper-pardanning i høg-T_c superleiar? Vi veit at mekanismen i BCS-teorien ikkje strekk til, men ikkje kva som faktisk skjer. Seinare er faststoff av fulleren-molekylet C_{60} innlemma i superleiarfamilien ved samansettingar av typen K_3C_{60}, og med T_c opp til 40 K. Eit av dei store nye funna frå 2001 er magnesiumdiborid, MgB_2. Dette er ein klassisk BCS-type superleiar med $T_c = 39$ K. MgB_2 ser svært lovande ut for mellom anna teknisk bruk. Ein reknar her omtrent med å ha nådd grensa for kor høg T_c det er mogeleg å oppnå ved BCS-teorien sin fononmekanisme.

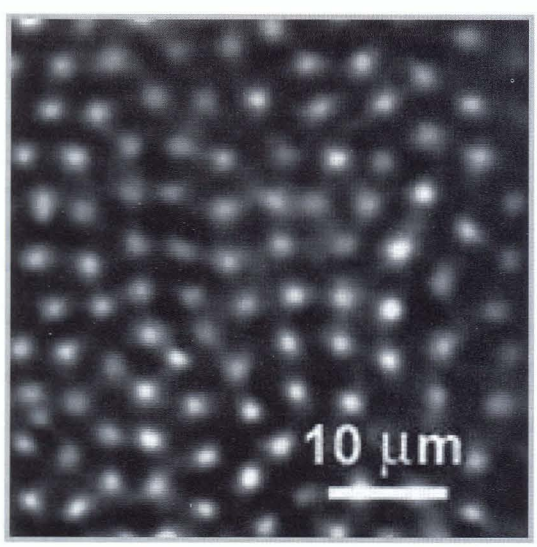
Høg-T_c kupratmateriala har vist seg ekstremt vanskelege å framstille med den kvalitet ein er avhengig av for teknisk bruk. Problemet er primært å finne i den sterkt lagdelte, anisotrope strukturen og den høge temperaturen. Likevel har det heile tida gått framover også med den tekniske forskinga. Det finst nærast eit utal potensielle bruksområder, men berre eit fåtal produkt er ennå blitt kommersielle. Prisen blir ofte ein avgjerande faktor. La oss her berre nemne nokre døme på noverande og/eller framtidig bruk: I USA er superleiande høgfrekvensfilter i bakkestasjonar for mobiltelefon tekne i bruk i utstrakt grad. Mange grupper har utvikla høg-T_c SQUID av god kvalitet som opererer ved 77 K. I Japan har ei gruppe ved ISTEC i Tokyo, framstilt modifikasjonar av $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ der dei kan fryse inn eit magnetfelt på 17 tesla ved 77 K. Om dei også greier å lage dette materialet i store bitar med eit tverrsnitt på ca 10x10 cm^2, vil rekkjer av slike magnetiserte høg-T_c superleiarklossar kunne brukast til levitasjon av raske tog i staden for låg-T_c elektromagnetar som vi nemnde ovanfor. La oss og ta med at danskane, i samarbeid med eit amerikansk firma, har utvikla ein 30 meter lang eksperimentell høg-T_c kabel som er sett inn på kraftnettet og overfører elektrisk energi svarande til forbruket i 25000 husstandar. Ei lang rekkje andre eksempel kunne nemnast.

Norsk superleiarforsking

Den norske innsatsen i superleiarforsking etter oppdaginga av høg-T_c kupratsuperleiarar, bør vi ha grunn til å vere nøgde med, både eksperimentelt og teoretisk. Ved NTH/NTNU i Trondheim er det totalt utdanna over 20 doktorar innan eksperimentell og teoretisk fysikk, elektroteknikk og uorganisk kjemi. Ved UiO er det innan superleiar-

forsking utdanna 5 doktorar i fysikk sidan 1987. (Eventuell doktorgradsutdanning i uorganisk kjemi har det ikkje lykkast oss å få oppgitt.) Felles for norsk forsking innan fysikk har vore ei fokusering på magnetiske eigenskapar til høg-T_c superleiarar, spesielt magnetiske fluksliner og løkker. Norge er altså godt forspent med kompetanse takka vere utdanninga av doktorar. Men i motsetnad til Danmark har vi ikkje industri som er engasjert i feltet i dag. Dette hindrar finansiering av utviklingsprosjekt i Norge. Norsk Hydro var, prisverdig nok, ei tid inne i eit nordisk prosjekt der NTNU og SINTEF deltok, men det vart ikkje funne områder der det var naturleg for Hydro å gå vidare.

Nokre konkrete eksempel på resultat frå dei norske gruppene: Innan teori kan vi mellom anna vise til ei imponerande rekkje artiklar publiserte i det prestisjefylte tidsskriftet *Physical Review Letters* av Asle Sudbø og medarbeidarar ved NTNU. Dette er udiskutabelt ei internasjonalt leiande teorigruppe innan studiet av fysikken til magnetiske fluksliner og fluksløkker ("virvelløkker"). Dei har mellom anna oppdaga ein ny type faseovergang i det termisk genererte fluksløkkesystemet. Lesarane kan finne ein artikkel i eit tidlegare nummer av FFV om denne gruppa sitt arbeid[1]. Fysikkgruppa til Tom Henning Johansen i Oslo, har utvikla ein einestående metode til optisk avbilding av magnetiske fluksliner[2]. Figur 1 viser eit eksempel på magneto-optisk avbilding av fluksliner i superleiaren $NbSe_2$. Vi ser der enden av flusklinene i tverrsnitt der dei sluttar i overflata. SINTEF-EFI i Trondheim ved Magne Runde, har patentert og publisert eit oppsiktsvekkande konsept for ein superleiande induksjonsovn(!) til oppvarming av aluminium pressbolt til 500 C før ekstrudering til ymse profilar[3]. Spolane av høg-T_c superleiar er samtidig kjølte til 77 K. Dette reduserer dei elektriske tapa dramatisk. Forfattaren av denne artikkelen har til dømes, i samarbeid med mellom andre Thomas Ebbesen, publisert[4] og patentert ein metode for å feste dei magnetiske flukslinene i superleiarar ("fluksankring" eller "flukspinning") ved innstøyping av karbon-nanorør i materialet. Desse røra har ein diameter på ca. 10 nm, passande til å fange inn dei tynne straumkvervlane som flukslinene består av, dei same som er viste individuelt i figur 1. Fysisk ankring av flukslinene er heilt nødvendig for at superleiarane skal kunne transportere høg straumstyrke. I motsett fall vil flukslinene forskyvast under kombinert påverknad av straum og magnetfelt (Lorentz-krafta), noko som gir elektrisk motstand og tap. I desse dagar går ei ny internasjonal lærebok innan superleiarfysikk og teknologi i trykken, skriven av Fossheim og Sudbø ved NTNU for Wiley and Sons[5]. Her får også den norske forskingsinnsatsen i feltet sin naturlege plass. Av referansar for vidare lesing kan og nemnast boka som artikkelforfattaren gav ut i 1991, med oversiktsartiklar over 10 ulike superleiarteknologiar[6]. Av nyare dato kan vi vise til Norsk Fysisk Selskap sine internettsider: *fysikknett.no*, med mellom anna animasjonar av superleiarfysikk, utvikla av artikkelforfattaren med assistanse av studentar ved NTH/NTNU.



Figur 1. Magneto-optisk bilete av magnetiske fluksliner i $NbSe_2$ ved 4,3 K. Kvart av dei lysande objekta representerer enden av ei magnetisk fluksline og inneheld ei kvantisert fluksmengde $\Phi_0 = h/2e$. Figuren er henta frå heimesida til Oslo-gruppa: *http://www.fys.uio.no/super/results/sv/index.html*

Nobelprisar

Superleiarar er eit felt som har fascinert ikkje berre fysikarar, men også i høg grad dei ansvarlege for utdeling av Nobelprisen i fysikk. Hittil har desse fått prisen: H. Kamerlingh-Onnes (1913), J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer (1972), I. Giaever, B.D. Josephson (1973), J.G. Bednorz, og K.A. Müller (1987). I tillegg har P.W. Anderson (1977)og P.G. de Gennes (1991), som har motteke nobelprisen på andre områder, vore sentrale personar i superleiarteori.

Litteratur

1. Ahn Kiet Nguyen og Asle Sudbø: *Virvelløkker i helium og høytemperatur-superledere.* FFV **59**, nr. 4, 91 (1997)
2. Pål Erik Goa: *Magneto-optic imaging of superconductors with single vortex resolution.* Doktorgradsavhandling, Universitetet i Oslo (2002)
3. Magne Runde og Niklas Magnusson: *Induction heating of aluminium billets using superconducting coils.* Physica C **372–376**, 1347 (2002)
4. Kristian Fossheim, Ellen D. Tuset, Thomas W. Ebbesen, Michael M.J. Treacy, and Justin Schwartz: *Enhanced flux pinning in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ superconductor with embedded carbon nanotubes.* Physica C **248**, 195 (1995)
5. K. Fossheim and A. Sudbø: *Superconductivity: Physics and applications.* John Wiley & Sons. Trykkast i 2003.
6. K. Fossheim,ed: *Superconducting technology: 10 case studies.* World Scientific Publishing (1991)

∞

Transistorer og integrerte kretser

Erik Stensrud Marstein *

Fremskritt innen fysikken har opp i gjennom historien bidratt til å påvirke vår hverdag. Det er allikevel sjelden fremskrittene får så store konsekvenser for folk flest som oppfinnelsen av en enkel, elektronisk komponent kalt transistoren, og den påfølgende utviklingen av teknologien for å fremstille såkalte integrerte kretser. Dette er oppfinnelser vi i dag finner i nær sagt ethvert hjem og på enhver arbeidsplass i Norge.

Integrerte kretser står for styringen av alt fra kraftige datamaskiner til vaskemaskiner, mobiltelefoner og leketøy, og er i høy grad med på å definere både arbeidsdagen og fritiden vår. Det stilles stadig større krav til elektroniske enheter basert på integrerte kretser. Teknologien som brukes for å fremstille slike kretser har, utrolig nok, hittil gjort det mulig å oppfylle de fleste kravene. I høyt tempo utvikles og produseres det enheter som kan overføre større og større mengder informasjon, eller utføre flere og flere kompliserte funksjoner, stadig raskere. Enhetene er etter hvert blitt så små at de kan få plass i et armbåndsur eller til og med inne i menneskekroppen.

*Institutt for energiteknikk, Kjeller.

Hva er så en transistor? Og hva er en integrert krets? En transistor er, kort fortalt, en elektronisk komponent som har tre elektroder. Elektrodene kalles ofte *gate, emitter* og *kollektor.* Ved hjelp av en spenning mellom gate og emitter kan man raskt skru av og på, eller også justere størrelsen på en strøm mellom emitter og kollektor. Ved hjelp av en liten styrespenning er man dermed i stand til å bestemme om en transistor skal lede strøm eller ei. Denne bruken av transistoren som en bryter legger i dag grunnlaget for all digital elektronikk. Gjennom kontrollert å åpne og lukke transistorer kan man utføre den nødvendige manipuleringen av alle nullene og enerne som utgjør informasjonen i en digital krets i sin enkleste form.

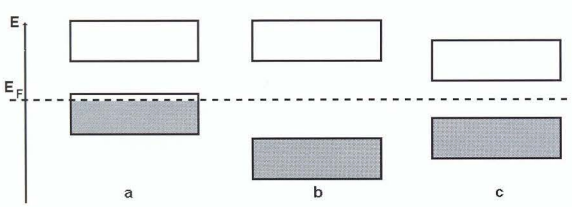
En *integrert krets* er fremstilt på én brikke av et halvledermateriale hvor passive komponenter som motstander og kondensatorer, så vel som aktive elektroniske komponenter som transistoren, er laget og koblet sammen.

Transistorer og integrerte kretser fremstilles av en type materialer som kalles *halvledere.* En halvleder er, som navnet sier, et materiale med en ledningsevne som ligger mellom ledningsevnene til elektriske ledere og isolatorer. Man bruker ofte diagrammer som viser de tillatte tilstandene til elektroner i disse materialene for å forklare og forstå

hvordan og hvorfor egenskapene til halvledere, metaller og isolatorer skiller seg fra hverandre. Et enkelt atom har, som kjent, en rekke diskrete tilstander som dets elektroner kan befinne seg i. Når flere atomer går sammen og danner et fast stoff, for eksempel en krystall, vil de diskrete tilstandene etter hvert gå over til å danne kontinuerlige bånd av tillatte elektrontilstander. Ved det absolutte nullpunkt vil elektronene i faste stoffer fylle opp alle tilstandene med lavest energi. Disse båndene vil være fulle av elektroner opp til en grenseenergi kalt Fermi-energien, E_F. Over denne energien vil de mulige elektrontilstandene være tomme.

Metaller, isolatorer og halvledere

I et metall ligger E_F inne i et av båndene av elektrontilstander, som vist i figur 1a. Dette medfører at det finnes en mengde ledige tilstander som elektroner med energier nær E_F vil kunne bevege seg til. Dermed blir ledningsevnen i et metall høy. I en isolator vil E_F ligge mellom to bånd med tillatte tilstander, som vist i figur 1b. Mellom båndene er det ingen tillatte elektrontilstander. Det nederste båndet, kalt valensbåndet, er helt fullt av elektroner, og det øverste båndet, kalt ledningsbåndet, er helt tomt. Så fremt elektronene i valensbåndet ikke tilføres energi nok til å hoppe fra valensbåndet og opp i ledningsbåndet, vil de ikke være i stand til å bevege seg. Det finnes ingen flere ledige elektrontilstander å gå til i valensbåndet. Ledningsevnen til en isolator blir derfor svært lav.



Figur 1. Figuren viser hvordan energibåndene i, henholdsvis, a) et metall, b) en isolator og c) en halvleder fylles opp til E_F ved det absolutte nullpunkt. I de grå områdene er alle elektrontilstandene besatt, og i hvite områder er alle elektrontilstandene tomme.

I en halvleder er situasjonen i utgangspunktet nokså lik den vi ser i en isolator. Også her finner vi at E_F ligger mellom et fullt valensbånd og et tomt ledningsbånd. I en halvleder er imidlertid avstanden fra valensbåndet til ledningsbåndet relativt liten, som vist i figur 1c. Energien som skal til for å løfte et elektron fra valensbåndet og opp i ledningsbåndet er derfor forholdsvis lav.

Halvledere er spesielt interessante blant annet fordi det er mulig å bestemme deres elektroniske egenskaper. Man er i dag i stand til enkelt å bytte ut atomer i et halvledermateriale med atomer som enten har ett valenselektron mer eller ett mindre enn halvlederatomene har. Dette kalles å *dope* halvlederen. Ved å dope en halvleder vil man altså tilføre eller fjerne like mange valenselektroner fra halvlederen som den blir tilsatt dope-atomer. Hvis man tilsetter atomer med ett ekstra valenselektron, vil de nye elektronene begynne å fylle opp ledningsbåndet siden valensbåndet allerede er fullt. I ledningsbåndet vil det finnes en rekke ledige tilstander som elektronene kan gå til, og de blir derfor frie til å bevege seg. Hvis man derimot, tilsetter atomer med ett valenselektron for lite, fjerner man elektroner fra valensbåndet. På denne måten lager man tomme tilstander i valensbåndet, og elektronene her blir i stand til å bevege seg til disse. I begge tilfellene vil man se at ledningsevnen til halvlederen øker med antallet dopeatomer som den tilføres.

Tettheten av elektroner i den vanlig brukte halvlederen silisium (Si) er omtrent $7 \cdot 10^{23}$ cm^{-3}. De elektroniske egenskapene bestemmes av antallet elektroner som kontrollert er tilført ledningsbåndet eller fjernet fra valensbåndet. Dette er i begge tilfeller typisk fra 10^{15} til 10^{18} cm^{-3}, tall som er mange størrelsesordener lavere enn den totale elektronkonsentrasjonen i materialet! Behovet for nøyaktig kontroll over ladningen i en halvleder gjør at det stilles store krav til materialets renhet. Materialfeil kan påvirke halvlederes elektriske egenskaper og gjøre dem ubrukelige. Man krever derfor at konsentrasjonene av feil skal være ytterligere flere størrelsesordener lavere.

Det finnes i dag en rekke teknikker som gjør det mulig å dope bare enkelte områder på et halvledermateriale. Man kan definere områder som er tilsatt elektroner, og som følgelig vil være negativt ladd, og andre områder hvor det er fjernet elektroner, og som da vil være positivt ladd. De negativt ladde områdene kalles *n–type områder* og de positive ladde områdene *p–type områder*. Ved å fremstille både n–type- og p–typeområder på ett stykke av et halvledermateriale, kan man kontrollert sette opp elektriske felter mellom disse områdene. Slike elektriske felt tømmer området som er nærmest grensen mellom områdene av n–type og p–type for frie ladnings-

bærere, og man får et isolerende område. Dette området kalles ofte en deplesjonssone. En rekke elektroniske komponenter fremstilles ved kreativ bruk av n–type og p–type områder og deplesjonssoner blant annet, og flere typer transistorer.

Transistoren

Den første transistoren så dagens lys for omkring 50 år siden, i desember 1947. Den var laget av halvlederen germanium (Ge). Valget av Ge som utgangsmateriale var motivert ut fra at man på den tiden hadde en del erfaring med dette materialet og at man relativt lett kunne fremstille Ge med tilstrekkelig renhet. Dessuten visste man at mobiliteten til ladningsbærerne i Ge er høyere enn i det andre materialet man vurderte, nemlig silisium (Si), noe som potensielt kunne tillate fremstilling av raskere komponenter.[2] Oppfinnerne av transistoren, Shockley, Bardeen og Brattain, ble tildelt Nobelprisen i fysikk i 1956 "for sin forskning på halvledere, og for deres oppdagelse av transistoreffekten".[3]

De første transistorene var nokså primitive komponenter der ett stykke av et halvledermateriale ble brukt til å fremstille én transistor, og der all elektrisk kontakt til omverdenen ble gjort gjennom fastloddete, eksterne ledere. I begynnelsen ble transistoren hovedsakelig brukt som en erstatning for det mer kompliserte transistorrøret. Den halvlederbaserte transistoren var både mer pålitelig og hadde et mye lavere effekttap enn transistorrøret. Dette medførte visse teknologiske fremskritt, blant annet ved at man nå ble i stand til å lodde langt flere komponenter på et kretskort.[4] Mer forskning og utvikling måtte fortsatt til før transistoren kom til sin fulle rett. I 1955 var kommersielle transistorer av Ge bare å finne i et begrenset utvalg av anvendelser, som i høreapparater og bærbare radioer, og som brytere innen telefoni.[2]

Ge viste seg tidlig å ha en stor, iboende svakhet: Avstanden fra valensbåndet til ledningsbåndet i materialet er bare på 0,67 eV. Etter hvert som temperaturen øker vil derfor elektroner tilføres nok energi til at de klarer å rive seg løs fra atomene de tilhører og hoppe opp i ledningsbåndet. Der drukner de raskt de ladningsbærerne som er tilført halvlederen gjennom doping for å oppnå ønskete elektriske egenskaper. Ytelsen til elektroniske komponenter av Ge blir raskt dårligere når temperaturen stiger. Blir temperaturen høy nok, slutter transistorer av Ge simpelthen å fungere. Avstanden fra valensbåndet til ledningsbåndet i halvlederen Si er på 1,1 eV. Elektroniske komponenter laget av Si tåler dermed høye temperaturer bedre. Si tok blant annet av denne grunn gradvis over som den mest brukte halvlederen. En ekstra bonus med dette materialvalget er at oksidet som naturlig dannes på Si, SiO_2, viser seg å fungere svært godt som en elektrisk isolator. Det tok ikke lang tid før de første transistorene laget av Si ble presentert. Dette skjedde allerede i 1954.[4] I dag er Si den definitivt mest brukte halvlederen i halvlederindustrien.

Integrerte kretser

I begynnelsen var det fortsatt nødvendig å lage de elektriske kontaktene mellom komponentene enkeltvis etter at de var fremstilt, noe som gjorde at fremstilling av store, kompliserte kretser var nokså vanskelig. De store teknologiske og industrielle omveltningene vi ser konsekvensene av i dag startet derfor egentlig ikke med oppfinnelsen av transistoren, men heller med oppfinnelsen av den integrerte kretsen.

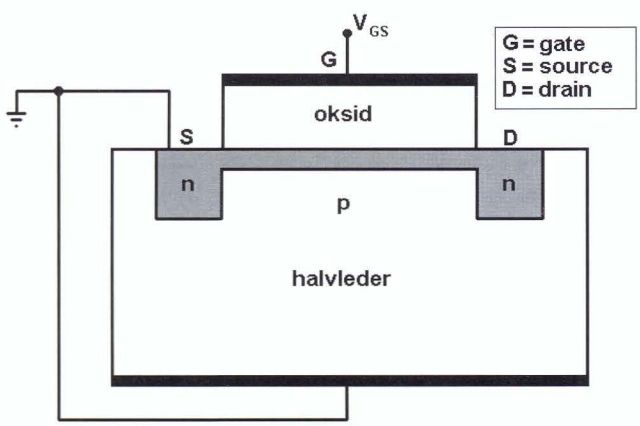
Kilby demonstrerte den første integrerte kretsen allerede i 1958. Kretsen hans bestod av flere elektroniske komponenter laget på en enkelt brikke av Ge. Ge var på den tiden fortsatt et svært viktig materiale i industrien. Metoden Kilby benyttet for å fremstille kretsen gjorde det imidlertid vanskelig å legge ut store mengder ledere, noe som var nødvendig for å kunne lage integrerte kretser med mange komponenter. Etter hvert ble en teknikk for fremstilling av integrerte kretser, kalt planarteknologi, utviklet. I denne teknikken blir de elektroniske komponentene fremstilt lagvis. Man kan for eksempel legge en elektrisk isolator i form av et oksidlag oppå en halvleder, lage hull i oksidet der man ønsker tilgang til halvlederen, og deretter legge på metalliske ledere. Planarteknologien gjorde det mulig å legge lederne mellom de elektroniske komponentene direkte på brikkene av halvledermaterialer.

Planarteknologien tillater en enorm kontroll over strukturene man lager, og er samtidig en relativt fleksibel teknikk. Med oppfinnelsen av denne teknikken ble det plutselig relativt enkelt å definere de integrerte kretsene man måtte ønske.[4] Mens man før hadde måttet lodde iblant mange tusener av komponenter på et plasskrevende kretskort, med de feilene loddeprosessene fort medførte, kunne man nå etter hvert relativt uproblematisk både lage og koble sammen millioner av elektroniske komponenter på en bitte liten brikke. Utviklingen man har

sett siden oppfinnelsen av den integrerte kretsen har vært utrolig: Bare ti år etter oppfinnelsen av den første, primitive integrerte kretsen hadde man allerede kommet så langt at man klarte å integrere alle de nødvendige komponentene for å lage en hel prosessor på én brikke. Den første mikroprosessoren var et faktum. Kilby ble tildelt Nobelprisen i fysikk i 2000 for sin rolle i oppfinnelsen av integrerte kretser.[4,5]

Det finnes en rekke forskjellige måter å fremstille ulike typer transistorer på ved hjelp av planarteknologi. De forskjellige typene transistorer har alle sine styrker og svakheter. En svært vanlig type transistor som brukes mye i digital elektronikk, og hvis virkemåte er enkel å forstå og forklare, er den såkalte MOS-felteffekttransistoren. Forkortelsen MOS står for de engelske ordene for metall, oksid og halvleder.

En skjematisk fremstilling av en såkalt n-kanal MOS-felteffekttransistor er vist i figur 2. Transistoren er laget av en halvleder som først er blitt dopet med atomer med ett valenselektron mindre enn halvlederatomene, og som følgelig er p–type. En ledende kanal og to elektroder lages så ved å dope områder med atomer med ett valenselektron mer enn halvlederatomene. I denne sammenhengen kalles elektrodene ofte for *"source"* og *"drain"* i stedet for emitter og kollektor. På toppen av kanalen er det så lagt på et isolerende oksidlag, og



Figur 2. Figuren viser en skjematisk fremstilling av en såkalt n-kanal MOS-felteffekttransistor. Det grå området er den ledende n–type kanalen, samt elektrodene "source" (S) og "drain" (D). Dersom det ikke er noen spenning mellom gate (G) og (S), vil kanalen lede strøm og transistoren være åpen. Ved å påtrykke en negativ spenning V_{GS} mellom (G) og (S), vil det settes opp et elektrisk felt som vil dytte de frie elektronene vekk fra kanalen slik at den ikke lenger leder. Transistoren er da lukket.

på oksidet en metallelektrode. Elektroden oppå oksidet kalles som vanlig *gate*.

Transistoren kan lages slik at den i utgangspunktet vil være åpen. Ved å sette opp en negativ spenning mellom gate og emitter vil elektronene dyttes vekk fra gate av det resulterende elektriske feltet. Når den negative spenningen blir stor nok, vil hele kanalen tømmes for frie elektroner. Kanalen vil da ikke lenger lede strøm, og transistoren er lukket. Det vil ikke kunne gå strøm mellom elektrodene utenfor kanalen på grunn av deplesjonssonene som settes opp mellom kanalen og elektrodene, som er n–type, og resten av halvlederen, som er p–type.

Som vi ser, er det relativt enkelt å lage en transistor ved hjelp av planarprosessering. Denne måten å lage elektroniske komponenter på har to svært viktige fordeler. For det første kan man lage elektroniske komponenter veldig små. I dag har flere av delene i elektroniske komponenter en utstrekning langt mindre enn 1μm. Man kan dermed på en bitte liten brikke av Si fremstille en mikroprosessor laget av i størrelsesorden en million transistorer, eller en minneenhet med enda flere elektroniske komponenter. For det andre lages alle komponentene på én brikke samtidig, noe som gjør det mulig å lage store mengder av kompliserte integrerte kretser relativt raskt og billig.

En spennende utvikling

Tidlig på 1960-tallet, ikke lenge etter oppfinnelsen av den integrerte kretsen, ble en empirisk lov om utviklingen innen teknologien for produksjon av integrerte kretser, kalt Moores lov, formulert. Moores lov postulerer at ytelsen til en integrert krets, inkludert antallet komponenter på den, dobles omtrent hver 18. måned. Etter nesten 40 år kan man utrolig nok fortsatt observere at teknologien utvikler seg i takt med denne loven.

Det foregår fortsatt en enorm teknologisk utvikling innen dette feltet. I dag bruker man planarteknologi til å fremstille mikrosystemer som består av både mikroskopiske elektroniske kretser og mikroskopiske maskiner. I mikrosystemene kombineres elektroniske og mekaniske, og i blant også optiske, egenskaper på stadig nye og kreative måter. Eksempler på slike mikrosystemer som allerede lages, eller er under utvikling, i Norge, er mekaniske sensorer for utløsning av luftputer i biler, sensorer som kan implanteres i kroppen for medisinske formål, eller bitte små optiske laboratorier, alle laget på én liten brikke.

Norge er med på denne spennende utviklingen, blant annet gjennom forskning og utvikling ved flere av universitetene og forskningsinstituttene, og også i industrien. Det skal bli spennende å følge med på hva som kommer ut av større satsninger som Mikroteknologisenteret og de øvrige programmene innen mikro- og nanoteknologi i årene som kommer.

Referanser

1. E. Braun og S. MacDonald: *Revolution in miniature.* Cambridge University Press (1978)
2. M. Riordan og L. Hoddeson: *The Moses of Silicon Valley.* Physics Today, December 1997, s 4247 (1997)
3. The Nobel Price in Physics 1956: *http://www.nobel.se/physics/laureates/1956/index.html*
4. The Nobel Price in Physics 2000 - Advanced Information, *http://www.nobel.se/physics/laureates/2000/adv.html*
5. E.J. Aas: *Nobelprisen i fysikk.* Fra Fysikkens Verden **62**, s. 103–105 (2000)

∞

Laseren – historikk, prinsipper og bruk

Knut Stenersen *

Det er gått 43 år siden Theodore H. Maiman demonstrerte den første laseren i mai 1960, og lasere er for lengst blitt viktige redskaper som påvirker vår hverdag på mange måter. Ved siden av transistoren er laseren en av de viktigste oppfinnelser fra det forrige århundret. På mange måter kompletterer disse oppfinnelsene hverandre: Mens transistoren har lagt grunnlaget for utviklingen av datamaskiner med ekstremt høy regnekapasitet, har laseren gitt mulighet for svært hurtig dataoverføring via optiske fibrer og enorm lagringskapasitet på CD- og DVD-plater. I tillegg har laseren hatt avgjørende betydning på en rekke områder innen vitenskap og teknologi. Gode oversikter over den historiske utviklingen innen dette feltet er gitt av Bertolotti[1], Bromberg[2] og Townes[3].

Historikk

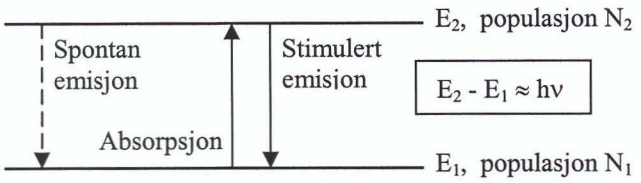
Man kan si at det hele begynte med Einstein, som i 1916 introduserte begrepet *stimulert emisjon* for å kunne forklare den empiriske formen på Plancks strålingslov.

*Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller.

Einsteins tenkning var inspirert av den nye kvanteteorien (Bohrs atomteori), som postulerte at atomer og molekyler bare kunne eksistere i diskrete energitilstander. Han betraktet en samling atomer med to tillatte energitilstander med energier E_1 og E_2 (jf. figur 1), og antok at atomene vekselvirket med stråling med frekvens ν, hvor $E_2 - E_1 \approx h\nu$. Hans postulat var at vekselvirkningen foregikk på tre forskjellige måter: som spontan emisjon, (stimulert) absorpsjon og stimulert emisjon.

Det geniale i Einsteins teori var oppfattelsen av absorpsjon og stimulert emisjon som "likeverdige" prosesser hvis relative styrke var avhengig av populasjonene (antall atomer) i de to tilstandene. Dette gir grunnlaget for det vi i dag kjenner igjen som optisk forsterkning i et lasermedium med populasjonsinversjon, dvs. at populasjonen i E_2 (øvre lasernivå) overstiger populasjonen i E_1. Einstein var imidlertid kun opptatt av systemer i termodynamisk likevekt, som jo utelukker populasjonsinversjon og gjør at absorpsjonen alltid vil dominere over stimulert emisjon.

Gjennom de neste ti-årene var flere forskere inne på teoretiske betraktninger om at systemer ute av termisk likevekt burde kunne oppvise såkalt "negativ" absorpsjon, men fenomenet ble først demonstrert i mai 1954 med oppfinnelsen av *maseren* (Microwave Amplification by Stimulated Emission



Figur 1. Vekselvirkning mellom stråling og atomært 2-nivå-system.

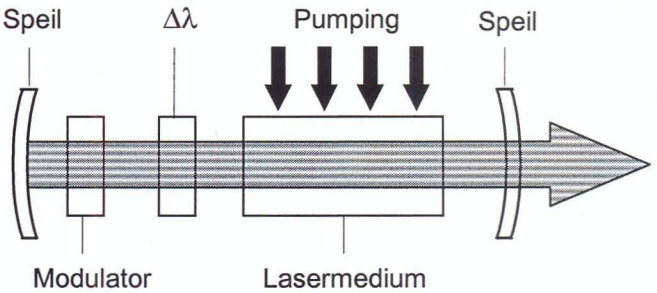
of Radiation) av Gordon, Zeiger og Townes ved Columbia University.[4] Samtidige teoretiske arbeider omkring maseren ble utført av Basov og Prokhorov ved Lebedev-instituttet i Moskva.

Dette ga støtet til intens forskning omkring muligheten for å konstruere det man på denne tiden kalte en optisk maser (senere *laser* – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Problemet var at mens man i maseren benyttet en mikrobølgeresonator med dimensjoner som var tilpasset en bølgelengde på ca. 1 cm, var det vanskelig å tenke seg hvordan man kunne konstruere en tilsvarende resonator for optiske bølgelengder i størrelsesorden 1 μm. Det teoretiske grunnlaget for laseren ble lagt i en berømt artikkel av Schawlow og Townes i 1958,[5] der de foreslo å benytte en Fabry-Perot-resonator bestående av to speil med svært stor avstand i forhold til bølgelengden. Begge var på denne tiden tilknyttet Bell Labs; og som en kuriositet kan det nevnes at advokatene på Bells patentkontor først mente at oppfinnelsen ikke var verdt å patentere fordi *"... optical waves had never been of any importance to communications and hence the invention had little bearing on Bell System interests"*.

Som for maseren, var igjen Basov og Prokhorov viktige aktører i utviklingen av ideer og teori omkring laseren. Det samme gjaldt Gold ved Columbia University, som etter en langvarig patentstrid med Bell fikk godkjent flere patenter relatert til oppfinnelsen av laseren. Townes, Basov og Prokhorov fikk i 1964 Nobelprisen i fysikk for sine bidrag til utviklingen av maseren og laseren. Etter et to-års kappløp om å demonstrere laservirkning eksperimentelt, ble Theodore Maiman ved Hughes Research Laboratories den første til å klare dette, den 15. mai 1960.[6] Laseren var basert på et rubinkrystall som fikk tilført energi ved bestråling med lys fra en blitslampe. Resonatoren ble dannet av speilbelegg av sølv på de polerte endeflatene til krystallet.

Prinsipper og egenskaper

Etter 1960 ble det i løpet av få år demonstrert laservirkning i en lang rekke medier: dopete krystaller (faststofflasere), halvledere, væsker og gasser. Oppbyggingen av ulike lasertyper kan variere enormt, men det grunnleggende prinsippet, vist i figur 2, er felles for de fleste.



Figur 2. Laserens prinsipielle oppbygging.

Hovedelementene er lasermediet og resonatoren, som i det enkleste tilfellet består av to speil, hvor det ene er gjort delvis transparent for å slippe ut laserstrålen. For å oppnå populasjonsinversjon i lasermediet, må det tilføres energi. Dette kalles gjerne for pumping, som kan være pulset eller kontinuerlig. Pumpingen kan foregå på mange måter: ved belysning (som i Maimans rubinlaser), elektrisk utladning (i gasser), elektrisk strøm (halvledere) eller via en kjemisk reaksjon i lasermediet. Pumpingen er en kritisk prosess i en laser, og i mange lasere er det bare en liten del av den tilførte energien som går med til å bringe atomene eller molekylene i lasermediet opp i øvre lasernivå. Virkningsgraden i en av de mest kjente lasertypene, argon-ionelaseren, er f.eks. bare ca. 0,1 %. Mest effektive er enkelte halvlederlasere med virkningsgrader på over 50 %.

I noen lasere benyttes komponenter for å velge ut spesielle bølgelengder eller for å kunne variere bølgelengden ($\Delta\lambda$ i figur 2), og det er også vanlig å benytte ulike typer modulatorer for å modulere strålingen i amplitude eller fase. Med spesielle typer modulasjon kan man selv med kontinuerlig pumping oppnå at laseren genererer ekstremt korte pulser som i romlig utstrekning er mye kortere enn resonatoren, såkalt modelåsning. Dette kan også oppnås ved at laserlyset induserer ikke-lineære effekter i selve lasermediet eller i spesielle materialer plassert i resonatoren. På denne måten har man generert laserpulser med varighet på ned mot noen få femtosekund, fs (1 fs = 10^{-15} s).

Det som i første rekke skiller laseren fra konvensjonelle lyskilder er dens evne til å generere en romlig koherent stråle med betydelig effekt og høy spektral renhet. Den romlige koherensen (flat eller sfærisk bølgefront) gjør at strålens divergens begrenses til den fundamentale grensen gitt av diffraksjon. Dette innebærer at strålediameteren kan forbli liten over svært store avstander, eller at strålen kan fokuseres til en flekk omtrent så liten som bølgelengden til lyset. Den høye spektrale renheten gjør lasere godt egnet til anvendelser innen spektroskopi og fjernmåling. Enkelte lasere kan ha en spektral båndbredde på under 1 Hz. Dette tilsvarer en relativ nøyaktighet på bedre enn 10^{-15}, noe som bl.a. har hatt stor betydning for utviklingen av nye lengde- og frekvensstandarder.

Som nevnt ovenfor, kan lasere generere ekstremt korte pulser. Dette gir mulighet til å studere fysiske fenomener med tilsvarende god tidsoppløsning. Enkelte lasertyper kan skaleres til å produsere middeleffekter på flere MW (laservåpen), mens andre kan gi pulsenergier på over 1 MJ (laserdrevet fusjon).

Det er demonstrert lasere med bølgelengder fra røntgenområdet til det fjerne infrarøde (> 100 μm). Imidlertid er bare et fåtall av disse kildene praktisk brukbare utenfor laboratoriene. For å bøte på dette benyttes ofte ikke-lineære optiske teknikker, f.eks. frekvensdobling og optisk parametrisk forsterkning, for å forskyve bølgelengden for velutviklede lasertyper til bølgelengdeområder som ikke dekkes av praktiske kilder.[7] Blant de viktigste lasertypene står diodelasere i en særstilling, fordi de er svært effektive, kompakte, pålitelige, dekker et stort bølgelengdeområde og kan masseproduseres. Andre viktige lasertyper er diverse faststofflasere (spesielt neodym-lasere med ca. 1 μm bølgelengde), CO_2-lasere (ca. 10 μm), excimer-lasere (0,15–0,35 μm), argon-ionelasere (ca. 0,5 μm) og helium-neonlasere (0,63 μm). En god oversiktsbok over lasertyper og deres egenskaper er skrevet av J. Hecht.[8] Når det gjelder generell laserteori anbefales for eksempel A.E. Siegmans bok Lasers[9].

Anvendelser

Bruken av lasere spenner over et så bredt spektrum at det knapt er mulig å gi et dekkende bilde av dette. I den første tiden etter 1960 fokuserte en hovedsakelig på vitenskapelige og militære aspekter av bruk av lasere, mens de kommersielle anvendelsene nå er kommet til og har overtatt i økende grad de siste ti-årene. Total kommersiell salgsverdi for lasere på verdensbasis var i 2002 ca. 4,3 mrd. dollar, hvorav ca. 2,4 mrd. var for diodelasere.[10] Disse tallene representerer bare verdien av laserne som komponenter. Svært mange lasere inngår imidlertid som nøkkelkomponenter i systemer med langt høyere verdi, og den totale salgsverdien av disse er vanskelig å anslå.

	Diodelasere	Andre lasere
Optisk lagring	32.6	0
Materialprosessering	0.1	29.4
Telekommunikasjon	15.5	0
Medisin	1.0	8.1
Forskning	0	3.3
Annet	6.9	3.1

Tabell 1. Prosentvis fordeling av salgsverdi for kommersielle lasere i 2002, sortert etter anvendelse og fordelt på diodelasere og andre lasertyper.[9]

Tabell 1 viser hvordan salget av kommersielle lasere fordelte seg på ulike anvendelser i 2002. For første gang var det optisk lagring som sto for den største andelen av salget, noe som særlig skyldes en sterk vekst i DVD-markedet. Bruk av lasere til ulike typer materialbearbeiding og -prosessering har hatt en jevn vekst gjennom mange år. Dette omfatter alt fra skjæring, sveising og merking av metaller til bruk av lasere i halvlederproduksjon. Rundt år 2000 var det et enormt oppsving i salg av diodelasere til telekommunikasjonsbransjen, men etter de siste par årenes nedtur i dette markedet ligger salget nå på et unormalt lavt nivå. På fjerde plass ligger salg av lasere til medisinsk utstyr. Dette omfatter utstyr for øyeoperasjoner, andre kirurgiske inngrep, hårfjerning og andre kosmetiske og terapeutiske behandlinger. Blant andre velkjente produkter og anvendelser finner vi laserskrivere, strekkodelesere, lasere til underholdning, instrumentering og måleutstyr (bl.a. innen biomedisin, kjemisk analyse og fjernmåling) og militært utstyr. Blant de mest kjente militære anvendelsene finner vi avstandsmålere benyttet til ildledning og navigasjon, og laserstyrte presisjonsvåpen. I den senere tid er det også utviklet laservåpen som bl.a. er egnet til å ødelegge missiler på store avstander.

Innenfor grunnforskning har bruk av lasere hatt avgjørende betydning på en rekke felter. Dette gjelder bl.a. innen høyoppløsningsspektroskopi, hvor man for første gang klarte å omgå den begren-

sningen som skyldes dopplerforbredning. Schawlow fikk i 1981 nobelprisen for sine banebrytende studier av spekteret til atomært hydrogen. Han var i stand til å oppløse de mange spektralkomponentene som skyldes splittinger av energinivåer pga. Dirac-finstruktur, Lamb-skift og hyperfinstruktur.[11] Dette var en viktig test på riktigheten av grunnleggende atomteori og førte også til en svært nøyaktig bestemmelse av rydbergkonstanten og finstrukturkonstanten. Et viktig bidrag til dette feltet var også utviklingen av lasere som svært nøyaktige sekundære lengde- og frekvensstandarder. Man klarte i begynnelsen av 1970 årene å måle frekvensen til stabiliserte lasere i det optiske området basert på cesium-frekvesstandarden som referanse. Dette førte til at man fikk en optisk lengdereferanse med langt mindre usikkerhet enn den til da gjeldende kryptonstandarden og at man i 1983 valgte å definere lyshastigheten som en fiksert verdi på 299 792 458 m/s.

Et annet viktig bidrag var oppfinnelsen av teknikker hvor laserlys benyttes til nedbremsing og fanging av atomer,[12] som Chu, Cohen-Tannoudji og Phillips fikk nobelprisen for i 1997. Dette muliggjør spektroskopiske studier av enkeltatomer kjølt ned til temperaturer langt under 1 μK, hvor dopplereffekter er minimale. Med slike teknikker har man klart å måle ultrasmale absorpsjonslinjer med en relativ oppløsning på 1 : 10^{15}, og stabilisere lasere på slike resonanser med tilsvarende nøyaktighet. Man ser for seg at man på sikt kan oppnå nøyaktigheter ned mot 1 : 10^{18}, som bl.a. kan muliggjøre observasjoner av sakte drift i verdien til fundamentale fysiske konstanter, som f.eks. finstrukturkonstanten.[13] Et annet spektakulært resultat oppnådd med laserkjølte atomære gasser er dannelsen av et Bose-Einstein-kondensat når den termiske de Broglie-bølgelengden blir sammenlignbar med midlere interatomære avstander.[14] Dette ga nobelprisen til Cornell, Ketterle og Wieman i 2001. Et annet eksempel er direkte observasjon av kvantehopp i laserkjølte atomer og ioner.[15]

Blant de mest spennende forskningsfeltene i dag er bruk av ultrakorte laserpulser med varighet ned mot 1 fs, generert av modelåste lasere. Dette gjør det mulig å observere ekstremt hurtige prosesser i ulike materialer. Nobelprisen i kjemi i 1999 ble tildelt Ahmed Zewail for hans studier av kjemiske reaksjoner mellom atomer og molekyler på fs-tidsskala, såkalt *femtochemistry*. Dette gir mulighet til å forstå bedre hvorfor enkelte kjemiske reaksjoner finner sted og hvordan man kan styre slike reaksjoner, noe som spesielt kan få stor betydning innen biomedisin.

Modelåste lasere er også i ferd med å få stor betydning som frekvensstandarder i det optiske området.[13] Slike lasere gir et svært stabilt tog av ekvidistante pulser i tidsdomenet. I frekvensdomenet representerer dette et sett av ekvidistante frekvenser som dekker en stor del av det optiske spekteret. Ved å låse en av frekvensene til en ultrasmal atomær resonans vil man på sikt kunne få en ny og ekstremt anvendelig primær frekvensstandard til erstatning for cesium-standarden. En slik standard vil representere en slags frekvenslinjal med anslagsvis 10^6 svært nøyaktig bestemte frekvenser.

Korte laserpulser kan også forsterkes opp til ekstremt høye spisseffekter i området 10^{12} – 10^{15} W). Dette gjør det mulig å studere vekselvirkning mellom stråling og materie ved intensiteter over 10^{20} W/cm^2, som gir opphav til en rekke ikke-lineære prosesser, plasmagenerering, og ioner med så høy hastighet at de kan initiere kjernefusjon.[16] Dette er oppnådd med kompakte lasersystemer som får plass på et laboratoriebord, men man har også i flere tiår arbeidet med store installasjoner med sikte på mulig utvikling av en laserdrevet fusjonsreaktor for energiproduksjon.

Den minste pulslengden for laserlys i det optiske området er i dag begrenset av svingeperioden til lysfeltet, ca. 2 fs. For å oppnå kortere pulser er det nødvendig å gå til kortere bølgelengder, og man har nylig demonstrert at korte intense laserpulser, via ikke-lineære prosesser, kan generere koherent langbølget røntgenstråling i pulser med varighet ned mot 0,2 fs. Det ligger her et potensial til å nå enda kortere pulslengder, og det spekuleres på om man med slike pulser i fremtiden vil kunne oppnå et tidsoppløst bilde av elektronenes bevegelse i et atom på tilsvarende måte som man i dag studerer molekylære dynamiske prosesser.

Andre forskningsfelter, som det ikke er plass til å gå nærmere inn på her, er bruk av lasere innen ikke-lineær optikk, kvanteoptikk (squeezed states, quantum information, etc.) og en rekke felter som er nær knyttet til kommersielle bruksområder.

Norske bidrag

I Norge startet Tycho Jæger allerede i 1962 de første studiene av lasere ved Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Han bygget først en rubinlaser med komponenter han fikk fra forbindelser i USA, og knyttet raskt til seg flere studenter som ar-

beidet både med utvikling av lasere og anvendelser av disse. Sentralt blant disse sto Terje Lund og Gunnar Wang, som sammen med Jæger hadde hovedansvaret for utviklingen av den første laser-avstandsmåleren for feltartilleriet. Dette la grunnlaget for den bedriften som i dag heter Simrad Optronics ASA, og som fremdeles har laseravstandsmålere som hovedprodukt. I 1986 etablerte Jæger, sammen med kolleger fra FFI, firmaet Norsk Elektro-Optikk A/S, som bl.a. har utviklet laserbaserte spektroskopiske måleinstrumenter for industrien. FFI har hele tiden etter 1962 hatt et aktivt miljø innen laserkildeutvikling, og i de senere årene også innen ikke-lineær optikk. Miljøet har i senere tid bl.a. gitt vesentlige bidrag til disse fagfeltene gjennom utvikling av avanserte numeriske simuleringsmodeller.

Gjennom årene har også dyktige faggrupper tilknyttet universitetene, Sintef og Telenor FoU gitt viktige bidrag til ulike anvendelser av lasere, f.eks. innen holografi, interferometri, spektroskopi, overflatefysikk, fiberoptisk kommunikasjon, fiberoptiske sensorer og medisin. På den kommersielle siden har Tomra hatt stor suksess med bruk av lasere i panteautomater.

Konklusjon

Laseren har fått større betydning enn noen kunne forestille seg da den ble oppfunnet for over 40 år siden. Historien på dette feltet er et godt eksempel på den kronglete sammenhengen mellom teori, eksperimenter, oppdagelser og kommersielle anvendelser. Det er ikke dristig å spå at det ligger en minst like spennende utvikling foran oss. Ennå ligger det store muligheter i videre rendyrking av laserens ekstreme egenskaper (korte pulser, høye spisseffekter, høye pulsenergier, etc.) og utnyttelse av disse egenskapene på de feltene som er diskutert ovenfor. Ikke minst blir det spennende å følge utviklingen av lasere i røtgenområdet, som gir muligheter for generering av enda kortere pulser og studier av fysiske og kjemiske prosesser på en kortere tidsskala.

På den kommersielle siden er man i ferd med å utvikle holografiske DVD-plater med lagringskapasitet i terabyte-området (10^{12} byte) og langt høyere skrive- og lesehastighet enn for dagens DVD-er. På det militære feltet er bildene fra *science fiction*-litteraturen om bruk av lasere som våpen, i ferd med å bli virkelighet. Det mest spenstige prosjektet som vurderes er utplassering av et nett av satellitter med laservåpen i verdensrommet, som skal kunne ødelegge ballistiske missiler skutt ut fra et hvilket som helst sted på jordoverflaten. Et slikt system vil kunne bidra til å skape økt global sikkerhet mot trusselen fra masseødeleggelsesvåpen.

Referanser

1. M. Bertolotti: *Masers and Lasers – An Historical Approach.* Adam Hilger Ltd, Bristol (1983)
2. J.L. Bromberg: *The Laser in America, 1950–1970.* The MIT Press, Cambridge (1991)
3. C.H. Townes: *How the Laser Happened.* Oxford University Press, Oxford (1999)
4. J.P. Gordon, H.J. Zeiger and C.H. Townes: *Molecular Microwave Oscillator and New Hyperfine Structure in the Microwave Spectrum of NH_3.* Phys. Rev. **95,** 282 (1954)
5. A.L. Schawlow and C.H. Townes: *Infrared and Optical Masers.* Phys. Rev. **112,** 1940 (1958)
6. T.H. Maiman: *Stimulated Optical Radiation in Ruby.* Nature **187,** 493 (1960)
7. M.H. Dunn and M. Ebrahimzadeh: *Parametric Generation of Tunable Light from Continuous-Wave to Femtosecond Pulses.* Science **286,** 1513 (1999)
8. Jeff Hecht: *The Laser Guidebook, 2nd ed.* McGraw-Hill, New York (1992)
9. Anthony E. Siegman: *Lasers,* University Science Books, Mill Valley (1986)
10. Laser Focus World **39,** Nr 1 og 2 (2003)
11. T.W. Hänsch, A.L. Schawlow and G.W. Series: *The Spectrum of Atomic Hydrogen.* Scientific American **240,** 72 (1979)
12. W.D. Phillips: *Laser Cooling and Trapping of Neutral Atoms.* Rev. Mod. Phys. **70,** 707 (1998)
13. T. Udem, R. Holtzwarth and T.W. Hänsch: *Optical Frequency Metrology.* Nature **416,** 233 (2002)
14. W. Ketterle: *Experimental Studies of Bose-Einstein Condensation.* Physics Today **52,** No. 12, p. 30 (1999)
15. W. Nagorney, J. Sandberg and H. Dehmelt: *Shelved Optical Electron Amplifier: Observation of Quantum Jumps.* Phys. Rev. Lett. **56,** 2797 (1986)
16. T. Ditmire: *Laser Fusion on a Tabletop.* Optics and Photonics News **13,** No. 5, p. 28 (2002)

∞

Utviklingen i partikkelfysikk de siste 50 år

Lars Bugge *

I løpet av det siste halve århundret har det nærmest skjedd en revolusjon i partikkelfysikken, og dermed i vårt verdensbilde. Dette er ikke blitt mindre interesssant etter at man er kommet langt i å beskrive det tidlige univers, der man i en viss forstand kan si at fysikken umiddelbart etter Big Bang *var* partikkelfysikk.

Siden midt i forrige århundre har partikkelfysikken gjennomgått en rivende utvikling. Et stort antall nye partikler ble oppdaget i første del av denne perioden, men det viktige var at det ble funnet et system for å gruppere og klassifisere den store mengden av partikler. Med et meget begrenset antall grunnleggende byggestener kunne alle observerte partikler forstås. Og parallelt med utviklingen av forståelsen av partiklene og deres byggestener, ble det utviklet matematiske beskrivelser av kreftene som virker mellom disse byggestenene. Disse teoriene, som beskriver elektromagnetiske krefter såvel som sterke og svake kjernekrefter, har grunnleggende fellestrekk og beskriver observasjonene gjort i partiklenes verden med imponerende presisjon.

Fra observasjoner av et nærmest forvirrende høyt antall partikler og partikkelreaksjoner, er vi altså kommet til en situasjon med et meget begrenset antall byggestener (kvarker) og leptoner (partikler av samme type som elektronet og elektron-nøytrinoet), og godt forståtte matematiske beskrivelser av vekselvirkningene mellom disse grunnleggende partiklene.

Nye partikler – nye teorier

Det er vanskelig å omgå den nærmest revolusjonsaktige utviklingen som skjedde i førti-årene ved utviklingen av *kvante-elektrodynamikken*. Særlig bør nobelprisvinnerne i fysikk i 1965, R.P. Feynman, J. Schwinger og S.I. Tomonaga, fremheves for arbeider de gjorde i denne perioden. Basert på kvantemekanikken og et bilde der elektromagnetiske vekselvirkninger mellom elektrisk ladde partikler formidles ved fotonutbytte mellom de ladde partiklene, formulertes en kvantefeltteori, QED (*Quantum Electro Dynamics*). Med denne teorien, som også er det første eksemplet på en *justérteori* (eng. *Gauge Theory*), kunne elektromagnetiske partikkelvekselvirkninger beregnes med svært høy presisjon.

Den japanske fysikeren H. Yukawa (nobelprisen 1949) prøvde å lage en liknende teori for de sterke kjernekreftene mellom protoner og nøytroner i atomkjernene. Han innså at det er en sammenheng mellom den utbyttede partikkelens masse og kraftens rekkevidde; og for å kunne forklare kjernekreftenes korte rekkevidde, postulerte han eksistensen av en partikkel med heltallig spinn og masse omtrent 200 ganger større enn elektronmassen.

Myonet

Umiddelbart etter at Yukawa hadde postulert sin partikkel, ble det satt i gang søk etter en slik. C. Anderson og S. Neddermeyer fant i 1937 ved hjelp av tåkekammer, en partikkel i kosmisk stråling med masse som ikke var så langt unna Yukawas forutsigelse. Umiddelbart trodde man at det var Yukawas partikkel, i dag kalt *π-mesonet*, som var observert, men etter kort tid innså man at den nye partikkelens egenskaper ikke var i overensstemmelse med det man måtte vente for Yukawas partikkel, men tvert imot hadde alle egenskaper til en tyngre variant av elektronet. Vi kaller denne partikkelen *myonet*. En slik partikkel var verken ventet eller forutsagt, og den teoretiske fysikeren Rabi kom med det etter hvert så berømte utsagnet: *"Who ordered that?"*

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Yukawas π-meson ble imidlertid observert omtrent ti år senere. Til tross for det, ansees ikke Yukawas teori som en fundamental teori for partikkelvekselvirkning, men mer som en effektiv beskrivelse av sammensatte partiklers vekselvirkning.

I løpet av femtitallet lærte man å kjenne både nukleonresonanser (for eksempel Δ-familien Δ^{++}, Δ^{+}, Δ^{0} og Δ^{-}), og "særpartikler", både mesoner (heltallig spinn) og baryoner (halvtallig spinn) med "særtall" forskjellig fra null. Slike partikler var særpregede fordi de, produsert i sterke vekselvirkninger (som *bevarer* særtall), ble produsert i par ("assosiert produksjon") slik at netto særtall var null. For å kunne henfalle til lettere partikler, uten særtall, måtte de henfalle ved hjelp av den særtallsbrytende *svake* kraften og hadde derfor relativt lang levetid.

En detaljert fremstilling av fremgangen i elementærpartikkelfysikken i disse årene er gitt i referanse [1].

CERN

På 50-tallet ble den internasjonale samarbeidsorganisasjonen for forskning i partikkelfysikk, CERN[2], grunnlagt.

Da CERNs store proton-synkrotron, CERN PS, kom i drift i slutten av 1959, startet en rik periode i europeisk partikkelfysikk. Det er interesssant å legge merke til at nordmennene Rolf Widerøe, Odd Dahl og Kjell Johnsen, spilte sentrale roller da denne maskinens layout ble bestemt og maskinen ble bygget.[3]

Sterkt vekselvirkende partikler og kvarker

På sekstitallet ble en rekke partikler, med varierende masser, elektrisk ladning og kvantemekanisk spinn, påvist. Ett spørsmål ble stadig mer påtrengende: Kunne virkelig alle disse partiklene være *fundamentale*? Svaret kom i 1964 – samtidig – fra fysikerne G. Zweig og M. Gell-Mann. De foreslo at de sterkt vekselvirkende partiklene var bygget opp av et lite antall fundamentale byggestener. Gell-Mann kalte disse byggestenene for *kvarker* (brukt i "Finnegan's Wake" av James Joyce), mens Zweig foreslo "aces" (ess i kortspill). Navnet kvarker vant frem – som forfatterne av referanse [1] uttrykker det: "*In the choice of a name, quarks won over aces, poetry over poker*". Gell-Mann mottok nobelprisen i fysikk i 1969.

Til å begynne med trengtes tre slike kvarker, som vi nå kaller u, d og s -kvarkene. I dag er vi overbevist om at kvarkene eksisterer som fysiske objekter, men det er interesssant at Gell-Mann selv i 1964 ikke var overbevist om dette; *"Such particles presumeably are not real but we may use them in our field theory anyway"*.[4] Noen få år senere uttalte han imidlertid: *"Now, what is going on? What are these quarks? It is possible that real quarks exist, but if so, they have a high threshold for copious production; many BeV..."*.[5]

Det neste store gjennombruddet på kvarksektoren kom ved "november-revolusjonen" i 1974, da en helt ny serie med tunge partikler ble oppdaget. Dette ledet til mange spekulasjoner og debatter, men ganske snart ble det stort sett enighet om at disse partiklene inneholder en ny kvark, sjarmkvarken (eng. charm), c. For noen var imidlertid dette som ventet! For å forklare at det myoniske forgreningsforholdet til K^0-mesonet, $\mathrm{Br}(K^0 \to \mu^+\mu^-)$ var så lite som det eksperimentelt viste seg å være, foreslo S.L. Glashow, J. Iliopoulus og L. Maiani i 1970 at det måtte finnes en kvark av opp-typen (med elektrisk ladning $+\frac{2}{3}$), og diagrammer for $K^0 \to \mu^+\mu^-$ der henholdsvis en u-kvark og den foreslåtte nye kvarken deltar på en slik måte at deres bidrag til prosessen opphever hverandre (på massedforskjeller mellom kvarkene nær). Denne såkalte GIM-mekanismen foreslo altså eksistensen av den nye kvarken omtrent fire år før den ble eksperimentelt påvist!

Senere på 70-tallet ble nok en serie partikler oppdaget, enda mye tyngre enn sjarm-partiklene. Igjen var det bare én forklaring som ble stående: Partiklene inneholder en ny type kvark, kalt b for bunn (eng. bottom, kalles også beauty). Ettersom man nå kjente til tre ladde partikler av elektrontypen, *leptoner*, og hadde gode grunner til å tro at hvert ladd lepton hadde et assosiert nøytralt lepton, *nøytrino*, ventet man å finne en sjette kvark, som man døpte topp-kvarken, t. Da kunne de grunnleggende materiepartriklene arrangeres i tre familier med ett par leptoner og ett par kvarker i hver generasjon. Men det skulle gå mange år før toppkvarken ble oppdaget. Dette skjedde ved Fermilab, USA, midt på nittitallet.[6] Toppkvarken er bemerkelsesverdig fordi den er så tung, dens masse er omtrent 175 GeV, altså nesten 200 ganger tyngre enn protonet!

Flere leptoner

I en serie eksperimenter gjort mellom 1974 og 1977 ved SLAC i USA, oppdaget M.L. Perl og sam-

arbeidspartnere et tredje ladd lepton, som kalles tau-leptonet, τ. Perl fikk en del av nobelprisen i fysikk i 1995 for denne oppdagelsen (han delte prisen med F. Reines).

Så tidlig som i 1930 foreslo W. Pauli at det måtte finnes en nøytral, lett partikkel som skulle opptre sammen med elektronet i for eksempel β-henfall av atomkjerner for å redde energibevaring.[7,8] Det skulle gå omtrent 25 år før denne forutsigelsen ble eksperimentelt bekreftet av C. Cowan og F. Reines.[8] Reines delte nobelprisen for 1995 for denne viktige oppdagelsen, mens Cowan i mellomtiden hadde avgått ved døden... Ved oppdagelsen eksperimenterte de like i nærheten av en fisjonsreaktor, og benyttet at henfallskjedene som er involvert i fisjonsproduktenes henfall inneholder utsendelse av antinøytrinoer. Antinøytrinoene detekterte de ved "omvendt beta-henfall" ($p + \overline{\nu_e} \rightarrow n + e^+$), og positronet annihilerte raskt mot et atomært elektron i prosessen $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$. I tillegg resulterte innfangning av nøytronet i utsendelse av flere fotoner.

Også myonet har et assosiert nøytrino, og i 1962 viste J. Steinberger og medarbeidere at nøytrinoet assosiert med myonet *er forskjellig fra* nøytrinoet assosiert med elektronet.[7,8] Dette myon-assosierte nøytrinoet kaller vi ν_μ. For dette arbeidet mottok L. M. Lederman, M. Schwartz og Steinberger nobelprisen i fysikk for 1988. I et foredrag senere samme år sa Steinberger: *Do your experiments while you are young... then you just have to live long enough!* Dette fikk jo en tragisk relevans da Reines fikk nobelprisen i 1995, mens Cowan "did not live long enough"...

Hva så med τ-leptonet – har det også et eget nøytrino assosiert til seg? Det første, bekreftende, svaret på dette kom ved CERNs LEP (Large Electron Positron collider) omkring 1990, der det ble vist at det finnes tre, og bare tre, forskjellige, lette nøytrinoer.[9] (For en gjennomgang av noen av de viktigste resultatene fra LEP, se [10].) En direkte påvisning av at dette tredje nøytrinoet alltid produserer tau-leptoner, og ikke elektroner eller myoner, når det faller inn på materie, ble publisert av DONUT-eksperimentet i 2000.[11]

Solare nøytrinoer

Et nytt, stort fremskrittt er gjort i nøytrinofysikken i det aller siste, idet "det solare nøytrinoproblemet" endelig synes å ha funnet sin løsning. Det solare nøytrinoproblemet går i korthet ut på at man ser vesentlig færre elektron-nøytrinoer komme fra sola enn detaljerte solmodeller forutsier. Ved SNO (Sudbury Neutrio Observatory i Canada),[12] har de nylig påvist at den totale nøytrinofluksen fra sola summert over alle tre nøytrinotyper, stemmer bra med solmodellenes beregning av elektron-nøytrinoutsendelse. Dette gir en kraftig støtte til ideen om *nøytrino-oscillasjoner*, som igjen forutsetter at nøytrinoene ikke er masseløse.[13] Man tenker seg da at den manglende andelen av elektron-nøytrinoer har oscillert over til myon- og tau-nøytrinoer på vei fra sola til jorda.

Også Superkamiokande-detektoren i Japan har rapportert om oscillasjoner. Deres resultater tyder på at en del av myon-nøytrinoene produsert i atmosfæren av innfallende kosmisk stråling, oscillerer over til tau-nøytrinoer (eller mer eksotiske såkalte sterile nøytrinoer) på sin vei til detektoren.[14] Dette er igjen en støtte til hypotesen om at nøytrinoene ikke er fullstendig masseløse.

Brutte symmetrier

I 1957 viste C.S. Wu og medarbeidere i det berømte Cobolt-60-eksperimentet, at pariteten, speilingssymmetrien, ikke er bevart. Dette var alt foreslått av nobelprisvinnerne (1957) T.D. Lee og C.N. Yang på basis av det såkalte "θ-τ-puzzle" som de interpreterte slik at *samme* ladde partikkel kunne henfalle både til to og tre π-mesoner, hvilket forutsatte brudd på paritets-symmetrien. Naturen gjør forskjell på høyre og venstre!

Man tenkte da at hvis man i tillegg til å bytte om høyre og venstre også gjorde partikkel til antipartikkel, da måtte vel symmetrien (som kalles CP, ladningskonjugasjon og speilingssymmetri) være respektert. Men nei, i 1964 viste J. Christenson, J. Cronin, V. Fitch og R. Turlay at også CP-symmetrien er brutt (oppdaget i henfall av nøytrale K-mesoner). Dette er meget interessant, fordi en eller annen CP-brytende mekanisme er nødvendig for at et univers som startet i et "Big Bang" skal kunne ende opp med bare materie (ikke antimaterie), slik det ser ut til at vårt univers er.[15] Imidlertid må det legges til at Standardmodellens CP-brudd alene ikke synes å være tilstrekkelig til at vårt rene materieunivers kan forklares. Mens vi venter på den endelige forklaringen på universets materie-antimaterie-asymmetri, er nå CP-brudd observert også i B-systemet.[16] Fysikere ved universitetet i Bergen deltar i BABAR-eksperimentet.

Nye kraftformidlere

I kvantekromodynamikken, QCD, beskrives den sterke vekselvirkningen mellom kvarker ved utbytte av feltkvantet *gluonet*, "limpartikkelen". Det finnes åtte gluoner, som skiller seg fra fotonet blant annet ved at de selv bærer Farge, i motsetning til fotonet i QED, som er elektrisk nøytralt. Den norske fysikeren Bjørn Wiik (dessverre død i en tragisk ulykke i 1999) spilte en sentral rolle i de eksperimentene ved PETRA-akseleratoren ved DESY (forskningssenter i Hamburg) som ledet til eksperimentell påvisning av gluonet omkring 1979.

Gjennom 60- og 70-tallet bidro flere fysikere til utviklingen av en forent justérteori for elektromagnetismen og de svake kreftene. Mens elektriske krefter formidles av fotonet, konkluderte den nye teorien med at svake krefter formidles av tre tunge spinn-1-partikler: W^+, W^- og Z^0. S. Glashow, S. Weinberg og A. Salam fikk nobelprisen i fysikk i 1979 for sine viktige bidrag til denne teorien. Allerede tidlig på 1980-tallet ble W- og Z-partiklene påvist ved CERN. Nobelprisen i fysikk for 1984 gikk til C. Rubbia og S. van der Meer for denne oppdagelsen.

Partikkelfysikken ved tusenårsskiftet

Standardmodellen for elementærpartikkelfysikk (SM) bygger på en forent justérteori for de elektromagnetiske og svake kreftene som for eksempel nøytrinoene vekselvirker med. Vi kaller teorien *elektrosvak teori*, og kvantefeltteorien for kvarkenes sterke vekselvirkning, *kvantekromodynamikk* eller QCD. Dette er også en justérteori med mange fellestrekk med den elektrosvake teorien. Men teorien er mer komplisert fordi det er flere frihetsgrader involvert (tre farge-"ladninger"). Vi uttrykker SM som QCD×Svak×QED, eller mer matematisk som $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$. Standardmodellen virker godt i den forstand at alle dens forutsigelser som kan testes, stemmer bra med eksperiment. Men SM har også mange svakheter, og det er ventet at man kan finne frem til en mer grunnleggende teori som inneholder SM som en lavenergetisk approksimativ teori. Blant noen av de ubesvarte spørsmålene kan nevnes:

- Hva gir den intime sammenhengen mellom kvarkers og leptoners elektriske ladninger?
- Hvorfor har partiklene akkurat de massene vi observerer? (Den såkalte Higgs-mekanismen gir oss en måte partiklene kan gis masse på uten at teorienes grunnleggende symmetrier brytes, men forteller oss ikke *hvilke* masser partiklene har.)
- Ytterligere svakheter ved SM er at den har flere frie parametre som bare kan bestemmes eksperimentelt, og at den ikke innbefatter gravitasjon.
- Hva er det som utgjør universets mørke materie?[17,18]

Som man vil forstå, er det fortsatt mange uløste problemer i partikkelfysikken, og det trengs klare eksperimentelle veivisere for å vise i hvilken retning teoriene må utvikles. Derfor ser mange frem til oppstart av CERNs *Large Hadron Collider* (LHC) omkring år 2007!

Referanser

1. V.L. Fitch and J. Rosner: *Elementary Particle Physics in the Second Half of the Twentieth Century.* Twentieth Century Physics, Vol II, kap. 9 (red. L.M. Brown, A. Pais og Sir B. Pippard), Inst. Phys. Publ., Bristol og Philadelphia, og Am. Inst. Phys. Press, New York (1995)
2. Internett: *http://public.web.cern.ch/public/*
3. E.J.N. Wilson: *Fifty Years of Synchrotrons. http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/e96/PAPERS/ORALS/FRX04A.PDF*
4. M. Gell-Mann: Physics **1**, 63 (1964)
5. M. Gell-Mann: Proc. XIIIth Int. Conf. on High Energy Physics, Berkely, California (1967)
6. *http://www.fnal.gov/pub/inquiring/physics/discoveries/top_quark.html*
7. L. Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del 1.* Fra Fysikkens Verden **58**, nr. 2, 43 (1996)
8. L. Bugge og Ø. Grøn: *Nøytrinofysikk,* Naturen **124**, nr. 3, 128 (2000)
9. L. Bugge og A.L. Read: *Luminositetsbestemmelsen i DELPHI-eksperimentet ved LEP-akseleratoren.* Fra Fysikkens Verden **59**, nr. 2, 31 (1997)
10. L. Bugge og A.L. Read: *10 år med LEP.* Årsrapport 2000, Fysisk inst., Universitetet i Oslo
11. L. Bugge og F. Ould-Saada: *Tau-nøytrinoet,* Fra Fysikkens Verden **63**, nr. 1, 5 (2001)
12. *http://www.sno.phy.queensu.ca/*
13. P. Osland og G. Vigdel: *Har nøytrinoene likevel masse?* Fra Fysikkens Verden **60**, nr. 4, 99 (1998)
14. *http://www.phys.washington.edu/~superk/sk_release.html*

15. F. Ould-Saada: *Symmetrier i partikkelfysikk.* Kunnskapsforlagets årbok 2001, (red. I.S. Kristiansen), ISBN 82-573-1251-7, s 40 (2001)
16. BABAR-eksperimentet, *http://www-public.slac.stanford.edu/babar/*
17. S.O. Sørensen: *Mørk materie,* Fra Fysikkens Verden **52**, 57–67 (1990)
18. Ø. Grøn og S.O. Sørensen: *Mørk materie i universet.* Symmetri **3**, nr. 1 (1996)

∞

Fysikkens fremtid?

G.T. Einevoll[1], *P.B. Lilje*[2] *og C.A. Lütken*[3*]

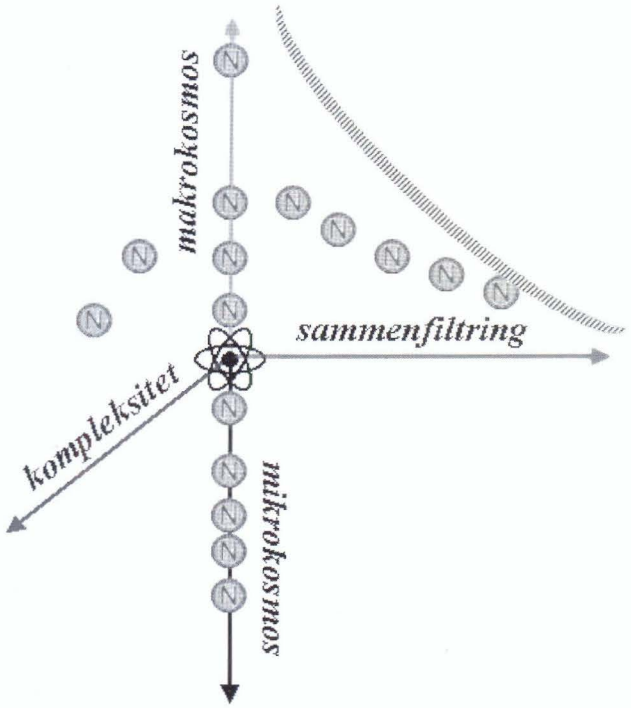
Fremtidens historikere vil trolig fremheve oppdagelsen av de grunnleggende naturlover som vår tids største kulturelle begivenhet. Men dette betyr ikke at fysikkens gullalder er over. Nye uoppdagede lover venter i alle hjørner av naturen, og fysikkens begreper og metoder sprer seg i dag utover hele vitenskapen.

Analyse

For hundre år siden visste vi ikke hva himmelen var. For hundre år siden visste vi ikke hva atomer var – vi visste ikke en gang om de eksisterte. Og for hundre år siden visste vi slett ikke hva liv var.

Det tok hundre år å plukke verden fra hverandre for å finne ut hva den 'er laget av'. Det overraskende er ikke hvor vanskelig det var, men hvor lett det var. Det tok bare hundre år!

Naturvitenskapens 'analytiske' fase er selvfølge lig ikke over: Vi kommer til å fortsette innover og utover i 'løken' av strukturer, og også i overskuelig fremtid vil det være uimotståelig spennende å utforske nye lag. Men før eller siden vil vi ikke ha råd til å fortsette reisen innover i mikro- og utover i makrokosmos, og den 'analytiske' fasen vil ebbe ut. Det kan til og med tenkes at dette vil skje før Norsk Fysisk Selskap fyller 100 år, i 2053. Er det da slutt på fysikken?



Figur 1. Heuristisk diagram av fysikkens 'handlingsrom', utspent av 'skala'- og 'struktur'- dimensjonene.

Antagelig har vi allerede oppdaget de fleste mikroskopiske 'naturlover' som gjør at verden har de egenskaper vi kan utforske eksperimentelt. Hva skal vi da med fysikere?

Heldigvis kan ting være 'mer' enn bare summen av sine enkelte bestanddeler. Selv de kjedeligste byggestener kan fremvise forbløffende kollektiv makroskopisk oppførsel. Det venter nye 'naturlover' i alle hjørner av naturen. Denne 'kompleksitetsdimensjonen' av fysikken er vi bare så vidt kommet i gang med å utforske.

I kvantemekanikken kan det også være omvendt: Helheten kan være 'mindre' enn summen av sine

[1] Norges landbrukshøgskole, Ås,
[2] Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo,
[3] Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
*For Joy.

bestanddeler. En kvantemekanisk grunntilstand kan glemme sin opprinnelse og fremstå som noe meget enklere og fullstendig annerledes enn sine byggestener, som sies å være 'sammenfiltret'. Denne genuint kvantemekaniske dimensjonen av fysikken er vi bare såvidt kommet i gang med å utforske.

La oss kalle disse nye kollektive fenomenene 'syntetiske', enten de er klassiske eller kvantemekaniske. Vi har nå begynt å sette byggeklossene sammen igjen på nye måter, og vi vil kunne skape myriader av nye systemer som naturen selv aldri har frembragt. Vi kan syntetisere nye 'designer–univers' med egenskaper som vi selv kan velge. I motsetning til fysikkens 'analytiske' fase som nødvendigvis vil ta slutt når alle relevante bestanddeler er plukket frem, er den syntetiske fasen verken begrenset av ressursmangler eller av nye skalpeller. I prinsippet er kombinatorikken endelig, men for alle praktiske formål har den ikke noen begrensning i det hele tatt når vi har 10^{23} (Avogadros tall) byggeklosser. Så hvis vi skal driste oss til en forutsigelse om fysikkens fremtid, og det skal vi jo for at dette skal bli underholdende, så er den at mens fysikkens første årtusen eller tre var analytiske – så blir de neste syntetiske og kun begrenset av manglende fantasi!

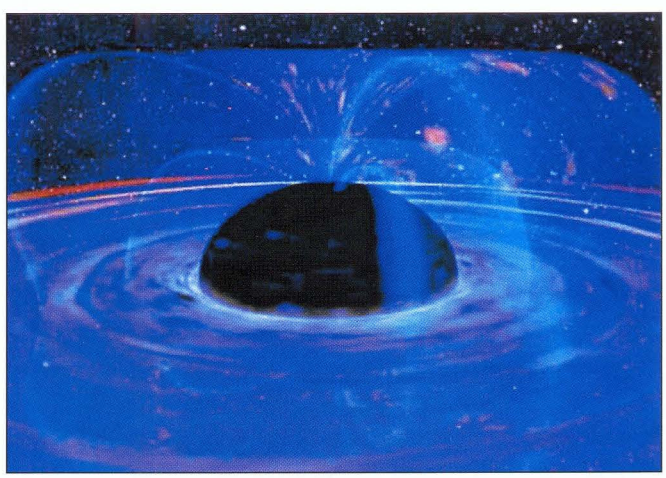
Et forsøk på en grafisk representasjon av disse 'analytiske' og 'syntetiske' dimensjonene av naturvitenskapen er vist i figur 1. Den akselererende teknologiske utvikling driver forsknings–'fronten' foran seg og etterlater nobelpriser i sitt kjølvann. Opp mot årtusenskiftet har vi sett at stadig flere nobelpriser er blitt gitt for oppdagelser utenfor den rent reduksjonistiske dimensjonen, som f.eks. kvantekondensater (superledere, kvante–Hall–effekter, Bose–Einstein–kondensater), informasjons–teknologi, astrofysikk og komplekse systemer.

De begrepsrammene vi her opererer med er så romslige at det meste får plass. De burde derfor ikke være særlig kontroversielle. La oss være litt mer provoserende ved å forsøke å konkretisere bildet. Men dette blir nesten per definisjon en slags statusrapport, i beste fall en lineær ekstrapolasjon av dagens idé–verden, en oppramsing av forutsigbare applikasjoner – et bokholderi av 'teknologipotensialet'. Dette er det minst opphissende ved fysikk, men det er alt vi kan gjøre.

Naturen vil utvilsomt fortsette å overrumple oss med fenomener som vil kreve helt nye idéer. Det er i disse overraskelsene fysikkens virkelige verdi og fremtid ligger. Det er ingen som kan spå hvilket spor fysikken vil følge, men dersom vi ikke hopper av grunnforskningstoget vil reisen utvilsomt bli spennende, meget mer spennende enn våre fantasiløse ekstrapolasjoner.

Mikrokosmos

Mikrofysikken er ikke ferdig i overskuelig fremtid, selv om 'eksperimentene' blir så dyre at kun naturen har råd til å utføre dem. Vi vet at verden styres av tre fundamentale krefter ned til de minste bestanddeler og de største avstander vi kan utforske eksperimentelt, men vi vet også at disse teoriene har sin begrensning. Kvanteprosesser ved meget korte avstander, eller i meget sterke gravitasjonsfelt, lar seg ikke håndtere med vanlig teori. Det som for oss fortoner seg som ekstreme situasjoner krever en ny 'kvantegeometri'. Spesielt interessante eksempler er Big Bang (Skapelsen), og litt mer jordnært, det enorme sorte hullet i sentrum av Melkeveien som sluker stjerner og kanskje til slutt vil sluke hele galaksen (Purgatorium). Kan hende er universet pepret med sorte hull som i følge klassisk teori ikke kan eksistere da de er ufysiske 'flenger' ('singulariteter') i tidrommet?



Figur 2. Det er funnet mange sannsynlige sorte hull i universet, også i vår galakse. Kan hende er det myriader av dem som må 'helbredes' med kvantegeometri? (bilde fra www.nasa.gov)

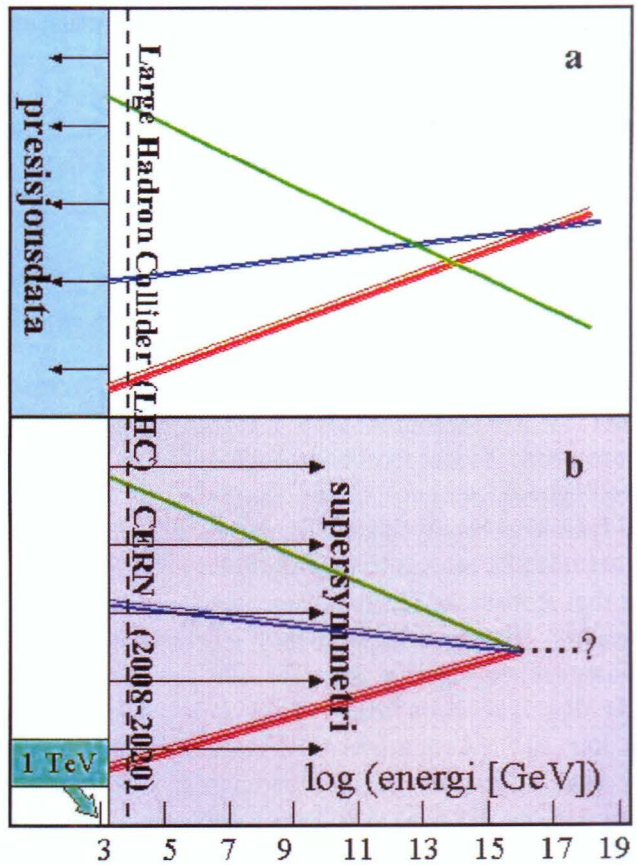
I følge relativitetsteorien er normale tidrom glatte, krumme og elastiske: geometrien er 'Riemannsk'. I to dimensjoner kan vi tenke oss gummiflak med tunge stjerner oppå som lager dype groper og tvinger satellitter innover. Sorte hull er så tunge og 'spisse' at de lager 'rifter' i rommet – og hele bildet 'revner'. Dette er utålelig, så de sorte hul-

lene må være kikkhull inn til en ny fysikk – en kvantegeometri som 'lapper sammen' slike skader på Riemannrommet, og derfor sprenger grensene for Einsteins forestillinger. Målet med strengteori er å kurere disse problemene med den hundre år gamle gravitasjonsteorien. Det har langt på vei lykkes. I tillegg viser det seg at strengteori også – ikke helt tilfeldig må vi tro – kan kaste nytt lys over de andre kreftene, såkalt Yang-Mills-teori som også er ren geometri – det som i matematikk kalles vektorbunter og knipper.

Pr. i dag har vi dessverre ingen direkte bekreftelse av kvantegeometrien, men vi har et forbløffende faktum fra partikkelfysikken som peker i riktig retning. Styrken på de elektrosvake og sterke kreftene som virker mellom kvarker og elektroner, er bestemt av koblingskonstantene, som i en kvanteteori slett ikke er konstanter: de er konstante i tid (så vidt vi vet), men de avhenger av energien til partiklene som 'kolliderer' (vekselvirker) – de 'løper'. Fra pre–LEP–eksperimentene så det ut til at koblingene i Standardmodellen faktisk løper sammen (blir like sterke) ved en meget høy energi, unifiseringsenergien (ca. 10^{16} GeV), som ikke er så langt unna det teoretiske Nirvana, Planck energien (ca. 10^{19} GeV) hvor gravitasjonen er like sterk som kjernekreftene. Post–LEP vet vi at dette ikke er tilfellet (se figur 3a). Men hvis verden er supersymmetrisk, med tilhørende justeringer av Standardmodellen ved høye energier, klaffer det likevel (se figur 3b)!

Supersymmetri kan være innen eksperimentell rekkevidde på LHC, monstermaskinen som nå bygges på CERN. Dette er en symmetri som unifiserer materie og krefter, en syntese av kantianske kategorier som vil rangere som en av de største oppdagelser noensinne i fysikk. Og så er poenget at 'klumper' (f.eks. 'strenger') slett ikke liker å la seg kvantisere, med mindre verden er supersymmetrisk ved tilstrekkelig høye energier.

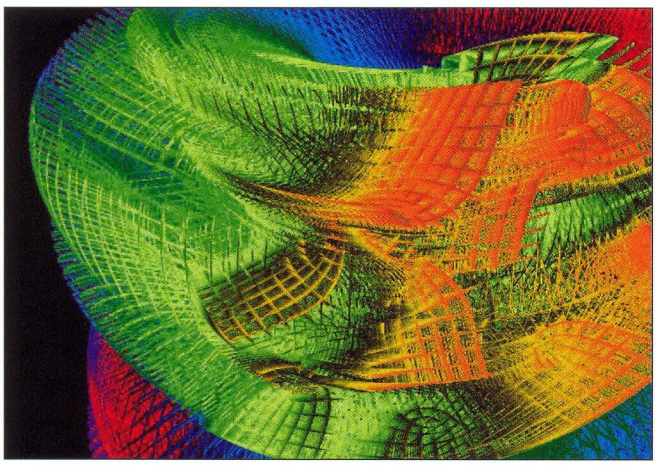
I mikrofysikken er det bygget inn en 'syntetisering' som har vært retningsgivende i mange år. Supersymmetri er den mest spektakulære versjonen av dette programmet som startet med Maxwells unifisering av elektrisitet og magnetisme, men det er ikke den eneste. 'Grand Unified Theories (GUTs)' finnes i mange varianter, men alle har til felles at det finnes en stor energiskala som signaliserer mye ny fysikk utover Standardmodellen, i tillegg til Higgs–sektoren som LHC vil oppdage og utforske de neste femten årene.



Figur 3. Finnes det en urkraft? a) Ikke hvis vi bare har de standardpartiklene som er funnet hittil. b) Sannsynligvis hvis de alle har superpartnere. I strengteori unifiseres også gravitasjon med de andre kreftene.

Vi har nylig fått indikasjoner på at slike overraskelser ligger på lur. Nøytrinoeksperimenter over hele verden viser at nøytrinoene har meget små men endelige masser, og at to av dem er meget sterkt sammenfiltret. Dette er fotavtrykket av ny og uventet fysikk utover Standardmodellen. Det blir en spennende oppgave å følge disse sporene opp til unifiseringsskalaen hvor naturen nok en gang vil presentere seg i en ny drakt. Etter tretten milliarder år har universet frosset fast i en uryddig og disharmonisk form som vil fordampe ved unifiseringsskalaen. Naturlovene vil der igjen fremstå med sin utilslørte symmetri slik som de ble født inn i verden ved Skapelsen.

At nye teorier krever ny matematikk og ny geometri er ikke noe nytt. Klassisk mekanikk opererer med flate, passive og upåvirkelige Euklidske rom. Relativistisk mekanikk opererer med krumme, plastiske Riemannske rom. Kvantemekanikken opererer med Hilbertrom, mens relativistisk kvanteteori for 'klumper' (f.eks. 'strenger') opererer med den nye og ufullendte kvantegeometrien.



Figur 4. Et skjult univers? Calabi-Yau-rom spiller en sentral rolle i moderne matematikk og 10-dimensjonale superstrengteorier (bilde fra www.lactamme.polytechnique.fr).

Historisk har store omveltninger i fysikk vært ledsaget av matematiske gjennombrudd. Akkurat på dette punktet svikter i hvert fall ikke strengteorien: Den er en syntese av mikro– og makrofysikk (partikkel– og gravitasjonsteori) med rykende fersk matematikk. På enkelte områder har fysikere til og med foregrepet (forgrepet seg på?) matematikken.

En uventet bonus er at kvantegeometrien har kastet nytt lys overGaugeteoriene som beskriver svake og sterke kjernekrefter, og kanskje også mange av de mer interessante faststoffsystemene som vi i dag har begynt å pirke på. Men det regnes som ett av de syv store uløste matematiske problemer å forstå disse teoriene, så her ligger det enorme utfordringer for kommende generasjoner.

Vi både kan og bør fortsette utforskningen av den 'reduksjonistiske' eller 'analytiske' dimensjonen i fysikken, selv om den etter hvert blir mindre terrestial enn vi kunne ha ønsket. Det vil også de andre 'syntetiske' dimensjonene, som antagelig vil være mest relevante for direkte teknologiske anvendelser, nyte godt av.

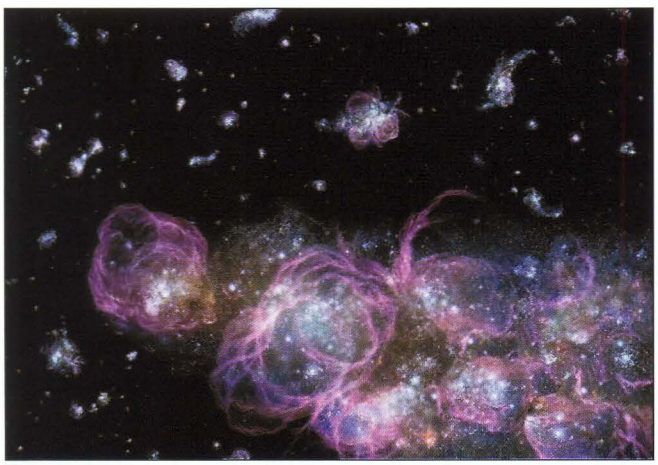
Makrokosmos

Vi skal forsøke å ekstrapolere fremover i tid noen trender i dagens astronomi og astrofysikk. Vi vil konsentrere oss om kosmologi, et felt som skulle ha spesiell interesse for alle fysikere, men vi skal til slutt også se kort på et par andre temaer.

Kosmologien har gjennomgått en rivende utvikling fra midten av 1960–årene til i dag. Som vitenskap startet kosmologien med et meget tynt observasjonelt grunnlag, først og fremst Hubbles observasjoner av galaksenes rødforskyvning og dessuten noen meget generelle observasjoner som at det blir mørkt om natten. Dette hindret ikke en stor mengde teoretiske arbeider som var basert på meget grove antagelser, antagelser som merkelig nok ofte har vist seg å være riktige! Hele det teoretiske grunnlaget for homogene og isotrope (og andre) universmodeller ble lagt allerede i 1920–årene. Fra 1960–årene kom et bedre observasjonelt grunnlag med oppdagelsen av kvasarene (og at det er mange flere av dem ved høy rødforskyvning enn i dag) og overraskende resultater ved tellingen av antall radiogalakser som funksjon av fluks. Begge pekte klart mot et univers som ikke er uforanderlig, men tvert i mot temmelig forskjellig ved en rødforskyvning omkring 1 til 2 fra hvordan universet er i dag. Dette var oppdagelser som pekte fremover mot den enorme utviklingen den astrofysiske kosmologien skulle gjøre og som klart motbeviste Steady–State–modellen for dem som hadde et åpent sinn. Enda viktigere var oppdagelsen av den kosmiske mikrobølgebakgrunnsstrålingen CMB = Cosmic Microwave Background) i 1965. Sammen med de tidligere resultatene som viste et univers i utvikling, ble CMB grunnlaget som overbeviste det overveldende flertall av forskere om at Big–Bang–modellen i hovedtrekk var korrekt.

Fra 1970–årene økte antallet kosmologer hurtig, og disse ble splittet i to grupper: 'reduksjonister' eller 'fysiker–kosmologer', med bakgrunn som høyenergifysikere (enkelte som relativister) som har arbeidet ved fysikkinstitutter og som har konsentrert seg om det tidlige univers; og 'syntetikere' eller 'astrofysiker–kosmologer', med bakgrunn som astrofysikere/astronomer som har arbeidet med utvikling av universets strukturer, og som stort sett har arbeidet ved astronomi/astrofysikkinstitutter. Selv om de snakker hvert sitt språk, er samarbeidet mellom disse gruppene blitt meget viktig, spesielt de siste 10 årene. Det er klart at initialbetingelsene for modellene for strukturutvikling i det tidlige univers må basere seg på egenskaper ved fundamental fysikk ved høye energier (altså mikrokosmos). Observasjonene av CMB–fluktuasjoner etter 1990, sammen med andre astronomiske observasjoner (bl.a. supernovaer av type Ia ved høy rødforskyvning) har også vist at vi nå er i den epoken der disse effektene er blitt observerbare.

Fysiker–kosmologene har først og fremst interessert seg for det tidlige univers. De ville anvende kjent, og etter hvert mer spekulativ høyenergifysikk,



Figur 5. Stjernefødsel (maleri av A. Schaller fra www.esa.int).

for å si hvordan egenskapene var i universet lenge før epoken for dannelse av atomkjerner, det vil si da universets alder var mye mindre enn ett sekund. Av spesiell interesse er å se om forskjellige fysiske modeller gir opphav til forskjeller i forholdene i universet som gir observerbare konsekvenser også i dag. Viktige spørsmål som er tatt opp av fysiker–kosmologene har vært: Hva skyldes forskjellen mellom antall partikler og antipartikler (grunnen til at universet ikke bare består av stråling)? Har det vært faseoverganger i det tidlige univers, og vil disse ha kunnet forårsake topologiske defekter i tidrommet? En mindre gruppe fysikere som har arbeidet med kvantegravitasjon og kvantekosmologi, har forsøkt å nærme seg Plancktiden. En av de mest interessante idéene er kommet fra fysiker–kosmologene, idéen om en inflasjonsfase i det meget tidlige univers.

Det har foregått en minst like stor, om ikke større, utvikling i den astrofysiske kosmologien. Her er målet å forstå utviklingen av strukturer i universet. Hvordan har de strukturene vi ser i dag, galakser, galaksehoper og superhoper, og deres fordeling, oppstått og utviklet seg? Mens den 'høyenergifysiske' kosmologien først og fremst utnyttet den aller nyeste og spekulative fysikken temmelig rendyrket, er astrofysikerens metode ofte komplekse anvendelser av kjent kunnskap fra forskjellige deler av fysikken (relativitetsteori, hydrodynamikk, kjernefysikk, strålingsdynamikk etc). De teoretiske arbeidene i den astrofysiske kosmologien er tett knyttet til observasjonell kosmologi, til studiet av galakser og galaksehoper, kvasarer etc., og til hvordan de er fordelt i tid og rom. Observasjonsmaterialet økte kraftig i tiden fra begynnelsen av 1970–årene, blant annet på grunn av nye observasjonsteknikker.

Fra å være en vitenskap meget fattig på data, er kosmologi nå blitt en vitenskap meget rik på data. Ved de nye CMB–eksperimentene (som nærmer seg eksperimentene ved CERN i antall forskere, og i teknisk og organisasjonsmessig kompleksitet) er den store utfordringen hvordan man skal analysere de enorme datamengdene. Samarbeid mellom astrofysikere, partikkelfysikere, statistikere, matematikere og informatikere viser seg svært fruktbart! Vi ser at de to 'hovedtypene' av kosmologer i dag arbeider tett sammen, spesielt på CMB–eksperimentene.

Fritt etter Martin Rees er i dag vår forståelse av universet basert på følgende postulater, der graden av sikkerhet er i synkende rekkefølge – til og med postulat 3 skal det svært mye til for å rokke på mens de siste er langt mer usikre:

1. Universet utvider seg
2. fra et varmt og tett Big Bang
3. hvor hydrogen og helium ble til.
4. Meget tidlig var det en inflasjonsfase
5. som forårsaket et tilnærmet flatt univers i dag.
6. Opphavet til strukturer er gaussiske irregulariteter
7. som ble til på grunn av kvantefluktuasjoner under inflasjonsfasen.
8. Strukturenes dynamikk er dominert av kald mørk ikke–baryonisk materie,
9. men det meste av energitettheten i universet skyldes 'mørk energi' med sterkt negativt trykk.

Hvis alt går slik det ser ut nå, vil vi om ca. 10 år være i den situasjon at vi har bekreftet disse postulatene, og vi har med stor nøyaktighet bestemt de parametrene som er viktige for disse, slike som universets utvidelseshastighet (Hubble–parameteren), tettheten av baryonisk (ordinær) materie, tettheten av mørk ikke–baryonisk materie, tettheten av 'mørk energi', parametrene som fastsetter hvordan kvantefluktuasjonene under inflasjonsfasen var etc. Hva så? Vil da det meste være løst og det som gjenstår være å rydde opp i noen detaljer.

For det første kan det hende at dette scenariet er galt. Kanskje vil vi meget snart vise at ett eller flere av postulatene over er feil. I så fall står vi overfor en situasjon der vi ikke kan spå annet om fremtiden enn at den vil bli spennende! Men selv om det traurige skulle skje at postulatene bekreftes

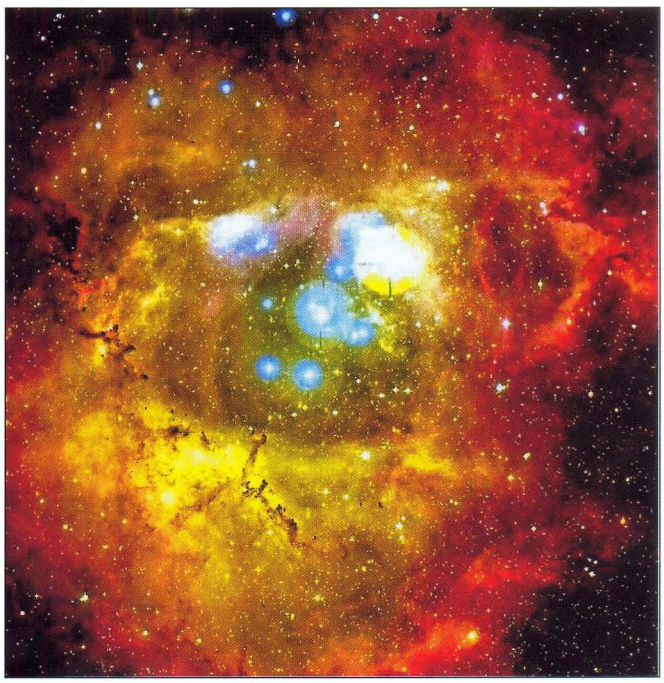
og parameterene bestemmes med stor presisjon og nøyaktighet, vil vi allikevel ha spennende tider foran oss. Det vi vil ha fastsatt er bare grunnlaget som vi kan arbeide videre med. Enkelte hevder at skillet mellom fysiker–kosmologene (reduksjonistene) og astrofysiker–kosmologene (syntetikerene) igjen vil bli større. Det er tvilsomt, for gruppene er svært avhengige av hverandres resultater, men begge gruppene vil i alle fall stå overfor meget store utfordringer.

Astrofysiker–kosmologene har mye arbeid foran seg for å kunne forstå skikkelig hvordan strukturene i universet har utviklet seg fra det enkle universet vi hadde ved rekombinasjonene, 300 000 år etter Big Bang, til galaksene, stjernene og planetene vi ser i dag. Hvordan og når ble de første stjernene til? Hvordan og når ble materien reionisert av disse første stjernene? Hvordan og når ble de første sorte hullene dannet? Var disse også viktige for å reionisere materien? Og hvor mye betydde alt dette i dannelsen av galaksene? I løpet av de neste 50 år vil vi, ved syntetisk bruk av kjent fysikk, og meget intensiv bruk av regneanlegg til bl.a. numeriske simuleringer, komme meget langt i å besvare disse spørsmålene.

Fysiker-kosmologene vil kanskje i enda større grad kaste seg over det 'ultratidlige' univers og funda mentalfysikk, eksotiske ting som universet før inflasjonsfasen, braner, parallelle universer (multivers) etc. Noen spørsmål man vil forsøke å besvare er:

- Hva er egentlig den mørke materien? En vei kan være å beregne direkte fra fundamental teori massene og virkningstverrsnittene for de forskjellige supersymmetriske partikler.
- Hva er den fullstendige forklaring på asymmetrien mellom partikler og antipartikler?
- Hva er den detaljerte fysikken bak inflasjonsfasen?
- Hva er den fundamentale forklaringen på den 'mørke energien'?

De observasjonsmessige konsekvensene, og mulighetene for å verifisere teoriene til fundamentalfysiker–kosmologene, vil måtte finnes hos astrofysiker–kosmologene. Samarbeidet er helt vesentlig, og sammen vil de nok i løpet av de neste 50 år i hvert fall ha forstått den mørke materiens, og kanskje også den mørke energiens, natur.



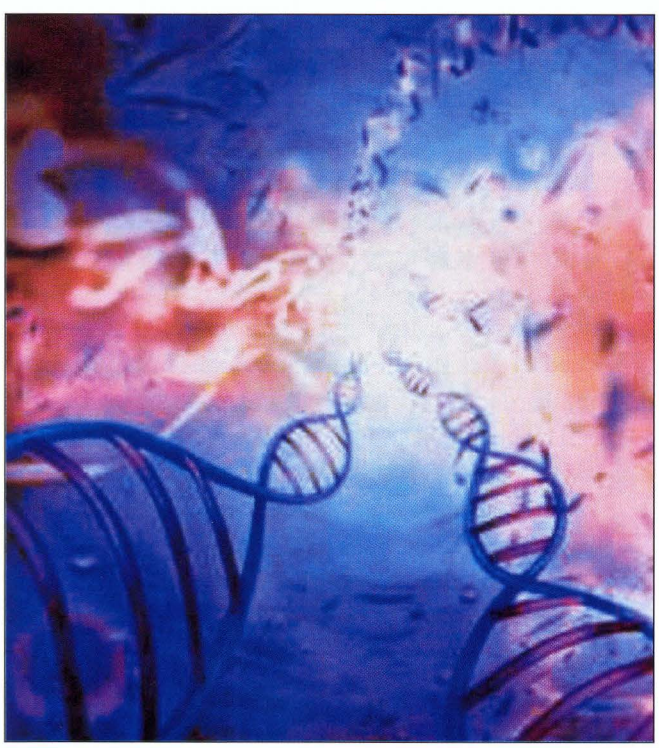
Figur 6. Planetinkubator (bilde fra www.esa.int).

Et annet spennende forskningsfelt i astronomien er dannelsen av stjerner, og spesielt stjerner med planetsystemer. Denne forskningen fikk et stort puff fremover i 1995 med den første sikre deteksjon av en planet i bane omkring en vanlig stjerne. Fra 1995 til i dag er det oppdaget over 100 planeter i bane omkring andre stjerner, og et stort antall nye observasjonsmetoder er utviklet. Størst interesse knytter det seg til den europeiske romorganisasjonen ESAs prosjekt Darwin. En gang etter 2015 vil en flotilje av seks frittflyvende satellitter bruke interferometri til å studere 1000 av de nærmeste stjernene. Denne teknikken gjør det mulig å 'fjerne' lyset fra stjernene, som er omtrent en milliard ganger kraftigere enn lyset fra planetene, slik at man direkte vil kunne observere planeter som Venus, Jorden og Mars ut til en avstand på over 30 lysår. Ikke bare vil man kunne se dem, men man vil også kunne ta spektra av atmosfærene deres, spektra som ville være så gode at man kan detektere vann og oksygen. Med Darwin ville en tenkt observatør 30 lysår unna kunne si at den tredje planeten omkring Solen har tydelige tegn på liv! Hvis Darwin oppdager forholdsvis sikre tegn på liv på planeter omkring andre stjerner, vil det bli en av de største oppdagelsene i de neste 50 år. Skal vi bli litt mer spekulative, må vi også ta i betraktning at mulighetene for å motta signaler fra eventuelt intelligent liv utenfor solsystemet vil øke kraftig de neste 50 årene. Kanskje vi får kontakt?

Det siste tiåret har vi innsett at vår plass i solsystemet er mer utsatt enn vi før var klar over. Store meteoritter, asteroider og kometkjerner har større sannsynlighet enn vi før trodde for å treffe Jorden og forårsake store katastrofer, kanskje så store at de kan utslette menneskeheten. Så det er jo ikke sikkert vi kommer til å over leve de neste 50 år! Men vissheten om denne fare har også satt i gang en rekke prosjekter for å kartlegge truslene mer detaljert, og man regner med at over halvparten av alle farlige asteroider alt er kjent. De neste 50 år vil resten bli kartlagt, og man får dermed for første gang muligheten til å gjøre noe med de farene som truer utenfra slik at vi ikke ender opp som dinosaurene.

Kompleksitet

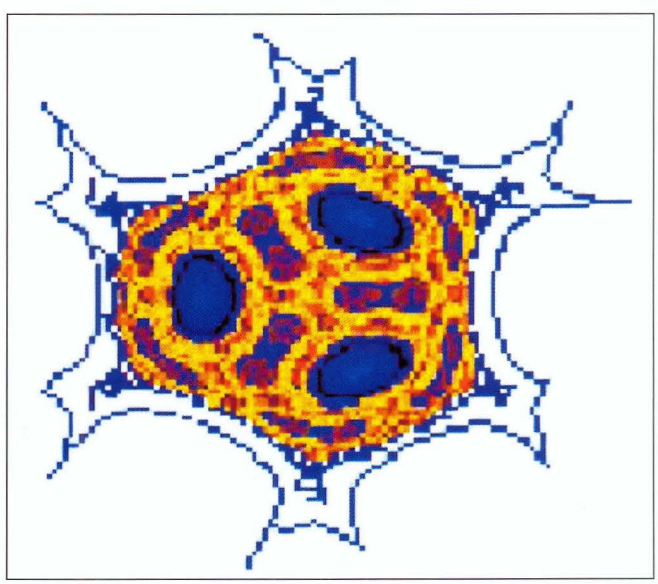
Mange av fysikkens suksesser i det 20. århundret var en konsekvens av en reduksjonistisk arbeidsdoktrine: avgrense, forenkle og måle! Atomets hemmeligheter ble, for eksempel, avdekket på denne måten. Men vi stoppet ikke der. Også sammensatte systemer som metaller, halvledere, gasser og plasma er nå godt forstått, og teoriene er solid forankret i den underliggende atomteorien.



Figur 7. Livet er kodet i DNA.

Men naturen rundt oss består av mer kompliserte ting enn som så. De fleste vil kanskje intuitivt si seg enige i at snøfnugg med sine individuelle, unike grenstrukturer, løvetann eller marihøner er mer komplekse enn en gassboks. Men hvorfor? Fra statistisk fysikk har vi lært at en gass med et makroskopisk antall gassmolekyler (av størrelsesorden 10^{23}) har et uhorvelig stort antall ulike mikrotilstander. I termisk likevekt svarer imidlertid de aller, aller fleste av disse mikrotilstandene til en og samme makrotilstand, den som er beskrevet av den ideelle gasslov. Så lenge vi ikke er interessert i hvor ett bestemt gassmolekyl er, gir den makroskopiske gassloven alt vi har lyst til å vite.

Komplekse systemer kan defineres som systemer med et stort antall ulike makrotilstander. De forgrenede iskrystallene med heksagonal symmetri som vi kaller snøfnugg, er alle litt forskjellige i formen, dvs. de har alle sin unike makrotilstand og kan kalles komplekse etter denne definisjonen. Kepler spekulerte allerede på 1600-tallet på hvordan et sjelløst objekt som et snøfnugg kunne ha en slik vakker symmetrisk form. I dag vet vi at snøfnugg fødes som ørsmå iskrystaller i en underkjølt blanding av vanndamp og luft, og at den iboende heksagonale krystallsymmetrien til is resulterer i den påfølgende morfologiske ustabiliteten som gir seks nesten identiske armer. Den videre veksten bestemmes av den omgivende luftfuktighet og temperatur, og disse parametrene varierer lite på den typiske lengdeskalaen til et snøfnugg (1 cm). De seks armene vil derfor utvikle seg omtrent likt. Men



Figur 8. En kunstig (matematisk) celle. Kan vi lage liv? (bilde fra www.calresco.org)

den detaljerte formen på disse armene vil avhenge av reiseruta gjennom en turbulent atmosfære før de treffer jorden. Siden to turbulente reiseruter aldri vil være helt like, vil alle snøfnugg være litt forskjellige.

Et kjennetegn ved komplekse systemer er at de ved påtrykk drives bort fra den ofte kjedelige likevektstilstanden, dvs. at likevektstilstanden blir ustabil. For snøfnuggene er påtrykket underkjølingen av vanndampen. I et annet tilsynelatende beslektet problem som sprekkvekst, enten det er i metaller eller i jordskjelvsoner, er påtrykket ytre mekaniske krefter. Problemet er tilsynelatende beslektet fordi det også her opptrer fingerlignende utvekster med sidegrener når sprekkene åpner seg. Men nærmere undersøkelse har vist at likheten kanskje bare er overflatisk, ustabiliteten som driver sprekkveksten synes å være helt annerledes enn i snøfnuggvekst. I det hele tatt er det høyst usikkert om en vil kunne finne et lite antall generelle prinsipper som vil kunne beskrive komplekse systemer. Den makroskopiske oppførselen ser ut til å avhenge for mye av de spesifikke detaljene i hvert enkelt system til at vi kan gruppere dem i et lite antall universalitetsklasser.

Et annet trekk ved fysikken som har hjulpet oss mye, er såkalt skalaseparasjon. I faststoff-fysikken trenger en stort sett ikke bekymre seg om atomkjernene; de opererer på en annen skala (energiskala) og kan ses på som uforanderlige klinkekuler. Tilsvarende trenger en ikke bekymre seg for elektron–fordelingen i gassmolekylene når en beskriver oppdriften til luftskip. I komplekse systemer er det i mindre grad en slik åpenbar skalaseparasjon. Dette eksemplifiseres kanskje best ut fra den store og kanskje mest spennende klassen av komplekse systemer: den biologiske. Løvetann, marihøner og andre planter og dyr er åpenbart komplekse ved at de har et stort antall ulike maktrotilstander. Signaturen for alle biologiske systemer er DNA-molekylet, bæreren av arvestoffet. Molekylære, og derved mikroskopiske, endringer i DNA-molekylet kan føre til store makroskopiske endringer som annen øyenfarge eller alvorlig sykdom, dvs. de mikroskopiske og makroskopiske nivåene er sterkt koblet.

Biologien tiltrekker seg i disse dager et stort antall forskere fra de kvantitative fagene, blant annet fysikk. Av de store spørsmål man arbeider med er

- hvordan liv oppstod,
- hvordan et DNA-molekylkan kode for hvordan et dyr eller en plante ser ut og funksjonerer, og –
- hvordan man tenker.

Det siste spørsmålet om funksjonen til hjernen, kanskje det mest kompliserte system vi kjenner i universet, er forunderlig nok det temaet hvor fysikkens metoder så langt har hatt størst suksess.

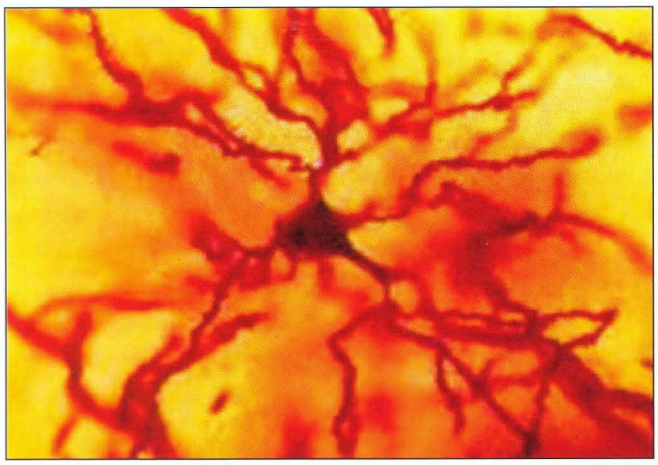
En matematisk modell for signalbehandlingsegenskapene til en enkelt nervecelle er i dag godt etablert. Modellen er basert på en elektrisk ekvivalenskrets av cellemembranens elektriske egenskaper, og ser nesten kjedelig ut. 'Livet' kommer kun inn i modellen ved at ionepumper, som krever kjemisk energi i form av ATP, setter opp ionekonsentrasjoner over cellemembranen som igjen driver nervecellekretsen. Den store utfordringen i dag er å forstå hvordan mentale funksjoner kan oppstå i et nettverk av nerveceller. Langt borte i horisonten kan vi også skimte spørsmålet om hvordan den subjektive oppfattelsen av bevissthet oppstår, men dit er det langt.

Hjernen er designet mer omtrentlig enn datamaskiner. I en datamaskin er det elektroniske kretsdiagrammet spesifisert i detalj av konstruktøren. I biologien er det annerledes. Et menneske har omtrent 10^{11} nerveceller, og nervecellene har omtrent 10^{14} koblinger seg i mellom.

En tabellarisk beskrivelse av kretsdiagrammet i nervesystemet ville kreve mer enn 10^{15} bits. Men menneskets arvestoff inneholder mindre en 10^{10} bits. Så DNA-molekylene kan ikke inneholde en detaljert beskrivelse av hver enkelt kobling. I stedet må de gi en mer omtrentlig arbeidsplan for hvordan hjernen skal lages. Dette gjenspeiles i at to hjerner aldri er helt like. På den annen side avhenger ikke funksjonaliteten til hjernen av at alle nerveceller fungerer perfekt. De fleste av oss er i stand til å klø oss i hodet, men nervecellekretsene i hjernene våre som sørger for dette er ikke identiske.

Komplekse systemer vil ha mange interessante spørsmål å by på for fysikere som er interessert. Men de som håper på å slippe å sette seg inn i systemdetaljene og kun jobbe med overordnede prinsipper, vil kanskje bli skuffet. Det spørs om vår tidligere suksess med å beskrive usedvanlig mye natur ut fra et lite antall grunnleggende prinsipper vil kunne overføres. For komplekse systemer må en trolig i større grad sette seg inn i detaljene for hvert enkelt problem. Dette blir mer arbeid selvfølgelig; men må man, så må man.

Men et enda mer grunnleggende spørsmål som også kan appellere til 'prinsipprytterne' er hvorfor komplekse system oppstår i det hele tatt. Etter Big Bang oppstod etter hvert galakser, solsystemer, vår egen jord og til slutt liv. Hvorfor er ikke jorden bare en kjedelig samling av atomer, men i stedet et mangfoldig sted fylt med spennende komplekse systemer langt utenfor den kjedelige likevekten?

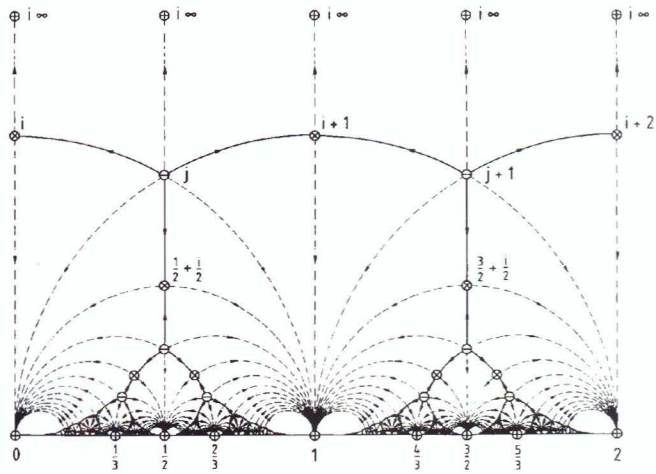


Figur 9. Fotografi av en nervecelle. Sjelen bor i nervesystemet, og fysikk kan bidra til å forstå boligen. Men hva er forholdet mellom ånd og materie?

Sammenfiltring

Kvantemekanikken er kronjuvelen i fysikernes skaperverk, og trolig det mest subtile vitenskapen har produsert. Likevel har teorien hatt stor teknologisk betydning, eksemplifisert ved den pågående data- og kommunikasjonsrevolusjonen. Dagens elektroniske 'mirakler' er trolig kun forløpere for en erkjennelsesmessig og teknologisk revolusjon som bare såvidt har begynt. Vi har ennå ikke klart å utnytte potensialet i oppdagelsen av at verden er *sammenfiltret*. Det er en mannsalder siden Schrödinger innså at 'sammenfiltringen' ('verschränkung', 'entanglement') av tilstander er essensen av kvantemekanikk. Artikkelen fra 1935 (og ideen) er udødeliggjort av et lite avsnitt som omhandler helsen til en katt. Men det er først de siste årene fysikere har begynt å betrakte dette som en potensiell ressurs, spesielt for informasjonsbehandling.

Kvante–informasjon, –kommunikasjon og –kalkulasjon (KVIKK), ofte kalt 'kvante–computing', er basert på det faktum at all informasjon er fysisk, og at mulighetene for informasjonsbehandling derfor er fullstendig bestemt av de fysiske lover som materien er underlagt. Bytter vi ut klassisk mekanikk med kvantemekanikk bytter vi også ut Shannons klassiske teoremer om databehandling med nye, til dels ukjente muligheter. Fordi den kvantemekaniske verden er sammenfiltret kan korrelasjonene mellom bestanddelene være mye sterkere enn i klassiske systemer. Et kvantefysisk system kan derfor 'parallellprosessere' (beregne samtidig) alle mulige utfall av en algoritme (alle mulige verdier av en funksjon). For eksempel kan primtallsfaktorisering med en kvanteprosessor utføres eksponensielt raskere enn på en klassisk regnemaskin, i prinsippet. Men ingen slik maskin eksisterer ennå.



Figur 10. Et fraktalt hierarki av 'designer-univers' kan konstrueres i moderne halvledere der elektronene tvinges ned i et plan hvor de blir sterkt 'sammenfiltret'.

For fysikere er det ikke bare realiseringen av gamle tankeeksperimenter som gjør KVIKK-aktivitetene spennende; vi tvinges også dypere inn i kvantemekanikken. Kryssbefruktningen mellom informasjonsteknologi, informasjonsteori og kvantefysikk produserer nye begreper som fysikere bruker for å analysere de sterkt sammenfiltrede grunntilstandene som dukker opp overalt i kvantefysikken. Vi kan i dag nærmest skreddersy nye materialer, som ved passende valg av geometri og sammensetning for alle praktiske formål kan ha mindre enn tre dimensjoner (to, en og null).

I lave dimensjoner blir frihetsgradene mer sammenfiltret, og uendelige hierarkier av nye 'vakuumtilstander' er mulige, med tilhørende 'elementærpartikler', f.eks. såkalte 'anyoner'. Disse systemene er derfor flotte laboratorier for å rendyrke 'quantum weirdness'. Slike 'meta-univers' ('univers av universer') kan ha sine egne 'meta-symmetrier' hvor

de forskjellige 'universene' speiles i hverandre under 'dualitetstransformasjoner' (se figur 10). Disse symmetriene ble opprinnelig oppdaget i matematikken for elliptiske kurver ('smultringer') i kjølvannet av Abels dype innsikter i algebraisk geometri. Idéene er hentet fra strengteori – et godt eksempel på naturens parsimoniske natur; en god mekanisme kan resirkuleres på mange forskjellige områder, selv om systemene er adskilt med over 20 dekader i energi.

Et mer konvensjonelt eksempel er 'spontane symmetribrudd' som gir fotonet masse i superledere (som derfor blir ugjennomtrengelige for magnetfelt), og som gir masser til W- og Z-bosonene i Standardmodellen slik at vi bare har én type lys.

Slike kryssbefruktninger mellom høy- og lavenergifysikk har spilt, og spiller fortsatt, en viktig rolle i fysikk, og vitner om fagets innebygde enhet og harmoni.

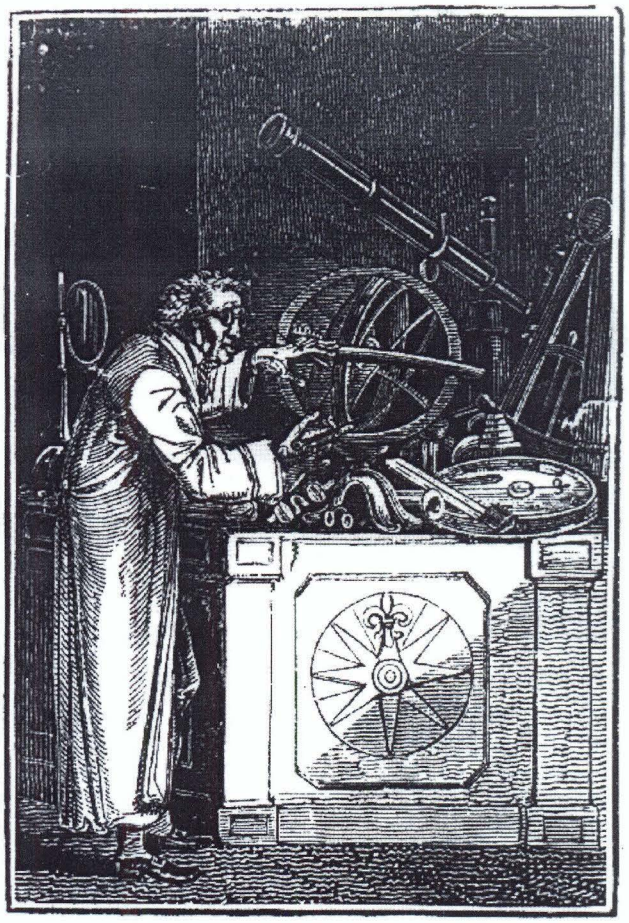
Syntese

Symbiosen mellom matematikk, fysikk og teknologi er ikke ny, og går i hvert fall tilbake til Arkimedes. Det nye er at informasjonsteknologien åpner for å utvide denne syntesen til hele naturvitenskapen. Grenser kan viskes ut, og informasjon kan flyte fritt mellom fagfelt som tidligere var isolert.

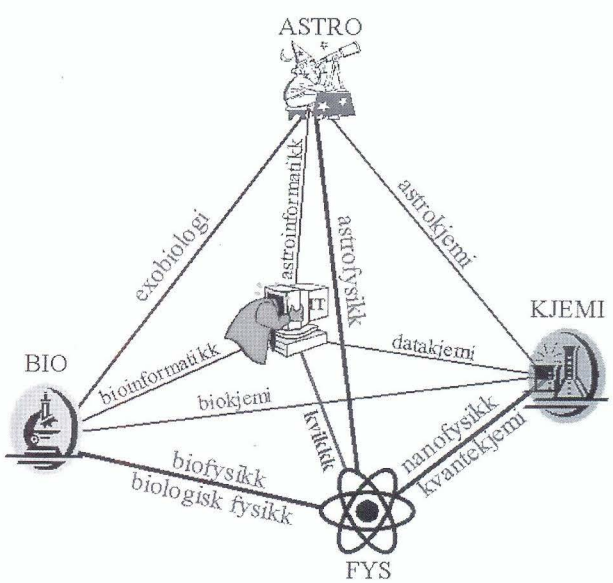
Å forstå naturen er en stor jobb. Det ble tidlig klart at det er hensiktsmessig å dele jobben opp i mindre deler som siden ble delt igjen og igjen. Denne arbeidsdelingen har båret saftige frukter. I vår del av verden nyter vi i dag en helse og velstand som planeten aldri tidligere har sett. Dette er en direkte følge av den analytiske, reduktive tilnærming til naturfilosofien.

I dag står vi antagelig foran et vendepunkt i naturvitenskapens utvikling, en overgang fra den pre-digitale analytiske til den post-digitale syntetiske fasen. Den plutselige utbredelsen av maskiner som kan utføre enhver (klassisk) beregning, har store konsekvenser for vitenskapen. Det mest interessante er ikke de nye svarene vi vil få på gamle spørsmål, men de kvalitativt nye spørsmål som vi nå kan stille.

Fysikken, selve fundamentet for denne teknologiske utvikling, er den eldste og mest modne av naturfagene. Fysikken har en konsistens og koherens i sitt begrepsapparat og sine metoder som alle misunner oss, og mange forsøker å etterligne. Men det er ikke uten videre gitt at våre analytiske metoder lar seg eksportere til andre deler av naturvitenskapen. Tvert imot, når fysikken nå



Figur 11. Et vitenskapelig instrument er åndens seier over materien: en sublim syntese av matematikk, fysikk og teknologi som flytter erkjennelsens grenser (gravering funnet på antikvariat i Genève – ukjent opprinnelse).



Figur 12. Informasjonsteknologien kryssbefrukter de klassiske sub-disipliner, sprenger gamle grenser og syntetiserer naturvitenskapen (kvikkk = kvante-informasjon, kommunikasjon, kalkulasjon og kompleksitet).

vender seg mot mer og mer komplekse systemer, ser vi også det motsatte: Vi må benytte modeller og metoder som ikke er så ryddige som vi er vant til. Disse nye 'syntetiske' metodene, muliggjort av informasjonsteknologien, bryter ned de gamle grensene mellom naturfagene. Evnen til å syntetisere informasjon på nye måter gir oss nye teknologier og ny innsikt i naturen.

Så– hva er fysikkens fremtid og skjebne? Vi tror dagens fysikk nærmer seg slutten på "puppe–stadiet". Informasjonsteknologien vil katalysere en metamorfose av det vi kaller fysikk og fysiske metoder til et høyere stadium som integrerer dagens mange naturfag i en sømløs og fargerik helhet: en 'kunnskapens sommerfugl'.

Litteratur

1. *http://www.fysikknett.no*
2. V.L. Fitch, D.R. Marlow and M.E. Dementi (eds): *Critical Problems in Physics (Princeton Series in Physics)*, Princeton University Press (1997)
3. *http://www.ParticleAdventure.org*
4. *http://www.UniverseAdventure.org*
5. *http://www.cpepweb.org*
6. *http://particleadventure.org/particleadventure/other/othersites.html*
7. *http://www.nasa.gov*
8. *http://www.esa.int*

∞

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2003

Program for Fysikermøtet finnes på Internett: *http://www.fys.uio.no/fysikermote*

Saksliste for årsmøtet 11. august er lagt ut på: *http://www.norskfysikk.no/nfs/aarsmote/2003/innkallingaarsmote03.htm*

Velkommen til Sundvolden 9–13. august!

På vegne av arrangementskomiteen

Jøran Moen
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
(jmoen@fys.uio.no)

∞

Bokkronikk

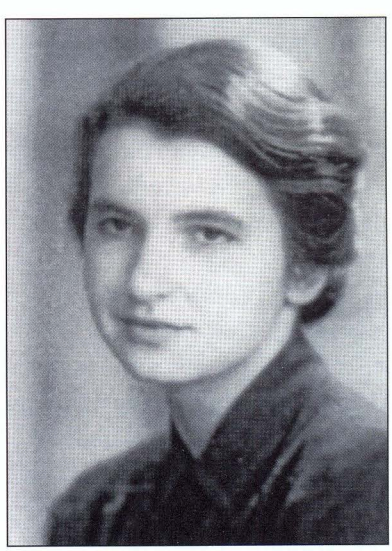
Brenda Maddox: Rosalind Franklin – The Dark Lady of DNA. Harper Collins Publishers, 2002, ISBN 0-00-257149 (380 sider) 299 kr.

Kappløpet mot DNA

Den 25. april var det 50 år siden J.D. Watson og F.H.C. Crick publiserte en artikkel i *Nature* hvor de beskrev en modell av DNA-molekylet. Det var et kappløp mellom disse forskerne og Rosalind Franklin om å avsløre DNA-molekylets hemmeligheter. Dette kappløpet blir detaljert beskrevet i biografien om Rosalind Franklin, noe som gjør at den er aktuelt lesestoff.

Boka er skrevet av den kjente biografen Brenda Maddox som har vunnet flere ærespriser, og hennes bøker er oversatt til ti språk. Boka kaster lys over jøders oppvekst og levevilkår, forskningens trange kår etter den andre verdenskrig, kvinners stilling i naturvitenskapelig forskning og uredelighet innen forskning. De som er interessert i dette, samt Franklins privatliv, bør lese boka. Her skal vi forkusere på hennes forskningskarriere, spesielt om DNA-forskningen.

Rosalind Franklin var født av jødiske foreldre i London i 1920. Hun tok sin doktorgrad ved Emmanuel College, Cambridge, på et arbeid om strukturer i kull. Rosalind fortsatte å studere kull ved et laboratorium i Paris. Som forskningsredskap benyttet hun røntgendiffraksjon, og hun ble etter hvert en internasjonal ekspert på området.



Vanskelige år ved King's College, London

Sommeren 1950 fikk Rosalind et stipend ved King's College hvor professor J.T. Randall var leder og M.H.F. Wilkins nestleder og leder av biofysikk-gruppa. Rosalind skulle bruke røntgendiffraksjons-teknikk til å studere proteiner i oppløsninger, og se hvordan strukturen ble forandret under oppvarming og dehydrering. Litt senere og uten forvarsel, meddelte Randall i et brev at han hadde forandret Rosalinds forskningsprogram. I stedet for å studere proteiner i løsninger skulle hun sammen med Gosling, som var doktorstudent, studere fiber. Randall var positivt innstilt overfor kvinnelige forskere.

I begynnelsen av Rosalinds periode ved King's arbeidde både hun og Wilkins med studier av DNA hver for seg, men koordinert. Men Wilkins var neppe klar over hvilken posisjon Rosalind hadde opparbeidet seg i Paris. "Hull i kull, eller mangel på sådanne", interesserte ikke biofysikeren. Wilkins kunne ikke konkurrere med Rosalind når det gjaldt røntgenbilder. I Paris hadde hun lært hvordan man skulle kontrollere fuktigheten i et kamera fylt med hydrogen. Etter hvert skulle det utvikle seg en personlig antipati mellom de to. Midtsommer 1951 "toppet" forholdet seg. På en konferanse ved Bragg's Cavendish Laboratory i Cambridge, orienterte Wilkins om DNA-studiene ved King's. Han fortalte at alle bildene de tok, viste en sentral X, noe som viste at DNA-molekylene hadde en vridd struktur. Etter foredraget ble han stoppet av Rosalind. Med fast stemme ba hun ham om å gå tilbake til optiske studier. Wilkins ble rystet. Ingen forsker hadde talt til ham på denne måten. Hvem våget å gi ham, assisterende leder av laboratoriet, ordre om å stoppe forskningen. Årsaken var Randalls brev til Rosalind. Hun tolket det slik at Wilkins ikke lenger skulle arbeide med DNA, men Wilkins hadde ikke sett Randalls brev. Han tolket dette slik at Randall ville holde ham utenfor feltet slik at han selv skulle få tildelt æren for eventuell suksess.

Rosalind oppnådde nye uventede resultater, hun fant to typer DNA. Når fibrene ble fuktet, ble de lengre og tynnere. Når de så ble varmet opp og tørket, gikk de tilbake til opprinnelig form. Hun kalte det våte DNA for type B, det tørre for type A. Analysen av type B passet godt med beregninger utført av teoretikere. Da Wilkins så dette, antydet han at de burde samarbeide. Det fikk Rosalind til å eksplodere. "Hvordan våger du å fortolke mine data for meg?" Hun hadde god grunn for dette. Forskningen var hennes liv og identitet. Hun var undervurdert ved King's, men nå viste hennes forskning lovende resultater. Så kom en mindre dyktig kollega av høyere rang og ville albue seg inn og ødelegge for henne.

Opprydding ved King's

I oktober 1951 innså Randall at situasjonen ved laboratoriet var blitt håpløs. Han bestemte at Rosalind skulle konsentrere seg om A-typen, mens Wilkins skulle skulle konsentrere seg om B-typen. Med dette var all kommunikasjon mellom Rosalind og Wilkins brutt. "Arbeidsdelingen" ble katastrofal. Rosalind arbeidet hardt i isolasjon og oppnådde nye resultater. I dagboken kunne en lese; "Enten er strukturen en spiral eller en mindre spiral som består av flere kjeder. Fosfatet må være lokalisert på ytterside". Wilkins på sin side fant isolasjonen mindre stimulerende, og søkte mer kontakt med sin gamle venn, fysikeren Fransis Crick ved Cavendish. Crick på sin side hadde kontakt med biologen James Watson fra USA. I Washington hadde han fått nyss om at røntgenkrystallografi var nøkkelen til genetikken. DNA var bærer av genetisk arv.

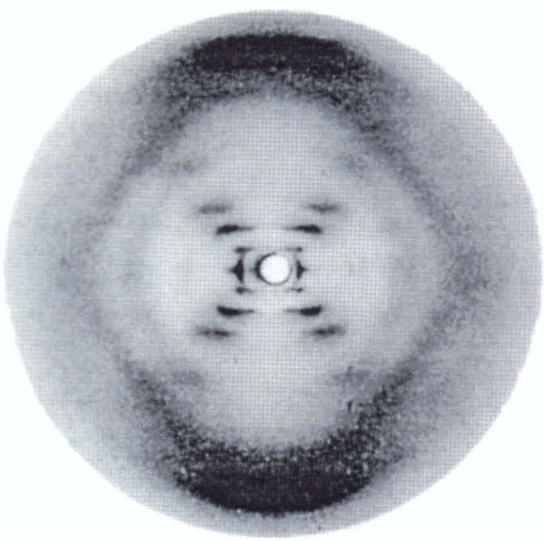
Kappløpet om DNA

Crick og Watson beundret kjemikeren Linus Paulings arbeidsmetoder ved å bygge modeller. De mente at siden ingen ved Cavendish arbeidet med DNA, burde de kunne bygge en modell. I november 1951 ble det holdt et kollokvium ved King's om nukleinsyrestruktur. Watson var til stede for å fange opp informasjon. En uke senere hadde Watson og Crick laget en modell, og forskerne ved King's ble invitert for å se modellen. Dette var nok et feiltrinn. Rosalind spurte straks: "Hvor er vannet? DNA er et 'tørst' molekyl som drikker ti ganger så mye som en skulle forvente. Fosfatet må være lokalisert utenfor spiralen og omgitt av vann. Hvordan kan et molekyl, slik modellen fremstiller det, holdes sammen?" Natriumionet som feilaktig var plassert utenfor spiralen, ville være omgitt av vann og kunne ikke bidra til binding. Bragg beordret Watsom og Crick å stoppe modellarbeidet. Han og Randall ble enige om at forskning på DNA-strukturen skulle overlates til King's.

Våren 1952 var Rosalind sikker på at B-formen av DNA var en spiral. I en årsrapport til Medical Research Council (MRC) skrev Rosalind en fyldig redegjørelse. Hun anga alle dimensjonene til enhetscellen, dens lengde, bredde og vinkel. Rapporten

var beregnet på medlemmene av MRC, og ikke for offentligheten. Men det skulle vise seg skjebnesvangert.

Våren 1953 flyttet Rosalind til Birkbeck. I den forbindelse skrev Wilkins i et brev til Crick: "I think you will be interested to know that our *dark lady* leaves us next week... At last the decks are clear and we can put all hands to the pump." Nå begynte en hektisk periode. Det gikk rykter om at Linus Pauling hadde funnet strukturen til DNA. Til glede for Watson og Crick viste det seg at Pauling hadde begått samme feilen som de selv gjorde da de bygget sin modell. Dette ble klart for Watson da han rappet et brev fra lommen til en kollega.



Lekkasje

Tidlig i 1953 kunne Rosalind slå fast at noen hadde lest notatboka hennes. Mistanken gikk til Randall og Wilkins. Da Gosling fikk vite at Rosalind skulle flytte til Birkbeck, måtte han fullføre sitt doktorarbeid uten hennes hjelp. Dermed ville han vise avdelingslederen, Wilkins, at han kunne forske på egen hånd. De hadde en samtale, og han viste fram det beste røntgendiffraksjonsbildet Rosalind hadde laget av DNA, bilde nr. 51. Dette bildet overbeviste Wilkins om at DNA var en spiral (se bilde).

I tillegg til bilde nr. 51, fikk Watson og Crick urettmessig overlevert rapporten Rosalind hadde skrevet til MRC. Nå hadde de all nødvendig informasjon. I løpet av en måned bygget Watson og Crick en ny modell av DNA. På den tiden var Rosalind opptatt med å skrive ferdig to artikler til *Acta Cryst.* Hun ble ikke særlig nedtrykt da hun fikk høre at Watson og Crick hadde lyktes i å lage en ny modell. Hun var overbevist om at hennes to artikler ville vise solide data om DNA-strukturen, ikke bare en hypotese. Dessuten var hun og Gosling snart ferdig med en artikkel om B-typen DNA som skulle sendes *Nature.*

Rosalinds bidrag til oppdagelsen av DNA ble forsøkt skjult. For Watson og Crick var det viktig å få publisert sin oppdagelse snarest mulig. Det kunne skje ved et brev til Nature. Men de møtte et problem. Hvordan skulle de gi kredit til Rosalind, hvis arbeider var avgjørende for oppdagelsen? De kunne vanskelig referere til hennes data som ikke var publisert. En eksplisitt takk til King's ville vise at Cavendish hadde brutt avtalen om arbeidsdeling. En tredje mulighet var å vise til MRC-rapporten. Men den var heller ikke offentlig tilgjengelig. Resultatet ble en enkel setning: "Vi er blitt stimulert av kjennskap til den generelle karakter av upubliserte eksperimentelle resultater og ideer til Wilkins og Franklin og deres medarbeidere." Lederen av King's var fornøyd med at forskere fra hans institusjon fikk utgitt to artikler i samme nummer av *Nature,* ett arbeid av Rosalind og Gosling, og ett av Wilkins og medarbeidere. Artiklene ble trykket i *Nature* 25. april 1953, under felles heading: "Molekylær struktur til nukleinsyre."

Nobelpris og tilsynelatende forsoning

Etter kappløpet i 1953 ble Crick og Watson rimelig gode venner med Rosalind. Men for de to måtte det være et vennskap med bismak. Det kom aldri til noe oppgjør om fortiden. Rosalind fikk aldri vite hva som hadde foregått bak hennes rygg. Hun døde av kreft i 1958, bare 37 år gammel.

I 1962, fem år etter Rosalinds død, fikk Crick, Watson og Wilkins Nobelprisen i fysikk. En kunne forvente at pristakerne ville vise litt mer ydmykhet ved en slik anledning, men takken til Rosalind uteble. I sine foredrag var det bare Wilkins som nevnte henne og Alex Stokes som to personer ved King's som hadde gitt verdifulle bidrag til røntgenanalysen. En tid senere skrev lederen av King's: "Jeg har følt at Wilkins i sitt nobelforedrag ikke oppførte seg helt rettferdig overfor King's, spesielt ikke når det gjaldt bidraget fra Gosling og Rosalind."

Ti år senere fikk Aaron Klug Nobelprisen i kjemi. Han talte beveget om sin avdøde kollega. Rosalind hadde introdusert ham i studier av virus, og hun hadde satt en standard for hvordan man skal takle store og kompliserte problemer: "Hadde ikke hennes liv endt så tragisk tidlig, kunne hun ha stått på dette podiet ved en tidligere anledning."

Klug hadde lenge støttet Rosalind. Få måneder

etter at artikkelen om dobbelspiralen ble publisert i 1953, skrev han en lang artikkel i *Nature* om at Watson ikke hadde til hensikt å beskrive mer enn én side ved historien. Som Rosalinds kanskje nærmeste vitenskapelige kollega, hadde Watson omhyggelig studert hennes laboratoriejournal. På den tiden mente Watson, Crick og Wilkins fortsatt at DNA hadde en antispiralstruktur, mens Rosalind så tidlig som i februar 1952 hadde bevismateriale for en spiralstruktur for DNA. Klug representerte et robust forsvar. I 1974 ble han enda fastere i sine antagelser da han fant et manuskript av Rosalind datert 17. mars 1953 (upublisert av ukjente årsaker). Han skrev om denne saken i *Nature.* Manuskriptet viste at Rosalind var enda nærmere å kunne påvise riktigheten av dobbelspiralen enn det han hadde vært klar over.

Norsk bidrag til DNA-forskningen

Den norske kjemikeren Sven Furberg oppholdt seg som stipendiat ved Birkbeck. I sitt doktorarbeid av 1949 beskrev Furberg en modell av nukleinsyre, og han viste at sukkeret dannet en rett vinkel til basis. Hans doktoravhandling var vel kjent. Modellen hadde form som en spiral. Lederen ved Birkebeck bebreidet seg selv for at de ikke hadde tatt opp og videreført Furbergs arbeid. I så tilfelle mente han at Birkebeck kunne ha avsløret DNA-strukturen like tidlig som de andre. I den berømte artikkelen i *Nature* i april 1953, skrev Watson og Crick: "Hver av kjedene ligner i store trekk Furbergs modell, det vil si at basene befinner seg inne i spiralen og fosfatene på utsiden av denne. Sukkergruppene og de atomene som er nær forbundet med disse, er arrangert omtrent som i Furbergs 'Standard Konfigurasjon' – idet sukkeret står noenlunde vinkelrett i forhold til den basen som er knyttet til det."

Se også James D. Watson: *Dobbeltspiralen,* J.W. Cappelens Forlag AS (1968).

Ingolf Kanestrøm

∞

Bokomtale

Internett: www.fysikknett.no
I regi av Norsk Fysisk Selskap
Med støtte fra Norges forskningsråd

Nettstedet *www.fysikknett.no* er resultatet av et nasjonalt prosjekt med deltakere fra Universitetet i Oslo, Norges landbrukshøgskole, Universitetet i Bergen og NTNU. Dette er en glimrende idé. Jeg har lest en del av det med glede og interesse og går ut fra at dette med tida kan bli en fin samling artikler.

Men det er lagt skuffende liten vekt på den pedagogiske framstillingen. I hvert fall gjelder det området Hverdagsfysikk, som er det området jeg har lest mest av. Jeg er ikke i tvil om at forfatterne vet hva de skriver om, men jeg er heller ikke i tvil om at de ikke vet hvem de skriver til. Her er noen eksempler:

... olje utsettes for krefter på tvers ...
Sand er en kompleks fluid.
Materialer formet til objekter ...
Spenningene må gå rundt mikrosprekkene.

Sånne påstander kan tolkes og kanskje forstås av fysikere. Men fysikknett er vel beregnet på andre interesserte også, f.eks. ungdom i den videregående skolen. De vil heller ikke like å lese setninger som virker kilometer-lange:

Inntil nylig har ikke fysikerne betraktet leire som et "interessant og tilgjengelig" eksperimentelt og teoretisk fysisk system å forstå, men med muligheten som nå finnes for laboratoriestudier av ren syntetisk leire, har dette endret seg, og det finnes nå en voksende vitenskapelig aktivitet for å knytte leire til moderne materialvitenskap, og til den omfattende fysikken forbundet andre komplekse myke materialer, slik som for eksempel mange matvarer, skum, biologiske materialer og væske-krystaller.

Skoleelever vil heller ikke forstå hvorfor det skal hete "spinn, eller angulær moment". Det virker som om forfatteren mener at "angulær moment" er et mer vitenskapelig ord enn spinn (sammenlikn biologer og latinske navn). Men vanlige lesere bør ikke tvinges til å lære utenlandske termer, og slett ikke når de er misforstått. Det standardiserte engelske ordet for spinn er *momentum.*

I skolene lærer man også at en kraft har en motkraft, og det betyr at det skal to ting til for at det skal være en kraft. Hva betyr da: *Det er masser av krefter i en bilmotor.* Jeg tror at skal man skrive for legfolk, må man legge mye, mye mer arbeid i formuleringene enn når man skriver for kolleger.

Til slutt: Hvis man er i tvil om det grammatiske kjønnet på ord som fluid og moment, så går det an å slå opp i ordbøker.

Otto Øgrim

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

Fra Fysikkens Verden utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. 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 Selska

STYRE

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

Visepresident:
Professor Anne Borg
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

Styremedlemmer:
Professor Gaute Einevoll
Inst. for tekniske fag, NLH, Ås.
Professor Eirik G. Flekkøy
Fysisk inst., Univ. Oslo.
Professor Ola Hunderi
Inst. for fysikk, NTNU.
Førsteaman. Anders Isnes
ILS, Univ. Oslo.
Professor Jøran Moen
Fysisk inst., Univ. Oslo.
Direktør Jon Samseth
Høgskolestiftelsen på Kjeller.
Professor Jan S. Vaagen
Fysisk inst., Univ. Bergen.

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 29, Fax.: 22 85 64 22
E-post: heidi.bruvoll@fys.uio.no
Bankgiro: 7878.06.03258

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 Per Osland
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.
Førstelektor Ellen Henriksen,
Fysisk inst., 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
E-post: finn.ingebretsen@fys.uio.no
E-post: 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.