

Nr. 3 – 2004
66. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:

Øivin Holter

Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Innhold

Jon Magne Leinaas:

Kvantemekanikk etter Planck – II 68

Øyvind Grøn:

Svart hull informasjonsparadokset 74

Lars Egil Helseth:

Moderne litografi 78

J. Moan ofl.:

Et biofysisk fenomen. 82

Fra Redaktørene 66

FFV Gratulerer 66

Øystein Elgarøy

Jøran Moen

Trine Tveter

Bokomtaler 85

Hva skjer 87

Birkelandforelesningen 2004

Trim i FFV 88

Nye Doktorer 89

Dr.scient. Morten Førre

Dr.scient. Rolf J. Korneliussen

Dr.scient. Stein-Arild Tjugum

Dr.scient. Anders Strand Vestbø

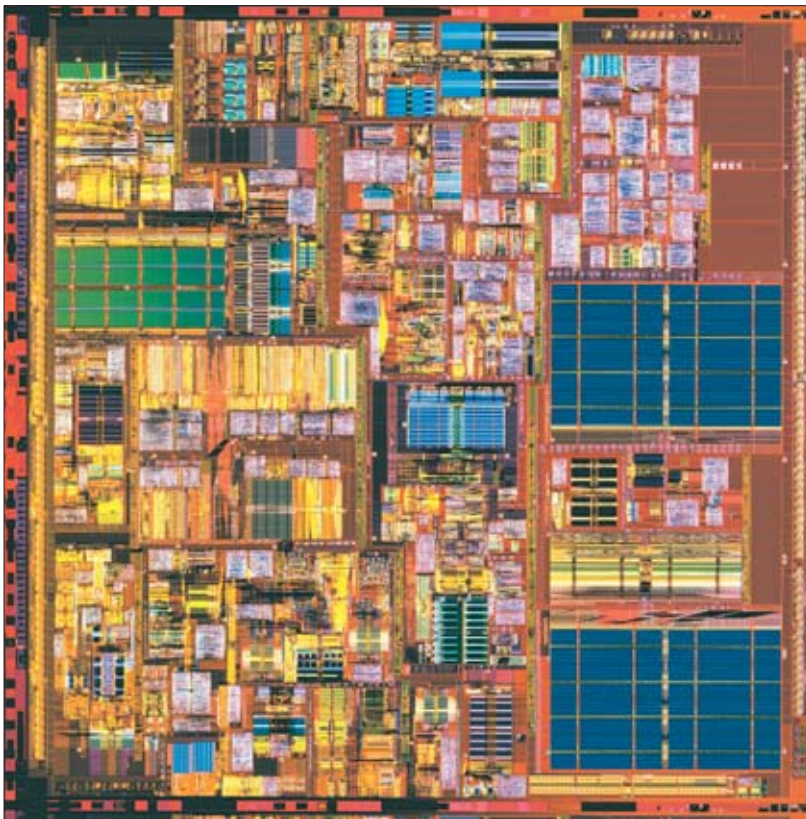
Nytt fra NFS 91

Fysikermøtet 2005

Fysikkåret 2005

Nye medlemmer

Fra Fysikkens Verden



Pentium 4 chip med detaljer ned til $0,13 \mu\text{m}$ (www.intel.com)
(Se artikkel Moderne litografi)

Fra Redaktørene

To jubileer markers i disse dager; det er 50 år siden det store europeiske senteret for "la Recherche Nucléaire" i Genève, CERN, ble grunnlagt, og det er 25 år siden Syklotronlaboratoriet ved Fysisk institutt i Oslo ble etablert.

Ved CERN har Norge vært med fra begynnelsen og hele tiden har norske fysikere og teknikere hatt anledning til å bidra i unike faglige og tekniske prosjekter. CERN har hele tiden ligget i forkant når det gjelder teknisk utvikling, både med hensyn til akselerator- og detektorutvikling. Hovedtyngden av innsatsen er i økende grad blitt rettet mot høyenergetiske prosesser, det vi i dag kaller elementærpartikkelfysikk, mens kjernefysikken ved CERN til tider har hatt noen pustevansker. I mange år, dvs. før romforskningen ble organisert i store internasjonale kollaborasjoner, har CERN vært det største og dyreste internasjonale prosjekt for norske fysikere.

Et grovt estimat av den totale investering i Syklotronlaboratoriet målt i dagens kroneverdi tilsvarer omtrent ett års kontingent som CERN-medlem. Pussig nok er det i år også 60 år siden Fysisk institutt i Oslo fikk sin første Van de Graaf-akselerator og 50 år siden syklotronens forgjenger, den "nye" Van de Graaff-akseleratoren ga sin første stråle.

De to jubileene markerer to typer virksomheter som begge har sine tilhengere. Eksperimenter på CERN kan karakteriseres som "reisefysikk", mens Syklotronlaboratoriet er "hjemmefysikk". Det å delta i store internasjonale kollaborasjoner med det mest avanserte utstyr har klare positive, men også sine negative sider. Effektiviteten og kompleksiteten gjør at tilreisende gjester, ofte studenter, holdes langt unna den instrumentelle delen. I lokale laboratorier er utstyr og budsjetter langt mer beskjedne, men på den annen side kan alle deltakere få "hands on" erfaring med design og oppsetting av instrumenter. I tillegg gjør lokale installasjoner det mulig å gjøre dristige eksperimenter der uvissheten om utfallet er stor. Begge typer aktivitet er nødvendig i dag. Begge de to jubilerende prosjekter kan vise til meget gode resultater gjennom årene, så vel vitenskapelig som ved utdanning av kandidater.

FFV vil komme tilbake til jubileene.

∞

FFV Gratulerer

Norges forskningsråds program "Yngre fremragende forskere" er initiert for å gi forskere under 40 år gode økonomiske kår i fem år for å "nå internasjonal toppklasse og utvikle seg til gode forskningsledere". Støtten er på inntil 2 millioner kroner. Totalt 26 av 217 søknader ble innvilget i denne søknadsrunden. Blant disse er det tre fysikere:

Øystein Elgarøy

Det kom neppe som noen bombe da førsteamanuensis Øystein Elgarøy, 32 år, fra Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO, ble belønnet med status og bevilgning som yngre fremragende forsker. Elgarøy arbeider innenfor fagområdet kosmologi. Han ble kjent for det store publikum verden over for noen få år siden, da hans studier av nøytrinomassen basert på kosmologiske modeller nådde de store avisene i USA og England, foruten de beste fagtidsskriftene (se for eksempel hans populærartikkel "Universet som nøytrinovekt" i FFV 2/02). For perioden 2004–2007 er han sammen med professor Finn Ravnald ved Fysisk institutt, UiO, tildelt et forskningsprosjekt i kosmologisk fysikk med tittelen "Shedding Light on Dark Energy" fra Norges forskningsråd.

Øystein Elgarøy er cand.scient. og dr.scient. fra Fysisk institutt, UiO, på grunnlag av studier innen uendelig kjernematerie og nøytronstjerner. Allerede hans tidlige arbeider vakte internasjonal oppmerksomhet. I 1999 ble han tildelt H.M. Kongens gullmedalje for sin dr.scient.-avhandling. Tidligere i år fikk han Nansenfondets belønning for yngre forskere. Etter doktorgraden har han postdoc-erfaring fra NORDITA i København (der han fra i år også er Corresponding Fellow) og fra Cambridge University. I 2003 ble han ansatt i sin nåværende stilling som førsteamanuensis ved UiO.

Vi gratulerer!

Eivind Osnes

∞

Jøran Moen

Professor Jøran Moen (f. 1963) ble tildelt en 5-årig bevilgning fra NFR på 7 millioner kroner. Hans

visjon er å etablere et senter for romforskning og romteknologi med spennvidde fra grunnforskning til applikasjoner for industrielle formål. Et tverrfaglig samarbeid med SINTEF og KDA (Kongsberg Defence Agency) er alt etablert.

Jøran Moen ble dr.scient. ved Universitet i Oslo i 1994 på avhandlingen *Dynamics of the cusp ionosphere*, som vakte internasjonal oppmerksomhet. Samme år ble han ansatt som førsteamanuensis ved Universitetsstudiene på Svalbard (UNIS) og ble professor samme sted i 1999. I 2000 ble Moen utnevnt til professor ved UiO samtidig som han ble professor II ved UNIS.

Moens publikasjonsliste er imponerende og omfatter 98 vitenskapelige publikasjoner i internasjonale tidsskrifter og 46 konferansebidrag. Publikasjonene viser både bredde og dybde, og Moen skårer høyt i Science Citation Index. Han har også en betydelig populærvitenskapelig produksjon, og ble rangert som "excellent" i NRFs evaluering i år 2000.

Moens evner som idéskaper og initiativtager til nye forskningsprosjekt gjenspeiler seg i et stort antall medarbeidere i Europa, USA, Canada og Japan. Han er kjent som en inspirerende og allsidig foreleser og har veiledet en rekke hovedfags- og dr.-studenter, både norske og utenlandske.

Som forsker har Moen konsentrert seg om følgende hovedoppgaver: 1) Kartlegging av den polare ionosfære hvor ulike typer av dagnordlys spiller en sentral rolle. 2) Koordinerte EISCAT- og bakkemålinger med samtidige satellittobservasjoner for å forklare dynamikken i ulike fysiske ionosfæreporsesser. 3) Empiriske og eksperimentelle studier av magnetosfæren. Han er initiativtager og "principal investigator" for et nytt, viktig rakettprosjekt kalt TARGIT ICI-I.

Moen har organisert flere, nasjonale og internasjonale symposier og workshops, og har tatt på seg tunge administrative oppgaver både ved UNIS – hvor han hadde ansvaret for oppbyggingen av romfysikkundervisningen – og UiO i forbindelse med det nye studieopplegget. Han sitter nå i styret for Norsk Romsenter. I tillegg har han gjort en imponerende innsats i studieopplegg og arbeid med lærebøker både ved UNIS og UiO. Han er leder for Gruppe for plasma- og romfysikk ved UiO.

Vi gratulerer!

Alv Egeland

Trine Tveter

Professor Trine Tveter er tildelt midler under dette programmet til sitt prosjekt "Exploring the nuclear phase diagram using hard and electromagnetic probes".

Prosjektet tar for seg voldsomme kollisjoner mellom tunge atomkjerener der "smådelene" nukleonene (bygd opp av kvarker, antikvarker og gluoner) forventes å bli frigjort og danne et kvark-gluon plasma. Dette plasmaet er svært kortlivet og kondenseres til en gass av hadroner. Målt utbytte og energifordeling av hadroner som dannes i kollisjonen, vil være sterkt avhengig både av plasmaets egenskaper og prosesser i den avsluttende hadrongassfasen. Direkte fotoner og dileptoner, som er immune mot den sterke vekselvirkningen, bærer uforandret informasjon fra reaksjonens tidligste stadier.

Professor Tveter har vært ledende i arbeidet som norske tungioneforskere utfører i BRAHMS-eksperimentet ved RHIC akseleratoren i Brookhaven. I fysikkprogrammet som startet i 2000, blir kvark-gluon-plasmaets egenskaper inngående studert gjennom data bl.a. fra Au-Au-kollisjoner ved en massesenterenergi på 200 GeV pr. nukleonpar. Det er observert klare indikasjoner på modifikasjon av hadroniske energifordelinger i et plasma med frie fargeladninger.

Tungionemiljøet i Norge er også sterkt involvert i ALICEeksperimentet ved LHC-akseleratoren ved CERN. Oppstart av fysikkprogrammet forventes i 2007, med p-p-kollisjoner ved en massesenterenergi på 14 TeV, fulgt av Pb-Pb-kollisjoner ved 5,5 TeV pr. nukleonpar. ALICE detektoren er konstruert for å måle både hadroniske og elektromagnetiske variable med stor presisjon. En sentral del av Tveters prosjekt vil være forberedelser til ALICEeksperimentet og analyse av de første datasettene.

Vi gratulerer!

Gunnar Løvholden

∞

Kvantemekanikk 100 år etter Planck - II

Jon Magne Leinaas *

Dette er andre del av et foredrag som ble holdt i Det Norske Videnskaps-Akademi 27. september 2001, og ble trykket i akademiets årbok for 2001. I første del, trykket i FFV nr. 2/04, ble det gitt en sammenfatning av viktige historiske bidrag til utviklingen av kvantemekanikken med Plancks banebrytende bidrag som utgangspunkt. I denne delen av foredraget omtales noen moderne aspekter ved kvantemekanikken med kvanteinformasjon som et sentralt begrep.

Kvantemekanikk og informasjon

Einstein ble en viktig opposent til kvantemekanikken slik den ble formulert av Bohr og hans mange medhjelpere, og debatten mellom Einstein og Bohr om denne nye teorien vakte oppsikt langt utover fysikernes rekke. Debatten berørte sentrale elementer i forståelsen av kvantemekanikken, og den har hatt etterdønninger helt opp til vår tid. Det var *sannsynlighetsfortolkningen* som sto sentralt i diskusjonen. Einstein fant det uakseptabelt at et statistisk element var bygget inn i teorien på en slik måte at det ikke kunne tilskrives en usikkerhet i *beskrivelsen* av fenomenet, men en usikkerhet (eller uskarphet) i *fenomenet selv*. For Bohr var dette det sentrale element i den nye teorien, og det ga uttrykk for hans grunnleggende komplimentaritetsprinsipp. Einstein tolket det i stedet som en ufullstendighet i kvantemekanikkens beskrivelse av de fysiske fenomen.

Kvantemekanikken, slik den ble formulert, tillot ikke et klart skille mellom det som var *mulig* (i statistisk forstand) og det som var *virkelig*. En skarp og overbevisende analyse av dette forhold ble gitt av Einstein i en artikkel sammen med Podolsky og Rosen i 1935 (EPR-paradokset).⁽¹⁾ De lot der muligheten være åpen for at problemet kunne skyldes at den etablerte beskrivelse av kvan-

temekanikken var ufullstendig. I virkeligheten innebar kvantemekanikken et mer alvorlig brudd med klassiske forestillinger, og i 1964 viste John Bell at kvantemekanikkens forutsigelser var uforenlige med det som kunne tillates i en (lokal) deterministisk teori, hvor ukjente variable ville gi opphav til det statistiske element i beskrivelsen.⁽²⁾ Han formulerte det som noen ulikheter som enhver klassisk teori (lokal og realistisk) måtte tilfredsstille, men som ifølge kvantemekanikkens forutsigelser ikke var oppfylt. Bruddet på Bells ulikheter har senere vært påvist eksperimentelt i en rekke forskjellige sammenhenger.

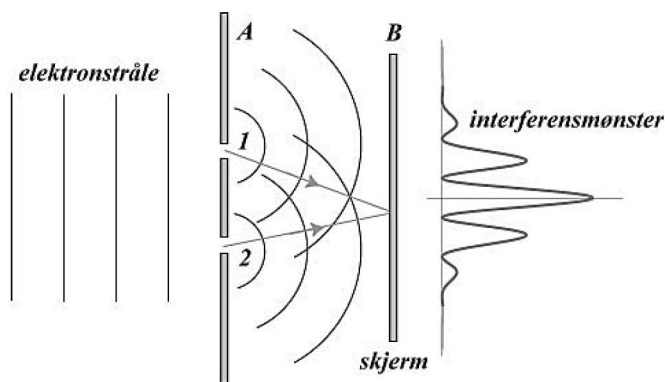
I de senere år er diskusjonen mellom Einstein og Bohr blitt satt inn i en ny sammenheng i og med at forskjellen mellom kvantemekanikk og klassisk teori, som er demonstrert i bruddet på Bells ulikheter, kan sees på som en ressurs som kan utnyttes i informasjonssammenheng. For å gi en antydning av hva som ligger i dette, vil jeg begynne med å gå tilbake til det mye omtalte dobbeltspalteksperiment som i kvantemekanikkens barndom ble benyttet som et tankeeksperiment for å demonstrere elektronenes bølgenatur. Det er senere blitt gjennomført som virkelige eksperimenter, ikke bare for elektroner, men også for atomer og tyngre partikler.

Dobbeltspalteksperimentet

I dette eksperimentet, som er skjematisk vist i figur 1, sendes en elektronstråle mot en skjerm med to spalter. Dynamikken er styrt av Schrödingers bølgeligning, og siden spaltene deler den innkommende bølgen i to delbølger, vil det oppstå en interferens mellom bølgene på baksiden av skjermen. Interferensfenomenet kan studeres i form av intensitetsvariasjoner på skjerm nummer to som ligger bak den første.

Interferensfenomener er naturligvis ikke noe som er ukjent eller vanligvis er vanskelig å forstå. Det er et typisk bølgefenomen; og når f.eks. to overflatebølger interfererer betyr det at væskepartik-

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo



Figur 1. Dobbeltspalteeksperimentet

En stråle av elektroner med skarp energi og impuls sendes mot en skjerm med to åpninger. Elektronene som passerer hullene registreres på skjerm nummer to og gir der opphav til en varierende intensitetsfordeling. Elektronenes bølgeegenskaper demonstreres ved at variasjonene har form av et interferensmønster. Det kan forklares ved at elektronene beskrives ved en bølgeforplantning hvor de to delbølgene som passerer hver spalte interfererer. Det er differansen i veilengde målt langs veier gjennom de to spaltene som avgjør om interferensen er konstruktiv eller destruktiv.

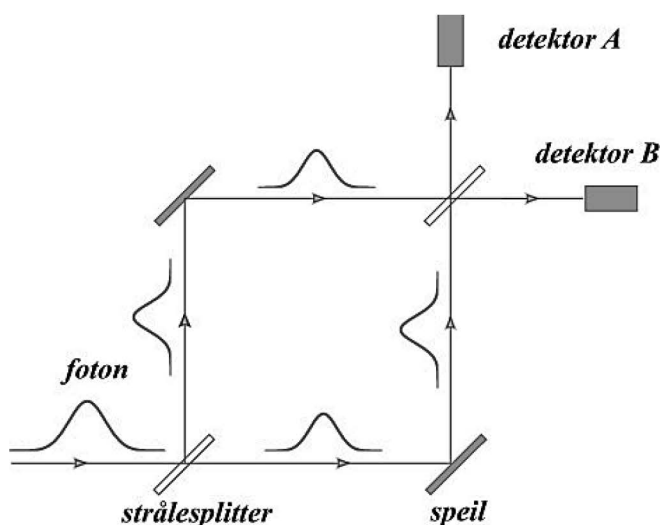
lene påvirkes av bevegelsen som formidles av begge bølgene. Det er altså snakk om en vekselvirkning mellom alle deler av bølgene, som formidles via de lokale kreftene i væsken.

Hva så med elektronbølgen? Den beskriver bevegelsen til en skur av partikler som passerer de to spaltene. Er det ikke mulig at interferensmønsteret skyldes en vekselvirkning mellom alle elektronene, både de som passerer den øvre og den nedre spalten? Nei, elektronbølgen fortolkes som en sannsynlighetsbølge som beskriver bevegelsen til ett enkelt elektron, uten hensyn til de andre. (Er det stor tetthet av elektroner, må vi også ta hensyn til vekselvirkningen mellom dem.) Det betyr at hvis vi reduserer intensiteten slik at bare én partikkel (med stor sannsynlighet) befinner seg i eksperimentområdet på et gitt tidspunkt, så vil likevel intensitetsfordelingen som bygger seg opp over tid, vise det samme interferensmønster.

Hvis vi tenker oss at interferensmønsteret gir oss informasjon om elektronbanene, dvs. spaltene som elektronene beveger seg gjennom, er det vanskelig å unngå den konklusjon at denne informasjonen bæres i sin helhet av hvert enkelt elektron. Men det paradoksale er at selv om hvert elektron bærer den fulle informasjon om de to spaltene, vil den ikke kunne *formidle* hele denne informasjonen. Et enkelt elektron setter ett punkt på skjermen, og et stort

antall elektroner må til for å bygge opp interferensmønsteret.

En forenklet utgave av et dobbeltspalteeksperiment i form av et Mach-Zehnder interferometer, er vist i figur 2. Her er det fotoner som sendes inn (ett av gangen) mot en strålesplitter som med 50 % sannsynlighet sender det videre i horisontal eller i vertikal retning. (De to mulige veiene for fotonet svarer til de to spaltene for elektronet.) Ved hjelp av to speil sendes fotonet videre til en strålesplitter nummer to, og etter å ha passert denne detekteres fotonet enten av detektor A i vertikalretningen, eller av detektor B i horisontalretningen.



Figur 2. Interferometer

Et foton kan velge mellom to mulige veier fra det kommer inn til det registreres i en av de to detektorene. Sannsynligheten for at det detekteres i A eller B, er bestemt av summen av sannsynlighetsamplitudene for de to veiene. Interferometeret kan settes opp slik at sannsynligheten for deteksjon i B er null på grunn av destruktiv interferens mellom amplitudene. Det betyr at når begge veier er åpne vil fotonet med sikkerhet detekteres i A. Når en av banene er blokkert, er det imidlertid like stor sannsynlighet for deteksjon i A og B.

Ut fra vanlig sannsynlighetsvurdering kommer man lett til den konklusjon at et foton som sendes gjennom interferometeret med like stor sannsynlighet detekteres av detektor A som B, siden begge strålesplitterne med like stor sannsynlighet sender et innkommende foton videre i en av de to mulige retningene. Men dette er ikke riktig. Fotonets bevegelse mot detektorene styres av en *sannsynlighetsamplitude*, og sannsynlighetene for deteksjon i A eller B påvirkes av interferens mellom am-

plitudene for fotonets to mulige baner. Det er mulig å regulere avstandene i oppsettet slik at vi får fullstendig utslukking av signalet til detektor *B* (destruktiv interferens) mens signalet til *A* blir forsterket (konstruktiv interferens). Sammenligner vi med dobbeltspalteeksperimentet, vil detektor *B* altså svare til et intensitetsminimum mens detektor *A* svarer til et intensitetsmaksimum.

La oss anta at vi har én av fire mulige situasjoner:

- øvre og nedre bane er begge åpne
- øvre bane er åpen og nedre lukket
- øvre bane er lukket og nedre er åpen
- begge banene er lukket.

La oss videre anta at vi ikke vet hvilken av disse situasjonene vi har, men at vi sender fotoner gjennom interferometeret for å få informasjon om dette. Vurdert ut fra klassisk fysikk vil vi si at ett enkelt foton kan gi oss informasjon om én av banene, men ikke om begge. Men kvantemekanisk er det mulig å få informasjon om begge banene fra ett enkelt foton.

La oss nemlig anta at ett foton sendes gjennom interferometeret og registreres i detektor *B*. Vi kan da dra den slutning at begge baner ikke kan være åpne (for da er sannsynligheten null for deteksjon i *B*) og begge baner kan heller ikke være lukket (det ville utelukke deteksjon både på *A* og *B*). Altså, én av banene er åpen og én er lukket, men vi vet ikke hvilken som er åpen og hvilken som er lukket. Ett foton kan på denne måten gi oss informasjon om begge banene. Dette kan ikke forstås ut fra klassisk fysikk, og det kan ikke forklares ved at fotonet deler seg og følger begge banene. Det er sannsynlighetssamplituden som deler seg. Vi kan si at kvantemekanikken åpner en mulighet for å samle og bearbeide informasjon på en ikke-lokal måte. Fotonet som detekteres i *B* kan sies å følge én bane (den åpne), men samtidig kan det gi oss informasjon om den andre banen, nemlig at den er lukket.

Elitzur, Vaidman og bomben

For noen år siden ble det publisert en artikkel som dramatiserte dette informasjonsaspektet ved kvantemekanisk interferens.⁽³⁾ La meg her gjengi litt av ideen i følgende form:

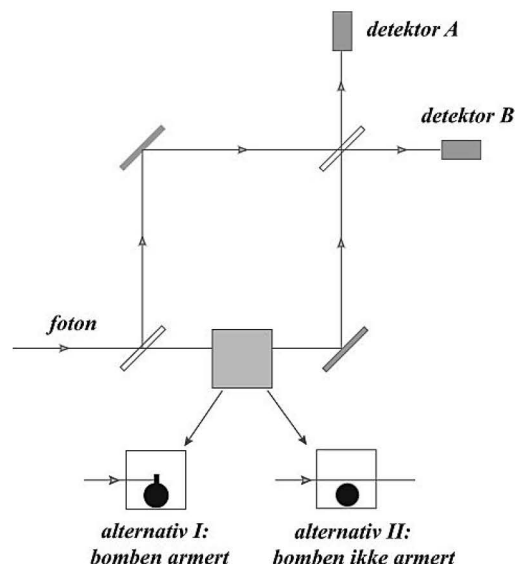
Vi tenker oss at to fysikere mottar en pakke med et følgebrev. I følgebrevet står det at pakken inneholder en bombe som kan være armert eller ikke armert. Den utfordring fysikerne får er å finne en metode til å kunne påvise om bomben er armert, uten at bomben blir utløst ved un-

dersøkelsen. Det forklares videre at spørsmålet om bomben er armert, kan i prinsippet avgjøres ved å åpne et vindu på hver side av pakken og sende et lyssignal gjennom. Hvis bomben er armert vil utløsermekanismen ikke slippe signalet gjennom, men hvis bomben ikke er armert vil det slippe uhindret igjennom. Problemet er at utløseren er så lysømfintlig at selv ett eneste foton som treffer den vil detonere bomben.

Fysiker *A* sier om dette noe som synes opplagt: Hvis bomben er armert er det umulig å kunne påvise dette uten at den går i lufta. Den minste påvirkning vi kan tenke oss å gjøre når den undersøkes, er å sende ett foton, og det er nok til at den detonerer.

Men fysiker *B* som har forstått mer av kvantemekanikken, sier: Nei, det er en mulighet for å kunne påvise at bomben er armert uten at den detonerer. Tenk deg følgende: Vi setter opp et Mach-Zehnder interferometer på en slik måte at pakken kan plasseres i den ene lysbanen. Vi tenker oss at vi i fullstendig mørke åpner begge vinduene. Bombepakken er plassert slik at hvis bomben ikke er armert, vil et foton som følger denne lysbanen gå uhindret gjennom, men hvis bomben er armert, vil fotonet bli stoppet.

La oss nå tenke oss at ett enkelt foton blir sendt gjennom interferometeret. La oss videre tenke oss at fotonet blir registrert i detektor *B* (se figur 3).



Figur 3. Er bomben armert?

Hvis bomben ikke er armert, er begge fotonbaner åpne og sannsynligheten for deteksjon i *B* er null. Det medfører at hvis fotonet detekteres i *B* kan vi slutte at bomben er armert, slik at nedre bane er blokkert. Fotonet har imidlertid ikke vekselvirket med bomben siden det må ha valgt øvre bane for å slippe igjennom til detektoren.

Hvilken konklusjon kan vi da trekke? Jo, vi vet at apparatet er satt opp slik at fotonet ikke kan nå B hvis begge lysbanene er åpne, altså må en av dem være lukket. Men det eneste som kan stenge en av lysbanene er at utløsermekanismen er på plass. Dette vil altså si at fotonet som detekteres i B må ha fulgt den øvre banen (den som er åpen), men samtidig har det gitt oss informasjon om den nedre banen, at den er stengt. Vi har på denne måten fått informasjon om at bomben er armert uten at fotonet har utløst bomben!

En kan naturligvis påpeke at fotonet kunne ha "valgt" den nedre banen og dermed utløst bomben. Det viktige poenget her er likevel at vi med en viss sannsynlighet kan få ut den ønskede informasjon uten at fotonet vekselvirker med bomben. Dette omtales gjerne som *vekselvirkningsfri måling*. Med et mer intelligent oppsett kan vi minske sannsynligheten for at bomben blir utløst og likevel få den ønskede informasjon ut.

Muligheten for vekselvirkningsfri måling demonstrerer tydelig for oss at det fysiske grunnlaget for informasjonsbehandling blir endret radikalt når kvantemekanikken kommer til anvendelse.

Fra bits til qubits

I den klassiske informasjonsteori opererer man med en minste enhet for informasjon, en bit. Det er en variabel som kan anta bare to mulige verdier som gjerne gis tallverdiene 0 og 1. En informasjonsmengde kan kodes inn i en serie av slike bits, og som kjent er det ikke bare i teorien, men også i den praktiske virkelighet dette gjøres. Vi snakker da om digital informasjonskoding.

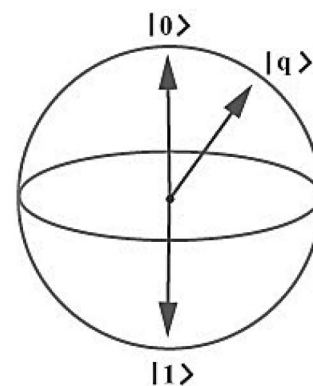
Det typiske for en kvantemekanisk variabel, i motsetning til en klassisk variabel, er at verdien ikke nødvendigvis er skarpt definert selv når en fullstendig informasjon om systemet er tilgjengelig. Det er en grunnleggende uskarphet til stede som uttrykkes ved at de mulige tilstander er beskrevet ved en sannsynlighetsamplitude definert over de mulige (målbare) verdier for variabelen. Dette har betydning for hvordan vi oppfatter grunnenheten for informasjon i en kvantemekanisk verden.⁽⁵⁾

En bit kan vi se på som den informasjonsmengden som er lagret i et (klassisk) fysisk system med to mulige tilstander, 0 og 1. La oss se på et tilsvarende kvantemekanisk system, dvs. et system beskrevet av en kvantemekanisk variabel som også kan anta to mulige verdier, 0 og 1. De tilsvarende kvantemekaniske tilstander kaller vi $|0\rangle$ og $|1\rangle$. Men

i motsetning til det klassiske systemet er ikke de mulige *tilstandene* til systemet begrenset til disse to. Generelt kan en tilstand være en superposisjon av $|0\rangle$ og $|1\rangle$ (se figur 4). En slik tilstand,

$$|q\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle,$$

tolkes som en sannsynlighetsamplitude, hvor α og β er komplekse koeffisienter der den kvadrerte verdi $|\alpha|^2$ gir sannsynligheten for å få verdien 0 ved måling av variabelen, og $|\beta|^2$ gir sannsynligheten for å måle 1. Dette vil si at den fysiske variabelen har ikke enten verdien 0 eller 1, men den har en iboende uskarphet som kommer til uttrykk ved at måleverdien i en slik tilstand beskrives ved en sannsynlighetsfordeling over 0 og 1.



Figur 4. Qubit-tilstander

Vi kan visualisere de kvantemekaniske qubit-tilstander som punkter på en kuleflate. De klassiske tilstander 0 og 1 svarer til nordpolen og sørpolen på kuleflaten.

Det er blitt vanlig å se på en slik variabel som en grunnenhet for kvantemekanisk informasjon, og i denne sammenheng betegnes en to-tilstandsvariabel for en *qubit* (*quantum bit*). Det interessante er at hvis slike qubits kan benyttes til informasjonsbehandling og informasjonsoverføring, så gjør kvantemekanikkens lover at det åpner seg nye muligheter i forhold til klassisk informasjonsbehandling.

Kvantedatamaskiner

Den mest omtalte idé gjelder såkalte *kvantedatamaskiner*.⁽⁴⁾ Den er basert på antagelsen at qubits kan bearbeides i logiske kretser på en lignende måte som bits bearbeides i en vanlig klassisk datamaskin. En tenker seg at logiske enheter (*logiske porter*) bearbeider enkelt-qubits eller par av qubits i et nettverk som skissert på

systemer av vekselvirkende qubits etter hvert skal kunne konstrueres.⁽⁷⁾

Kvantemekanikk 100 år etter

Det er ingen tvil om at kvantemekanikken, både som grunnleggende teori og som basis for den moderne teknologiske utvikling, er en meget vital hunderåring. Den ligger bak vår forståelse av materiens oppbygning og av de grunnleggende fysiske prosesser i naturen. De teknologiske nyvinninger gjør det mulig å manipulere fysiske systemer på en stadig mindre målestokk, og med denne nanoteknologien blir betydningen av kvantemekanikkens lover stadig større. Kvantemekanikken gjør det mulig å designe materialer og prosesser på helt nye måter.⁽⁸⁾

Jeg har her gitt spesiell oppmerksomhet til et av de viktige forskningsfeltene i dag som har med kvanteinformasjon å gjøre. Informasjonsaspektet ved kvantemekanikken åpner nye muligheter for intelligent manipulering med fysiske systemer sammenlignet med det den klassiske fysikk tillater. Å få grep på, og å kunne utnytte kvanteinformasjon er en stor utfordring for dagens fysikere. Mye av innsatsen på dette området i dag er styrt av forventninger om at dette vil være av avgjørende betydning for morgendagens teknologi. Men også et annet aspekt ved skjæringspunktet mellom kvantemekanikk og informasjon er viktig. Det gjelder det aspektet som Einstein aldri slo seg til ro med: Hvordan skal vi forstå (og forene) det subjektive aspektet ved kvantemekanikken, det at den beskriver vår begrensede forståelse av fenomenene, og det objektive, at den beskriver virkeligheten som ligger bak de observerte fenomenene? Kvantemekanikken blander sammen *det mulige* og *det virkelige* på en måte som er vanskelig for oss å fatte. Samtidig er det denne sammenblandingen som muliggjør de nye anvendelsesområder av kvantemekanikken.

Kvantemekanikken gir oss altså nye utfordringer 100 år etter at Planck innførte energikvantet. Det gjelder manipulering med qubits og med andre systemer på det mikroskopiske plan. Men det er ikke den eneste utfordring. Vår forståelse av teorien for kvantefelter er fremdeles begrenset, ikke minst i samspillet med gravitasjon. Dette samspillet er av betydning i den andre enden av skalaen, i kosmologisk sammenheng, hvor universets utvikling er betinget av vekselvirkningen mellom gravitasjon og kvantefelter. Også her er det mye vi ikke forstår, og som skaper store utfordringer når det gjelder den videre utvikling av kvantemekanikken.

Referanser

1. A. Einstein, B. Podolsky og N. Rosen: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered as Real?* Physical Review **47**, 777 (1935)
2. John S. Bell: *On the Einstein Podolsky Rosen paradox.* Physics **1**, 195 (1964)
3. A.C. Elitzur og L. Vaidman: *Quantum mechanical interaction-free measurements.* Foundations of Physics **23**, 987 (1993)
4. Se f.eks. M.A. Nielsen and I.L. Chuang: *Quantum Computation and Quantum Information.* Cambridge University Press (2000)
5. Peter W. Shor: *Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring.* In Proceedings of the 35th Annual Symposium on the Foundations of Computer Science, red. S. Goldwasser, IEEE Computer Society Press (1994)
6. E. Knill, R. Laflamme og W.H. Zurek: *Resilient quantum computation.* Science **279**, 342 (1998)
7. Se artikler i Quantum Computing, red. S. Braunstein, Wiley-VCH (1999)
8. Se artikler i Scientific American, september (2001)

∞

HUSK Å MELDE
ADRESSEFORANDRING

Svart hull informasjonsparadokset

Øyvind Grøn *

I sommer meldte dagspressen og NRK at Steven Hawking nå hevdet å ha løst et 30 år gammelt problem i teorien for svarte hull. Problemet var at når materie kollapser til et svart hull som så fordamper, går informasjonen om denne materiens egenskaper tapt. Men dette er i konflikt med kvantemekanikkens grunnprinsipper som forbyr et slikt tap av informasjon.

Informasjonstap i svarte hull som fordamper

Ifølge kvantemekanikken kan ikke informasjon gå tapt. Informasjonsbevaring følger av kvantemekanikkens grunnprinsipper. Dersom det eksisterer prosesser der informasjon går tapt, vil dette ha alvorlige konsekvenser for kvantemekanikkens, og dermed for den moderne fysikkens, grunnlag.

Svarte hull er avgrenset av en horisont. Det er en flate som virker som en enveis membran. Materie og energi kan falle inn gjennom horisonten, men kan ikke passere ut, i hvert fall ikke så lenge man kun ser på ikke-kvantemekaniske prosesser. Men i 1975 brukte Steven Hawking kvantemekanikken og relativitetsteorien til å vise at svarte hull kan ha en temperatur og kan sende ut stråling. I en semiklassisk analyse viste Hawking at denne strålingen har et termisk spektrum.

I 1976 presenterte Hawking en ny artikkel med tittelen "Sammenbrudd av forutsigbarhet ved gravitasjonskollaps". I denne artikkelen argumenterte han for at nesten all informasjon om egenskapene til materie som faller inn i et svart hull, går tapt. Om du eller jeg skulle falle inn i et svart hull gjør det nesten ingen forskjell. Den eneste informasjonen som blir bevart, er størrelsen av massen, ladningen og spinnets til det som faller inn. Årsaken til at all



Stephen Hawking (Photo by REUTERS/ Stephen Hird)

annen informasjon om den innfallende materien går tapt, eller i det minste blir skjult, er at svarte hull bare har disse tre egenskapene.

Før Hawking viste at svarte hull "fordamper" ved å sende ut stråling, var ikke dette så alvorlig. Dersom svarte hull ikke kunne forsvinne, ville informasjonen som blir borte når et legeme faller inn i et svart hull, ikke representere et genuint tap av informasjon. Det ville bare bety at informasjonen ble skjult bak horisonten til det svarte hullet.

Dersom man for eksempel brenner opp et legeme, hevder fysikerne at informasjonen om legemets fysiske egenskaper ikke blir ødelagt, men bare blir reorganisert på en slik måte at vi ikke greier å ekstrahere den. Hvis energien i legemet for eksempel blir gjort om til elektromagnetisk stråling, vil det eksistere korrelasjoner mellom bølgene i strålingen som inneholder informasjonen om legemet som brant opp. Men i denne formen er informasjonen skjult for oss selv om den ikke er ødelagt.

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

Når det gjelder hawkingstråling fra svarte hull, tyder en semiklassisk analyse på at situasjonen er annerledes. Strålingen kommer fra et fysisk objekt som bare har tre egenskaper: spinn, ladning og masse, målt av en observatør utenfor hullet. Om det skulle være lagret mer informasjon om den innfallende materien i området innenfor horisonten til det svarte hullet, så kan ikke observatøren utenfor horisonten få tak i den. For alle lyskjeglene vender innover innenfor horisonten. Selv lys som sendes utover trekkes innover. For å komme ut, måtte informasjonen bevege seg med overlyshastighet.

Uttrykt på en annen måte: Informasjonen på innsiden av et svart hull er ikke kausalt forbundet med en observatør på utsiden. Å bringe informasjon fra innsiden av horisonten til stråling fra utsiden, ville altså representere et brudd på kausalitetsprinsippet. Strålingen fra et svart hull inneholder derfor ikke informasjon om annet enn hullets masse, ladning og spinn. Så når det svarte hullet har fordampet, eksisterer det ikke lenger noen informasjon om annet enn den samlede masse, ladning og spinn til alt det som har falt sammen og dannet det svarte hullet.

Hvis denne beskrivelsen er korrekt, og det virkelig er slik at informasjon tilintetgjøres når et legeme faller inn i et svart hull som senere fordampet, så representerer slike prosesser et brudd på det som kvantemekanikken tillater. Det er denne motsigelsen mellom konsekvensene av kvantemekanikken og relativitetsteorien som kalles *svart hull informasjonsparadokset*. I 1976 hevdet Hawking at i denne sammenhengen er det relativitetsteorien vi må stole på: Kvantemekanikken må revideres.

Entropi og informasjon

Bekenstein og Hawking har formulert en termodynamikk for svarte hull. Her inngår blant annet begrepene energi, temperatur og entropi. Entropi er et mål for mangel på informasjon. Når entropien til et system vokser, minsker informasjonen som systemet inneholder.

Termodynamikkens 2. hovedlov sier at summen av entropien i universet øker. Det betyr at universets samlede informasjon avtar. Tilsynelatende har vi også her en konflikt med kvantemekanikkens informationsbevaring. Fysikerne har imidlertid ikke formulert noe informasjonsparadoks i denne sammenhengen. Det kommer av at termodynamikkens 2. hovedlov er en statistisk lov. Den gjelder ikke på

kvantenivå der alle prosesser er reversible og foregår uten tap av informasjon.

Entropi og tid

Tidspilens retning defineres ofte med utgangspunkt i termodynamikkens 2. hovedlov. Tiden går i den retningen hvor universets entropi vokser. Dette kunne forstås med utgangspunkt i Boltzmanns statistiske mekanikk. Jo flere mikroskopiske tilstander for et system som svarer til en makroskopisk tilstand, desto høyere entropi har systemet. Og jo flere mikroskopiske tilstander som svarer til en makrotilstand, desto større sannsynlighet er det for at systemet skal havne i denne makrotilstanden. Når entropien til et system vokser, utvikler systemet seg mot makrotilstander som har stadig større sannsynlighet.

Når systemet er i en makrotilstand med høy sannsynlighet, vet vi ikke hvilken av et stort antall mikrotilstander systemet befinner seg i. Da har vi liten informasjon om systemet. Utviklingen mot høyere entropi innebærer at informasjonsinnholdet til systemet minker. Ved maksimal kosmisk entropi, er universet i en tilstand med minimal informasjon.

Fra termodynamikken vet vi at entropien stiger ved temperaturutjevning. Ved en utvikling mot termisk likevekt vokser entropien. Hvis dette beskrives kvantemekanisk, bevares informasjonen, men den blir mer og mer skjult. Tendensen til at kvanteinformasjonen blir vanskeligere å lese etter hvert som et system utvikler seg, kalles *termalisering*. Dette er det kvantemekaniske opphavet til termodynamikkens 2. hovedlov.

Entropi og svarte hull

Gyldighetsområdet for relativitetsteorien avgrenses i møte med kvantemekanikken til områder med større utstrekning enn den såkalte plancklengden, $l_P = \sqrt{\hbar \cdot G/c^3} = 1,6 \cdot 10^{-35}$ m, der $\hbar = h/2\pi$, hvor h er Plancks konstant, G er Newtons gravitasjonskonstant og c er lyshastigheten i vakuum. Et kvadrat med sidekant lik plancklengden, l_P , kalles planckarealet.

Entropien til et svart hull er lik en fjerdedel av hullets overflateareal dividert med planckarealet. Denne entropien kan tolkes som et mål for den maksimale mengden av informasjon som blir skjult når materie faller inn i et svart hull. Ifølge "det holografiske prinsipp", kan informasjonen inne i et volum kodes inn på omhyllingsoverflaten til vol-

umet. Man kan da oppfatte det slik at horisonten til et svart hull består av planckenheter som hver inneholder en 'bit' med informasjon. Hvis denne informasjonen ikke er gått tapt, inneholder et svart hull med én solmasse 10^{78} bits med informasjon. Svarte hull er universets mest effektive informasjonslagre. Dessverre er informasjonen skjult for observatører utenfor de svarte hullenes horisont.

Fra et kvantemekanisk synspunkt er det slik at når vi brenner opp et legeme, og i løpet av en rekke prosesser gjør om dets energi til elektromagnetisk stråling, så har vi termalisert informasjonen om legemet, men vi har ikke destruert den. Når legemet faller inn i et svart hull som så fordamper, destrueres imidlertid informasjonen ifølge Hawking. Denne forskjellen kommer av at et svart hull er omgitt av en horisont, mens vårt bål ikke er det. Når legemet gjøres om til stråling, kommer strålingen fra et objekt som kan overføre informasjonen til strålingen. Dermed vil informasjonen om legemet være kodet inn i strålingen.

Strålingen fra et svart hull kommer fra et svært tynt lag rett utenfor horisonten. Hawkings bilde av strålingsprosessen er at en sverm av partikkel antipartikkelpar, inkludert fotoner som er sine egne antipartikler, dannes ved horisonten. Mange par vil være slik at den ene partikkelen befinner seg innenfor horisonten og trekkes inn før partikkelparet rekker å annihilere, mens den andre beveger seg ut fra det svarte hullet. Dette innebærer at partiklene som utgjør strålingen, ikke har kausal kontakt med det informasjonsbærende området innenfor, eller på, horisonten. Dermed vil strålingen fra et svart hull ikke inneholde informasjon om materien innenfor.

Forsøk på å løse paradokset

Bildet av hvordan strålingen fra et svart hull er produsert, innebærer at strålingen kommer fra et lag ved horisonten med plancktykkelse. I områder med så liten utstrekning, er de kvantemekaniske fluktuasjonene av tidrommets geometri så store at de ikke kan neglisjeres. For å beskrive de fysiske prosesser i et slikt område, trenger man en kvantegravitasjonsteori. Noen slik allment akseptert teori finnes foreløpig ikke.

Det har John Preskill grepet fatt i.^(1,2) Han hevder at verken generell relativitetsteori eller kvantemekanikk kan brukes til å avgjøre om kvantekorrelasjoner med informasjon om de fysiske egenskapene til materien som har dannet et svart hull,

kan oppstå i et område med planckdimensjoner ved overflaten av hullet. Hawkings argumentasjon er basert på en semiklassisk analyse av fordampningsprosessen, og leder til det resultat at strålingen ikke inneholder slik informasjon. Med det er ikke opplagt at en slik analyse gir samme resultat som anvendelsen av en kvantegravitasjonsteori ville ha gitt.

Preskill foreslår at den fulle kvantegravitasjonsteorien har som en av sine konsekvenser at det ikke er mulig å lagre mer informasjon på en flate enn én bit per planckareal. Når et svart hull dannes, blir informasjon om den innfallende materien kodet inn i et lag med plancktykkelse ved horisonten til det svarte hullet. Horisontens areal, og følgelig mengden av informasjon som det er plass til der, avtar når hullet sender ut stråling. Dermed overføres informasjonen til strålingen og går ikke tapt.

Foreløpig er Preskills forslag bare en gjetning. Poenget hans er imidlertid at siden vi ikke kan stole på relativitetsteorien og kvantemekanikken når de anvendes på et lag med plancktykkelse, så er slike gjetninger tillatt.

De mest ambisiøse forsøkene på å konstruere en kvantegravitasjonsteori, er basert på superstreng teori. Samir D. Mathur har brukt denne teorien til å konstruere en superstrengmodell for svarte hull.⁽³⁾ Den generelle relativitetsteorien har ikke gitt oss mange hint om hva som er innenfor horisonten til et svart hull. Det eneste som kommer ut av likningene i relativitetsteorien, er at det eksisterer et område som er tomt, helt til man kommer inn til sentrum, og der er det en såkalt singularitet, dvs. et punkt med uendelig stor energitetthet. All massen til det svarte hullet er samlet i dette punktet. At virkeligheten ikke er slik, er vi jo klar over. Vi må i det minste vente at massen er fordelt over et volum med planckstørrelse. Men Plancks konstant er ikke med i den klassiske teorien. Her kommer relativitetsteorien til kort.

Superstrengteorien kan si mer. Mathur laget en modell for et ladd svart hull. Han greide å løse likningene for det tilfellet at hullet har den største ladningen som teorien tillater. Likningene for et nøytralt svart hull er mer kompliserte og har foreløpig ikke latt seg løse. Det bildet som fremkom av Mathur sine beregninger, var at hullet består av et nøste av supersymmetriske strenger. De fyller opp hullet helt ut til horisonten. Ifølge superstrengteorien kommer strålingen som det svarte hullet sender ut, fra dette nøstet av strenger. Strålingen bærer med seg den informasjonen som ligger gjemt i nøstet. Etter hvert tappes strengene for infor-

masjon, og når det svarte hullet er fordampet, er all informasjonen om materien som kollapse og dannet det svarte hullet, kodet inn i strålingen. Hvis man greier å vise at det er slik for alle typer svarte hull, ikke bare for det maksimalt ladde, vil svart hull informasjonsparadokset være løst ved hjelp av superstrengteorien.

Hawkings, Thornes og Preskills veddemål

I 1997 inngikk John Preskill et veddemål med Kip Thorne og Steven Hawking, med følgende ordlyd:

Whereas Stephen Hawking and Kip Thorne firmly believe that information swallowed by a black hole is forever hidden from the outside universe, and can never be revealed even as the black hole evaporates and completely disappears,

And whereas John Preskill firmly believes that a mechanism for the information to be released by the evaporating black hole must and will be found in the correct theory of quantum gravity,

Therefore Preskill offers, and Hawking/Thorne accept, a wager that:

"When an initial pure quantum state undergoes gravitational collapse to form a black hole, the final state at the end of black hole evaporation will always be a pure quantum state."

The loser(s) will reward the winner(s) with an encyclopedia of the winner's choice, from which information can be recovered at will.

Stephen W. Hawking, Kip S. Thorne, John P. Preskill, Pasadena, California, 6 February 1997

I veddemålet nevnes begrepet "pure quantum state", en ren kvantetilstand. I en kvantemekanisk beskrivelse av et system som består av flere partikler, skjelles det mellom en "ren kvantetilstand" og en "blandet kvantetilstand" (mixed state) for systemet. Når systemet er i en blandet tilstand, er det flere kombinasjoner av partikkeltilstander som svarer til hele systemets tilstand enn når systemet er i en ren tilstand. Det er mindre informasjon knyttet til en blandet tilstand enn til en ren tilstand. Hvis et system utvikler seg fra en ren tilstand til en blandet tilstand, er informasjon gått tapt. På kvantenivå bryter en slik utvikling med et av kvantemekanikkens grunnprinsipper, at sannsynlighet er bevart, og innebærer at summen av sannsynlighetene for alle mulige resultater av et eksperiment kan være mindre enn én.

Preskill veddet på at en slik utvikling av et fysisk system som kolliderer til et svart hull, ikke kan skje, mens Hawking og Thorne mente at ved gravitasjonskollaps til et svart hull med påfølgende fordampning av det svarte hullet ved hawkingstråling, vil et system utvikle seg fra en ren tilstand til en blandet tilstand.

Rett før den store GR17-konferansen i Dublin i juli 2004 om relativitetsteorien, sendte Hawking inn følgene beskjed til konferansens sekretær: *"I have solved the black hole information paradox and I want to talk about it."* Hawking sa at etter 30 års funderinger på svart hull informasjonsparadokset var han kommet frem til at informasjon blir bevart også ved gravitasjons kollaps, og at informasjon derfor kan komme ut fra et svart hull. Han annonserte med andre ord at han hadde tapt veddemålet. Men noen mekanisme for å slippe ut informasjon fra svarte hull kom han ikke med.⁽⁴⁾ Han antydte imidlertid følgende: På grunn av kvanteusikkerhet kan man ikke være helt sikker på om et svart hull virkelig er dannet. Både dannelsesprosessen og fordampningen har på kvantenivå et fluktuerende preg. Horisonten kan plutselig opptre og så forsvinne igjen. I så fall vil strålingen fra et svart hull ikke være helt termisk, men vil inneholde korrelasjoner med informasjon om hva som er inne i det svarte hullet.

Denne løsningen av svart hull informasjonsparadokset tyder på at kvantemekanikkens grunnprinsipper vil overleve i en kvantegravitasjonsteori. Men Hawking har foreløpig ikke kommet med noen detaljert presentasjon av sin løsning, så om paradokset virkelig er løst, er fortsatt et åpent spørsmål.

Referanser

1. John Preskill: *Do black holes destroy information?*
Internett: xxx.lanl.gov/ Preprint: hep-th/9209058
2. John Preskill: *Black holes and information: A crisis in quantum physics.*
Denne artikkelen er basert på et foredrag ved Caltech Theory Seminar i 1994. Se Internett: <http://www.theory.caltech.edu/%7Epreskill/talks/blackholes.pdf>
3. Samir J. Mathur: *Resolving the black hole information paradox.* Internett: xxx.lanl.gov/
Preprint: gr-qc/0007011
4. Hawkings foredrag ved GR17 21. juli 2004, er referert og kommentert av John Baez, og finnes på Internett: <http://math.ucr.edu/home/baez/week207.html>.

Moderne litografi

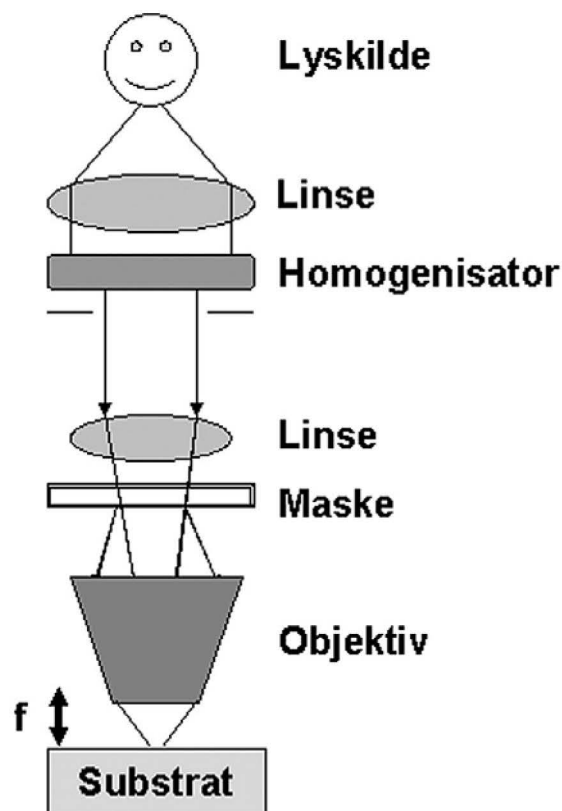
Lars Egil Helseth *

Litografi er ein teknikk for å strukturere materiale på ein kontrollert måte. Denne teknikken har vorte svært viktig dei siste 20 åra, og blir no brukt til å lage alt frå integrerte krinsar til superhydrofobe overflater. Her vil eg sjå på to aktuelle litografiske teknikkar, optisk litografi og atomlitografi. Begge teknikkane har det til felles at det i utgangspunktet er bølgenaturen til lys og atom som set grensa for kor små mønster ein kan lage. Det viser seg likevel at det er mogleg å komme rundt denne sokalla diffraksjonsgrensa i enkelte tilfelle.

200 år med litografi

Litografien vart først oppfunnen av tyskaren Alois Senefelder i 1798 som ein måte å overføre bilder på, og vart seinare adoptert både i Europa og Amerika. Ordet litografi er tatt frå gresk, og betyr noko slikt som "steinteikning". Litografi var på den tida ein mekanisk prosess der heile bildet var på same høgdenivå, i motsetning til feks. relieff, der mønsteret er kutta eller stempla inn. For å kunne få til dette, teikna ein gjerne mønsteret inn på ein stein ved hjelp av eit materiale som ikkje er blandbart med vatn, for eksempel oljefyllt blekk. Deretter fukta ein steinen med vatn, og påførte blekk ved hjelp av ei rulle. Områda der sjølve mønsteret er teikna inn vil då halde på blekket og fråstøyte vatnet, medan resten av bildet gjer det motsette. Til slutt kan ein med noko arbeid overføre bildet ved å presse steinen mot feks. eit papir.

I byrjinga var ikkje litografi særleg populært og vart sett på mest som ein teknikk for å produsere billege kopiar. Ut på 1800-talet vart det likevel meir og meir akseptert blant kunstnarar, også av vår eigen Edvard Munch (1863-1944) som laga blant



Figur 1. Skisse av eit typisk optisk litografisk system.

anna "Madonna" rundt 1895. Litografi i moderne forstand er eit heilt nytt kapittel, som krev mykje meir innsikt i fysikkens verden. Sjølv om målet å overføre mønster er det same som for 200 år sidan, så har metodane forandra seg ganske kraftig. Spesielt er no fokus sett på å forminske bilder, gjerne ned mot atom- og molekylnivå.

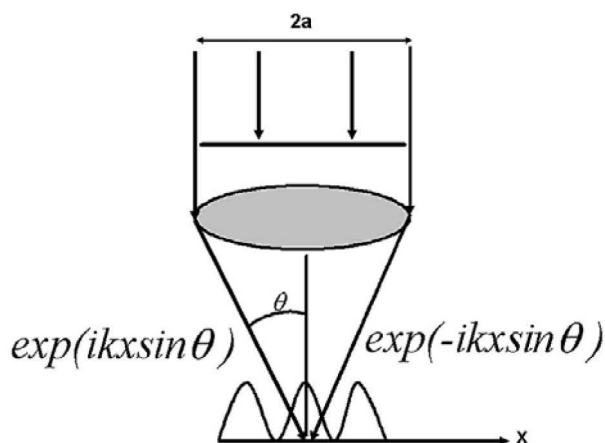
Optisk litografi

På 1960-talet vart optisk litografi meir og meir populært etter kvart som halvleiarindustrien fann denne teknikken ideell for masseproduksjon av integrerte krinsar.⁽¹⁾ Ein tok difor optisk litografi i bruk til alle slags formål der målet var å projisere eit mønster frå eitt substrat til eit anna.

*Department of Chemistry, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306-4390, USA. E- mail: lhelseth@chem.fsu.edu

Figur 1 viser eit typisk system for projeksjon brukt i optisk litografi. Ei nesten monokromatisk lyskjelde strålar frå ein laser eller ei sterk lampe, ned på ein homogenisator, som sørgjer for at lyset blir mest muleg jamt fordelt når det treff mønsteret (maska) ein ønskjer å avbilde. Mønsteret blir deretter fokusert ned på eit fotosensitivt substrat ved hjelp av eit objektiv, og i løpet av kort tid har mønsteret brent seg inn. Objektivet er stort sett ganske likt det ein brukar i mikroskop, og er sett saman av fleire ulike linser for å unngå at kvaliteten på det forminska bildet går ned.

La oss no prøve å finne den best moglege oppløysinga ved hjelp av ein enkel modell. Me tenkjer oss at eit svart, absorberande filter er plassert framfor eit objektiv (ei sylindrisk linse) slik at berre to (tilnærma) planbølgjer som vert brotne heilt ytterst i objektivlinsa forplantar seg i retning av fokalpunktet med ein vinkel θ vist i figur 2. Planbølgje 1 har eit elektrisk felt gitt



Figur 2. Møtande planbølgjer lagar eit interferensmønster i fokalområdet.

ved $E_1(t) = E_0 \exp(ikx \sin \theta)$ på kompleks form, medan planbølgje 2 kan skrivast som $E_2(t) = E_0 \exp(-ikx \sin \theta)$, der $k = 2\pi n / \lambda$ er bølgevektoren, n er brytningsindeksen, λ er bølgjelengda i vakuum, og $i = \sqrt{-1}$. I fokalområdet overlappar desse planbølgjene og lagar eit interferensmønster der den modulerte intensiteten er gitt ved

$$I(x) = I_0 \cos^2(kx \sin \theta) , \quad (1)$$

med I_0 som den maksimale intensiteten.

Avstanden mellom to toppar i dette interferensmønsteret er

$$W = \frac{\lambda}{2NA} , \quad (2)$$

der den sokalla numeriske aperturen er $NA = n \sin \theta$. Men no ser me at for små vinklar kan ein skrive $\sin \theta \approx a/f$, der f er fokallengda og a er aperturstorleiken til objektivet. Den minste detaljen i eit slikt bilde er dermed fastsett av tre faktorar: bølgjelengda λ til lyset, fokallengda f og aperturstorleiken a til objektivet. Gitt desse storleikane, kan ein finne diffraksjonsgrensa ved hjelp følgjande formel ($n=1$):

$$W \approx \lambda \frac{f}{2a} . \quad (3)$$

Dette er den nedre diffraksjonsgrensa som avgjer storleiken på detaljar i eit lysmønster. Det vil seie, me kan ikkje skulpturere mindre strukturar enn avstanden mellom to toppar i interferensmønsteret i figur 2. Det denne likninga fortel oss er at dess mindre forholdet mellom fokallengde og aperturstorleik er, desto betre er oppløysinga i bildet. Dersom ein ønskjer å avbilde veldig små detaljar er det difor viktig å lage objektiv som ikkje har for stor fokallengde og for liten aperturstorleik. I praksis er det vanskelig å lage objektiv der $NA \gg 1$, slik at den optiske oppløysinga avgrensar seg til å vere $W \approx \lambda$. Dermed kan ein seie at oppløysinga i optisk litografi er stort sett bestemt av bølgjelengda til lyset. Tidlegare brukte ein gjerne spektrallinjene frå kvikksølv som lyskilde (for eksempel $\lambda = 405 \text{ nm}$). Sidan kravet til miniatyrisering har fått større og større betydning, prøver ein å gjere λ så liten som mogleg ved å innføre nye laserar med bølgjelengder i det ultrafiolette området ($\lambda \approx 200 \text{ nm}$). Faktisk så vurderar ein no også røntgenstrålar som mogleg kjelde, men slike system er enno ikkje særleg praktiske.

Ikkje-lineær optisk litografi

I lineær optisk litografi som skildra ovanfor, er det lyset sin struktur i fokalområdet som avgjer kor lite litografiet kan verte. Dei fleste fotosensitive materiale brukt i dag er meir eller mindre lineære. Det vil seie at materialet avbildar strukturen i det fokuserte lyset nøyaktig. Men, det viser seg også at dersom substratet ein ønskjer å avbilde mønsteret i ikkje er lineært, så kan ein lett overvinne diffraksjonsgrensa.⁽²⁾ For å sjå korleis dette verkar, vil vi no tenkje oss at substratet er sett saman av molekyl som kan eksiterast frå grunntilstanden A til den eksiterte tilstanden B ved hjelp av lys. Det er N_A molekyl i tilstanden A og N_B molekyl i tilstanden B . Dei to tilstandane A og B har heilt forskjellige materielle eigenskapar, slik at det er

mogleg å skilje desse ved optiske eller andre metodar (for eksempel kan dei absorbere lys ulikt). Tilstand B har også svært lang levetid, og molekyl som hamnar der blir fanga inn i denne tilstanden. Dersom me lyser på dette substratet, vil talet på molekyl i tilstanden A minke proporsjonalt med produktet av intensiteten og N_A , slik at

$$\frac{dN_A}{dt} = -KI(x)N_A, \quad (4)$$

der K er ein konstant som fortel oss kor rask eksitasjonen frå A til B er. Dersom me løyser denne differensiallikninga får me

$$N_A(x, t) = N_A(x, t = 0) \exp[-KI(x)t]. \quad (5)$$

Frå denne likninga ser me at når $t \rightarrow \infty$, så vil ingen molekyl vere att i tilstanden A dersom $I(x) > 0$. Dersom $I(x) = 0$, så vil alle molekyla vere att slik at $N_A(x, t \rightarrow \infty) = N_A(x, t = 0)$. Denne observasjonen fortel oss at dersom me ventar lenge nok vil berre område med $I(x) = 0$ sitte igjen med molekyl i tilstand A , medan alle andre område vil ha molekyl i tilstand B . Dermed treng me berre lage mørke punkter på substratet vårt for få ei oppløysing som er mykje betre enn diffraksjonsgrensa nemnt ovanfor. For eksempel har interferensmønsteret gitt ved likning (1) mørke linjer når $x_m = \lambda/(4\sin\theta), 3\lambda/(4\sin\theta), \dots$ No viser det seg likevel at denne teknikken ikkje har uendeleg god oppløysing, slik som ein kanskje kunne tru. Dette er fordi molekyl i tilstand B har ein tendens til å diffundere over i tilstand A , noko som i praksis gjev ei romleg oppløysing ned mot 20–30 nanometer.⁽²⁾ Men no er det slik at bølglengda i disse eksperimenta ligg rundt 700–800 nm, så det er likevel klart at diffraksjonsgrensa har vorte broten med glans. Ei anna ulempe ved ikkje-lineær litografi er kravet til spesielle, dyre substrat, noko som kan hindre praktisk bruk i nær framtid.

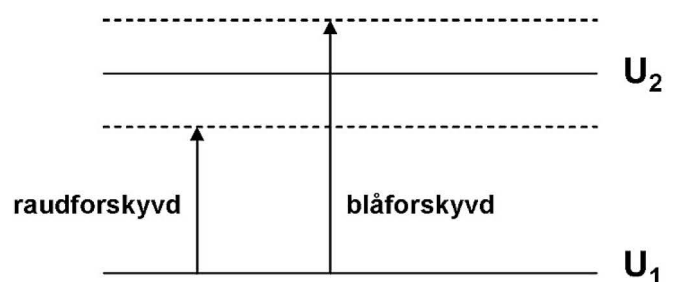
Atomlitografi

Atomlitografi har fått mykje merksemd dei siste tjue åra på grunn av dei ufatteleg små mønstera ein kan lage ved hjelp av denne metoden. Dette kjem av at bølglengda til ei atombølgje er mykje mindre enn den er for lys.

La oss tenkje oss at me fokuserar ein laserstråle slik at den treff eit enkelt atom. Ei kraft oppstår då når atomet absorberer foton, for deretter å sende dei ut att ved spontan emisjon. Denne krafta verkar i retninga til laserstrålen, og er eit re-

sultat av strålingstrykket. Her skal nemnast at den spontane emisjonsraten set ei øvre grense for storleiken på denne krafta. Det verkar også ei anna kraft som har vist seg meir nyttig for praktiske formål, nemleg den sokalla dipolkrafta, som oppstår når lyset induserer eit dipolmoment i atomet.⁽³⁾ Dersom lyset sin intensitet har ein romleg variasjon, vil dette dipolmomentet sørgje for at det verkar ei kraft på atomet.

Ei enkel forklaring på dette fenomenet kan ein få ved å kikke på figur 3. Her ser ein to tilstandar i atomet: grunntilstanden representert ved ein energi U_1 , og den eksiterte tilstanden er representert ved energien U_2 . Resonansfrekvensen til dette tonivåsystemet er gitt ved $\omega_0 = (U_2 - U_1)/\hbar$, der $\hbar = h/2\pi$ og h er planckkonstanten ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$). Det vil seie at når lyset sin frekvens er nøyaktig lik ω_0 , så vil eit atom i grunntilstanden bli eksitert. Dersom lyset sin frekvens er litt mindre enn resonansfrekvensen, så vil atomet i prinsippet ha for liten energi til å hoppe over i den eksiterte tilstanden. Dermed prøver det å kompensere for dette ved å bevege seg mot eit område med høg lysintensitet. Me seier då at lyset er raudforskyvd, og at det tiltrekkjer seg atom. Dersom lyset sin frekvens er litt større enn resonansfrekvensen, så vil atomet i prinsippet ha energi til overs når det hoppar over i den eksiterte tilstanden. For å redusere energien sin, prøver atomet derfor å flytte seg inn mot område med minst mogleg intensitet. Lyset er no blåforskyvd og fråstøyter atom.



Figur 3. Eit atom med grunntilstand U_1 og eksitert tilstand U_2 .

La oss no prøve oss på ei meir kvantitativ forklaring ved hjelp av ein enkel klassisk model. I eit tidsvarierende elektrisk felt, $E(x, t)$, vil eit elektron i eit enkelt atom føle ei kraft $eE(x, t)$, der $-e$ er elektronet si ladning ($e = 1.602 \times 10^{-16} \text{ C}$). Me antar også at dersom elektronet blir forskyvd litt frå sin likevektsposisjon, så vil ei elastisk kraft verke mot denne forandringa. Denne elastiske krafta har forma til ei fjørkraft, altså $-m\omega_0^2 x$, og oppstår fordi ladningane i atomet prøver å halde kvarandre

i likevekt. Her er ω_0 resonansfrekvensen, m er massen til elektronet og x er elektronet sin avstand frå likevektsposisjonen. Newtons 2. lov seier då at $ma = -m\omega_0^2 x - eE(x, t)$.

No er det slik at akselerasjonen er den andrederiverte av posisjonen, $a = d^2x/dt^2$. Dessutan er det elektriske feltet gitt som ei sinusbølgje, $E(x, t) = E_0(x)\sin(\omega t)$, der ω er frekvensen til det fokuserte lyset. Dermed kan Newtons 2. lov skrivast som

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -\frac{e}{m} E_0(x) \sin(\omega t) . \quad (6)$$

Elektronet sin posisjon svingar i takt med det påtrykte elektriske feltet, slik at $x(t) = x_0 \sin(\omega t)$. Sidan den andrederiverte av $\sin(\omega t)$ er $-\omega^2 \sin(\omega t)$, kan me skrive likning (6) som

$$(\omega_0^2 - \omega^2) x_0 = -\frac{e}{m} E_0(x) . \quad (7)$$

Lyset induserar eit dipolmoment i atomet gitt ved $p = -ex(t) = \alpha E(x, t)$, der α er polarisabiliteten til atomet. Denne storleiken seier oss kor stort dipolmomentet blir for eit gitt påtrykt elektrisk felt, og kan skrivast som $\alpha = -e(x_0/E_0)$. Set me dette inn i likning (7), får me

$$\alpha = \frac{e^2}{m \omega_0^2 - \omega^2} . \quad (8)$$

Nær resonans kan me skrive $\omega_0^2 - \omega^2 = (\omega_0 - \omega)(\omega_0 + \omega) \approx 2\omega_0(\omega_0 - \omega)$, slik at

$$\alpha = -\frac{e^2}{2m\omega_0\Delta} , \quad \Delta = \omega - \omega_0 . \quad (9)$$

Me ser at polarisabiliteten til atomet aukar kraftig når me nærmar oss resonansfrekvensen, noko som også betyr at det induserte dipolmomentet aukar tilsvarande. Denne resonansfrekvensen svarar til frekvensen der atomet kan gå frå ein kvantetilstand til ein annan. Vår enkle klassiske modell kan sjølvsagt ikkje skildre overgangar mellom kvantetilstandar i atomet, men me skal om litt sjå at den likevel er ganske nyttig. Me har heller ikkje tatt omsyn til tap. Slike tap oppstår for eksempel når atomet sender ut foton ved spontan emisjon, og vil difor redusere α nær resonans.

Vekselverknaden mellom det induserte dipolmomentet i atomet og det tidsvarierende elektriske feltet, resulterer i følgjande vekselverknadsenergi:

$$U_{dip}(x) = -\frac{1}{2} \alpha E_0^2(x) . \quad (10)$$

Intensiteten kan uttrykkjast ved hjelp av det elektriske feltet $I(x) = (1/2)c\epsilon E_0^2(x)$, der $c = 3 \times 10^8$ m/s er lysfarten og $\epsilon = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m er permittiviteten i vakuum. Dermed kan me skrive

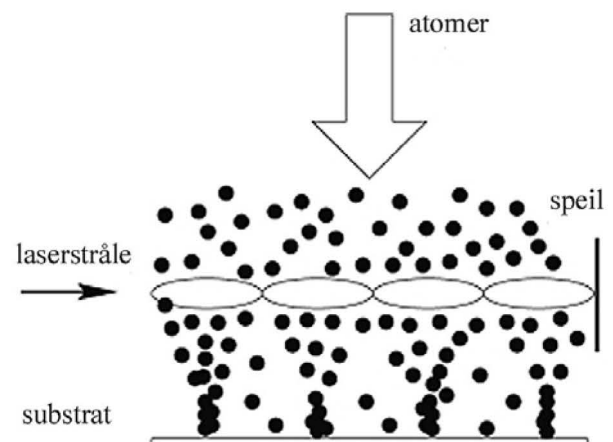
$$U_{dip}(x) = \frac{e^2}{2m\epsilon\omega_0\Delta} I(x) . \quad (11)$$

Dermed er lyset si kraft på atomet (dipolkrafta) gitt ved

$$F_{dip}(x) = -\frac{dU_{dip}(x)}{dx} = \frac{e^2}{2m\epsilon\omega_0\Delta} \frac{dI(x)}{dx} . \quad (12)$$

Frå likningane (11) og (12) merkar me oss to ting. For ei planbølgje med konstant intensitet verkar det ingen dipolkraft på atomet. Berre dersom det er ein romleg variasjon i lyset sin intensitet vil det verke ei kraft. Me ser også at retninga på krafta er avhengig av forteiknet til Δ . Når lyset sin frekvens er større enn resonansfrekvensen, $\Delta > 0$, vil dipolkrafta prøve å dytte atomet ut av det fokuserte lyset. Når lyset sin frekvens er mindre enn resonansfrekvensen, $\Delta < 0$, vil dipolkrafta prøve å dytte atomet inn mot den delen av den fokuserte lysstrålen der intensiteten er maksimal.

Eit typisk eksempel på korleis raudforskyvd lys kan brukast til å fokusere atom ned til fine striper, er vist i figur 4. Her møter den kollimerte (ufokuserte) atomstrålen eit stasjonært interferensmønster generert av to møtande laserstrålar. Atoma "kjenner" ei draging mot område med høg lysintensitet, noko som fører til at dei forandrar retning, og dermed dannar fine linjer på det underliggjande substratet. Kvar interferensstopp i lyset sitt interferensmønster svarar til ei stripe på substratet.



Figur 4. Skisse av eit typisk optisk litografisk system.

No kan ein kanskje lure på kor tynne desse stripene kan bli. For å finne ut av dette, er det nok å hugse på at ifølge Louis de Broglie (1892–1987)

så kan atom også representast som bølger med bølglengde $\lambda_B = h/m_a v_a$, der h er planckkonstanten ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js), m_a er atommassen, og v_a farten til atomet. Bølgjefunksjonen til atoma som møtest i fokalområdet lagar difor interferensmønster på tilsvarende måte som lysbølger. Dermed må også likning (3) gjelde for atom, slik at

$$W_a \approx \frac{h}{2m_a v_a} . \quad (13)$$

Det er difor klart at dess større masse og fart atoma har, desto tynnare blir linjene i fokalområdet. Ein hydrogenstråle ($m_a = 1.67 \times 10^{-27}$ kg) som suser av garde med ein fart $v_a = 500$ m/s skal ein difor i prinsippet kunne fokusere ned til $W_a \approx 0.4$ nm. No viser det seg likevel at det i praksis er vanskeleg å komme under $W_a \approx 1$ nm på grunn av at korkje lys eller atomstråler er perfekte.

Litteratur

1. W.M. Moreau: *Semiconductor Lithography*. Plenum Publishing Co., New York (1988)
2. M. Dyba og S.W. Hell: *Focal Spots of Size $\lambda/23$ Open Up Far-Field Florescence Microscopy at 33 nm Axial Resolution*. Phys. Rev. Lett., **88**, 163901 (2002)
3. J.E. Bjorkholm, R.R. Freeman, A. Ashkin, og D.B. Pearson: *Observation of Focusing of Neutral Atoms by the Dipole Forces of Resonance-Radiation Pressure*. Phys. Rev. Lett., **41**, 1361 (1978)

∞

Et biofysisk fenomen: Er afrikanere lysere enn europeere for fluer?

J. Moan,¹ K. Pagh Nielsen,² L. Zhao,² J.J. Stamnes² og B. Hamre²

Synsområdet for våre øyne strekker seg fra omtrent 400 nm i fiolett til 650 nm i rødt. I dagslys er øyets følsomhet størst ved 550 nm, som er nær solspektrrets maksimum. Ultrafiolett (UV) stråling med bølglengder under 400 nm kan vi ikke se, bare erfare dagen etter at vi er blitt solbrente. Noen insekter, derimot, kan se UV-stråling. Hvilken nytte de har av det, vet vi ikke. Men siden de er små, har de kanskje behov for å beskytte seg mot UV-stråling som kan nå inn til deres vitale organer. Verden fortøner seg derfor annerledes for disse insektene enn for oss, og vi skal se at deres UV-syn kan ha overraskende konsekvenser.

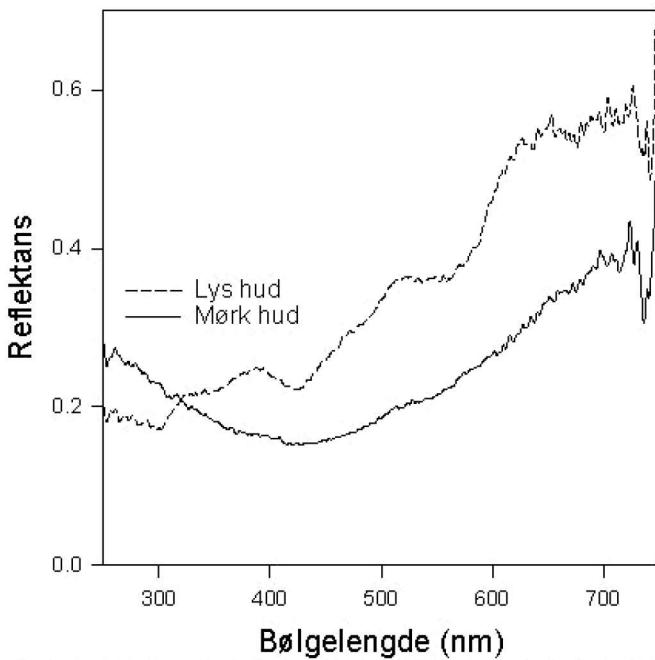
Reflektansen fra hud

For et par år siden begynte vi å utføre spektroskopi på levende menneskehud. Vi målte det såkalte reflektansspektret som forteller oss hvor stor del av innfallende lys og UV-stråling som reflekteres og spres tilbake fra huden ved forskjellige bølglengder. Mange har tidligere utført denne type spektroskopi i det synlige området, og våre spektre var i godt samsvar med tidligere funn. I UV-området, derimot, finnes det knapt pålitelige reflektansspektre. Stor var vår forbauselse da vi fant at spektre fra mørkhudede personer krysser spektrene fra hvite ved ca. 310 nm. Under denne bølglengden er altså mørkhudede personer lysere enn lyshudede! Figur 1 viser et eksempel på slike spektre.

Vi har forsøkt å illustrere hvordan en mørkhudet og en lyshudet person ser ut for oss i det synlige spektralområdet og hvordan de ville kunne

¹ Radiumhospitalet og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

² Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen



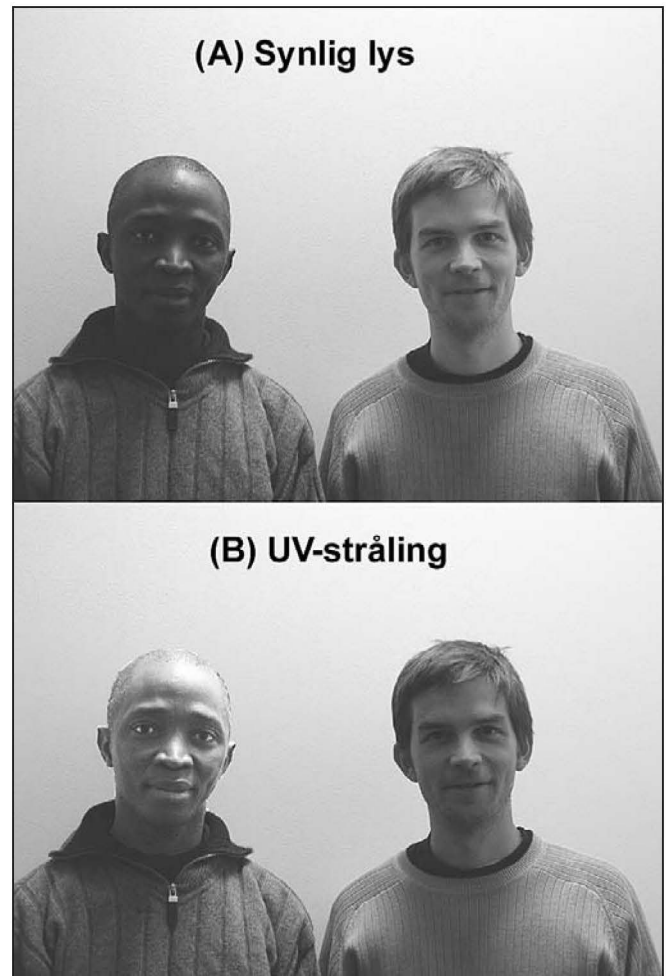
Figur 1. Reflektansspektre for en lyshudet og en mørkhudet person.

se ut for et UV-følsomt øye. Figur 2a viser to personer med forskjellig hudfarge slik de ter seg for oss, mens figur 2b representerer et tankeeksperiment med kunstig pålagte "UV-farger" hvor våre øynes responsfunksjoner for rødt, grønt og blått er flyttet til UV-delen av spekteret slik at de illustrerer en mulig responsfunksjon for insekter med UV-syn. Deretter har vi vektet disse funksjonene med reflektansspektrene fra de to hudtypene. Kanskje fluer ser menneskerasene slik som figur 2b viser? (Mer informasjon om fargespektre og fargesyn finnes for eksempel på Internett: <http://www.cox-internet.com/ast305/color.html/>)

Mørk hudfarge skyldes fargestoffet melanin, som har et bredt absorpsjonsspektrum. Absorpsjonen øker med avtakende bølgelengde gjennom hele det synlige området og langt ned i UV-området. Noen ganger, som ved solbrenthet, kan huden hos lyse personer være rødlig. Dette skyldes absorpsjon i hemoglobinet i blodet. Solbrenthet er en slags betennelsesreaksjon hvor det strømmer mer blod til huden. Men hudfargen skyldes ikke bare absorpsjon; spredning er vel så viktig.

Hudens anatomi

Huden består av tre lag. Det nederste og tykkeste laget heter lærhuden. Tykkelsen varierer mellom en og fire mm og er ulik på forskjellige deler av krop-



Figur 2. En simulert illustrasjon av hvordan en mørkhudet og en lyshudet person kan se ut i forhold til hverandre i det synlige området (a) og i UV-området (b).

pen. Lærhuden består mest av proteinfibre som gir huden styrke og elastisitet. I lærhuden finnes det mange nervetråder og tynne blodårer. De har beskjedne diametre, fra 0,01 til 0,05 mm, men inneholder likevel 5 % av blodvolumet vårt, ca. en fjerdedels liter. Mer enn en halv liter blod flyter gjennom huden hvert minutt, så i løpet av 10 minutter har det meste av blodet vært innom huden og fått en liten lysdose. Hår og svettekjertler har også sine røtter i lærhuden.

Over lærhuden ligger et enkelt lag av basalceller. Disse cellene deler seg jevnt og trutt og gir opphav til keratinocyttercellene, som utgjør det meste av den 0,1–0,2 med mer tykke overhuden. På overhuden ligger 10–20 lag av døde celler. Disse cellerestene er tettpakket og danner hornlaget som fungerer som en barriere mot omverdenen. Nederst i overhuden ligger det noen andre celler kalt melanocytterceller. De lager fargestoffet melanin som gir huden brun farge.

Refleksjon, spredning og absorpsjon i hud

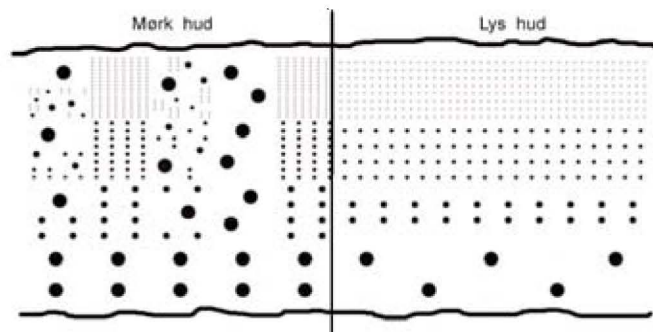
Reflektansspektret for hud bestemmes i hovedsak av seks faktorer: Refleksjon fra overflaten, absorpsjon i melanin, den romlige fordeling av melanin, absorpsjon i hemoglobin (det røde fargestoffet i blod), hudtykkelse og spredning. Refleksjonen fra overflaten avhenger av hornlagets mikrostruktur og av hudens vanninnhold. Den direkte refleksjonen er større fra svett og glatt hud enn fra tørr og ru hud. Men refleksjon fra overflaten utgjør bare et par prosent av reflektansen, og vi vil overse den her. Absorpsjonen i hemoglobin avhenger av oksygeneringsgraden, siden hemoglobin og oksyhemoglobin (hemoglobin med bundet oksygen) har litt forskjellige absorpsjonsspektre. Absorpsjonen i melanin avhenger litt av hudtypen. Vi har nemlig to hovedtyper av melanin, feomelanin og eumelanin. Feomelanin er rødlig, inneholder svovel, og regnes for å gi dårlig solbeskyttelse, kanskje endog hudkreftdannelse ved UV- bestråling. Eumelanin er brunsvart, virker solbeskyttende og kalles ofte "det gode melanin".

Mørke og lyshudede personer

Siden mengden av de to hovedtypene av melanin varierer noe fra person til person, vil også melaninspektret variere litt, men ikke mye, fra person til person. Melaninmengden, derimot, er mye større hos mørkhudede enn hos lyshudede. En mørk afrikaner kan ha opp til ti ganger så mye melanin som en lys europeer. Den romlige fordelingen av melaninet er også forskjellig.

Melaninet dannes i organeller (små volumelementer innesluttet av en membran) i melanocyttcellene som befinner seg nederst i overhuden, 0,1–0,2 mm under overflaten. Hos mørke afrikanere er melanosomene store og noenlunde homogene opp gjennom hele overhuden. Størrelsen av dem er rundt 1000 nm, og er nesten lik i hele overhuden. Hos lyse europeere er melanosomene inhomogene, og hvert melanosom består av flere små-melanosomer. Disse frigjøres etter hvert som melanosomene beveger seg oppover i huden. Melaninet blir da fordelt i mindre og mindre partikler oppover i overhuden, noen med størrelser omtrent lik bølgelengdene i UV-strålingen, og ender opp som melaninstøv i hornlaget. I hornlaget har også mørke afrikanerne melaninstøv i tillegg til noen intakte melanosomer. Konsentrasjonen av melanin er mye

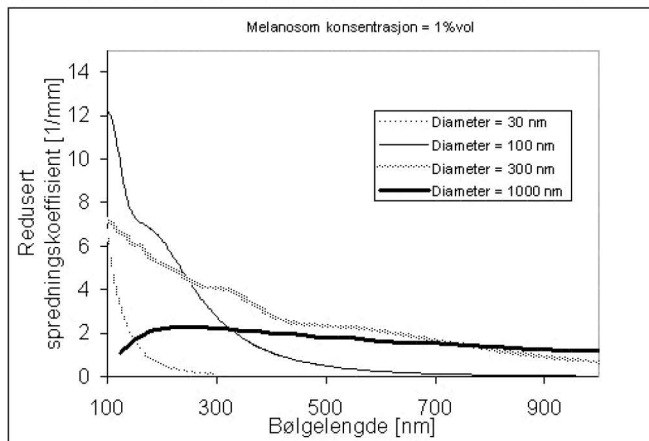
større hos mørkhudede enn hos lyshudede personer. Dette er illustrert på figur 3. Spredningsmekanismene er derfor svært forskjellige i mørk og lys hud. Her ligger grunnen til de overraskende spektrene vi fant (se figur 1).



Figur 3. Fordelingen av melanin i melanosomer med forskjellig struktur hos en mørkhudet (til venstre) og hos en lyshudet person (til høyre). De store mørke flekkene illustrerer intakte melanosomer, mens de små flekkene illustrerer melanosomfragmenter og melaninstøv. (For enkelhets skyld har vi ikke skilt mellom de forskjellige hudlagene.)

Lysspredningen i hud er en kombinasjon av Rayleigh-spredning (spredning på partikler som er mye mindre enn bølgelengden) og Mie-spredning (spredning på større partikler). Melanosomfragmentene har dimensjoner som bølgelengdene for lys og UV-stråling og nedover. Derfor er begge typer spredning viktig. Tverrsnittet for Mie-spredning varierer lite med bølgelengden, mens tverrsnittet for Rayleigh-dominert spredning er omvendt proporsjonalt med bølgelengden i fjerde potens. For ren Rayleigh-spredning er altså spredningstverrsnittet 16 ganger større ved 300 nm enn ved 600 nm. I figur 4 har vi beregnet den såkalte "reduerte spredningskoeffisienten" for partikkelstørrelser med diameter 30, 100, 300, og 1000 nm. Denne spredningskoeffisienten indikerer hvor mye lys som spres tilbake.

I UV-området er inntrengningsdybden for stråling meget liten på grunn av den sterke absorpsjonen i proteinene, kanskje også i DNA. Lite UV-stråling kommer derfor gjennom det tynne hornlaget. Tilbakespredningen øker sterkt med avtakende bølgelengde, særlig i nærvær av mange små partikler som melaninstøvet i hornhuden (figur 4). Både absorpsjonen og tilbakespredningen øker med økende melaninmengde. Men



Figur 4. Bølgelengdeavhengigheten for den reduserte tilbake-spredningskoeffisienten for kuler med ulike diametre som angitt på figuren. Denne koeffisienten er proporsjonal med den tilbakespredte strålingen. Vi har antatt at 1 % av volumet utgjøres av melanosomer og melanosomfragmenter. Figuren viser at tilbakespredningen for intakte melanosomer er lite bølgelengdeavhengig, mens den øker sterkt med avtakende bølgelengder for melanosomfragmenter.

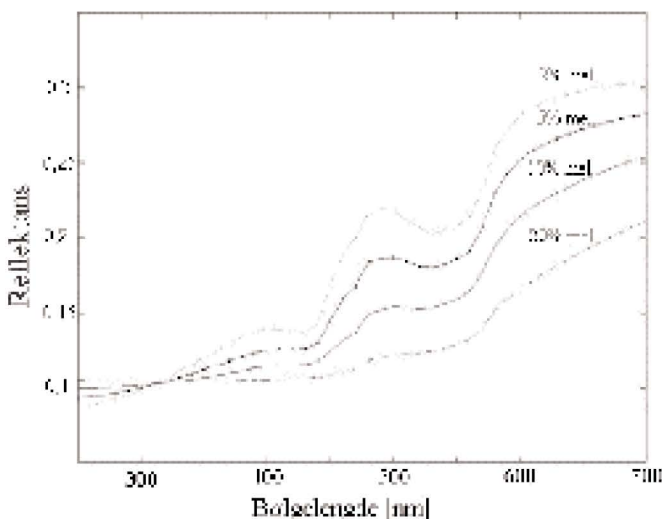
i UV-området dominerer proteinenes absorpsjon over melaninets absorpsjon, og proteiner har mørkhudede og lyshudede personer like mye av. Siden mørkhudede personer har mest melaninstøv og intakte melanosomer, gir de også mest tilbakespredning i UV-området. I det synlige området, derimot, absorberer verken proteinene eller DNA, så her er melaninet hovedabsorbatoren i overhuden og

hornhuden. Melaninets absorpsjon blir da en viktigere faktor for reflektansen enn spredningen fra melaninstøvet. Vi har beregnet reflektansspektrene for mørk og lys hud under visse antagelser (figur 5). Vi ser at ved valg av sannsynlige absorpsjons- og spredningsparametre er det mulig å simulere de spektrene vi har målt (se figur 1).

Konklusjon

Hva kan vi lære av dette? Fotobiofysikken kan noen ganger, som her, by på overraskelser slik at for noen insekter kan mørke afrikanere kanskje se lysere ut enn lyse nordboere. Spredningen fra fragmenterte melaninpartikler med omlag samme størrelse som bølgelengden til UV-stråling i hornlaget og overhuden, kan forklare fenomenet med kryssende reflektansspektre i UV for personer med mørk og lys hudfarge. Disse funnene har betydning utover det de måtte ha for insekter: De sier noe om UV strålingens inntrengning i huden. Den delen av strålingen som trenger inn i huden og har biologisk virkning, er den vi ikke ser. UV-stråling fra sola og andre kilder, gir solbrenthet, immuneffekter, brunhet og – hudkreft.

∞



Figur 5. Modellberegnete reflektansspektre for mørk og lys hud. Både spredning og absorpsjon er tatt med i beregningene. Vi har antatt at 2, 5, 10 og 20 % av volumet utgjøres av melanosomer og melanosomfragmenter fordelt etter et sannsynlig mønster som skissert på figur 3, men som det vil føre for langt å beskrive i detaljer her.

Bokomtaler

Peter Atkins: Galileos finger. Vitenskapens ti største idéer. Humanist Forlag, 2004, (390 sider) 348 kr.

Omfattende, men krevende formidling av naturvitenskap

Vitenskap er ensbetydende med å lete etter de fundamentale lovmessigheter som den beste av alle verdener regjeres etter. Det har praktisk betydning å finne disse grunnprinsippene og deres konsekvenser. Bare den som kjenner verden, kan beherske verden. Men privilegert forskning krever overskudd, og støtten må komme fra dem som er henvist til det grå hverdagsslit. Derfor bør allmugen kunne forvente at vitenskapsfolkene beriker dem med å fortelle om den innsikt de har oppnådd.

Et dristig og ærgjerrig forsøk på å innfri denne forventningen representerer boka "Galileos finger" av Peter Atkins. Den er utgitt på norsk av Humanist Forlag. Forfatteren forsøker faktisk å popularisere de ypperste resultatene fra nær sagt all naturvitenskap. Atkins tar for seg 10 forskjellige idéer, som han hevder er de viktigste. Han utdyper disse 10 forestillingene i hvert sitt kapittel, og disse kapitlene skal kunne leses uavhengig av hverandre. Han understreker at vitenskapelig spekulasjon bare vil være fruktbar om den prøves mot naturens egen nådeløse fasit.

De to første kapitlene handler om *utviklingslære* og *arvelære*. Dette møtet med darwinismen og genetikken vil nok gi leseren en klar forståelse for at denne boka ikke egner seg som avslappende sengelektyre. Det vrir av nye navn, begreper og subtile sammenhenger. Det vil være nødvendig å ta seg god tid og lese hver side meget grundig. En bør helst lære stoffet skikkelig og ha det klart i minnet når en blar om til neste side.

I neste kapittel tar Atkins for seg begrepet *energi*. Dette stoffet er mer lettest, for dette begrepet er jo nå historisk i beste forstand. Men jeg tror dessverre mange lesere vil stusse når Atkins forteller at bevaringssatser er konsekvenser av symmetrier som naturen adlyder. Det er slett ikke opplagt, og Atkins burde sagt klart fra at det er vanskelig å utlede disse sammenhengene.

Så møter leseren begrepet *entropi*. Det er i grunnen ensbetydende med uorden. Jeg synes dette stoffet er særdeles viktig. Det er lett å akseptere prinsippet om at verden blir mer kaotisk uten innsats og ordenssans. Men det er spennende å fatte at denne loven har så betydningsfulle praktiske konsekvenser.

Deretter besøker Atkins *mikrokosmos* og forteller om atomer, symmetrier og kvanter. Dette er et meget omfattende tema. Jeg tror at stoffet rett og slett er for vanskelig og fremmedartet til at det kan framstilles klart og oversiktlig på hundre fattige sider. Det representerer tross alt den største begrepsmessige revolusjon i forrige århundre. Jeg har lest svært mange populærbøker der dette emnet er bedre framstilt. Jeg minnes bøkene til Gamow og Asimov. De fortalte med glimt i øyet og lo litt innimellom. Men bevares, skriveriet til Atkins er skikkelig og solid handverk, men heller ikke mer. Jeg antar at det beror på oversetteren at det matematiske begrepet *gruppe* har fått benevnelsen *mengde*. Dette kan muligens virke forvirrende, siden ordet *mengde* nå har fått en presis og kjent betydning. Ordet *aksjon* benyttes heller ikke av norske fysikere. Vi sier *virkning*.

Atkins ofrer to kapitler på *Einsteins arbeider*. En tvilende Einstein måtte motvillig innrømme at lyset fra de fjerne galakser bar et merkelig bud: Rommet selv, det tomme intet, utvider seg. Her synes jeg framstillingen til den godeste Atkins er noe uklar. Han kommer med den aksepterte forklaringen på at det er mørkt om natta, nemlig at universet har en endelig alder. Lyset fra de virkelige fjerne galaksene har ennå ikke nådd fram til oss. Men så blander Atkins inn det fenomenet som lenge feilaktig ble framstilt som forklaring på den svarte nattehimmelen: Utvidelsen av universet har strukket bølgelengden til stjernelyset ut av det synlige området. Særdeles forvirrende blir det når han straks forteller om den fundamentale observasjonen der utvidelsen av rommet vitterlig *er* forklaringen: Det finnes en svak bakgrunnstråling av radiobølger i kosmos.

Det er irriterende å se at denne fine framstillingen skjemmes av at forfatteren ikke vet bedre enn å sette likhetstegn mellom begrepet *lukket/åpen geometri* og fenomenet *sammentrekning etter endelig tid/evig utvidelse*. Det kan nemlig være at verden er lukket som ei kuleflate, men vil utvide seg i all evighet, slik at kuleflata bare blir større og større.

Siste kapittel er viet *den rene matematikk*. Høydepunktet her er Gödels uventede påvisning av at all akseptabel matematikk må inneholde sanne utsagn som ikke kan bevises. Dette må virke stimulerende for nysgjerrigheten og bør spore til videre lesning. Og for at det skal være sagt og fastslått: Den som tar slitet med å lese denne boka nøye og tenke over alle de merkverdige og uventede utsagn en finner her, vil bli rikelig belønnet. For evnen til forundring er menneskesinnets fineste egenskap.

Henning Knutsen

∞

A. Sudbø and K. Fossheim: *Superconductivity, Physics and Applications*. John Wiley & Sons, 2004 (424 sider).

I 1986 kom et viktig gjennombrudd i superledersfysikk: Superledning i kopperoksidbaserte keramer ble oppdaget. Med tiden ble det funnet slike materialer med kritisk temperatur over 77 K som er kokepunktet for nitrogen. Dette gjorde superledere meget tiltrekkende for flere anvendelser, og stimulerte en omfattende teoretisk aktivitet for å forstå det nye fenomenet. Gjennom de siste 20 årene er det kommet en mengde nye resultater. Siden 1986

er det publisert mer om superledere enn i hele tiden før 1986, dvs. fra oppdagelsen av superledere i 1911. Selv de beste bøker om superledning utgitt på 1960–70-tallet, kan ikke lenger dekke behovet for aktuell og oppdatert informasjon. Utgivelsen av boka: *Superconductivity. Physics and Applications* av A. Sudbø and K. Fossheim, professorer ved NTNU, dekker derfor et stort behov.

Denne boka er skrevet først og fremst for studenter, og mye tyder på at den vil bli en glimrende introduksjon til temaet. Samarbeidet mellom to forfattere, en teoretiker og en eksperimentalist, har gitt boka en god balanse mellom grunnleggende prinsipper og praktiske poeng. Samarbeidet mellom de to forfatterne, sammen med flere historiske digresjoner, gjør at boka er lett og interessant lesning. Dette vil leseren oppdage helt fra begynnelsen av boka når den første egenskapen til superledere – null elektrisk motstand – behandles. Diskusjonen er fulgt av en beskrivelse av praktiske metoder for å måle uendelig liten motstand sammen med historiske forhåndsbetingelser for Kamerlingh-Onnes oppdagelse av dette fenomenet i 1911. Den påfølgende beskrivelse av superledende materialer i kapittel 2, inneholder også såvel de historiske perspektiver av permanent drift mot stadig høyere kritisk temperatur som beskrivelse av de mikroskopiske egenskaper til materialer som forklarer elektronenes evne til å danne et superledende kondensat.

Teoretiske modeller behandles dypere i kapittel 3–10, der vi finner en nærmere forklaring av BCS og Ginzburg-Landau-teorier og Josephson-effekten. Denne delen begynner med kapittel 3, der fysiske hovedprinsipper for tiltrekning mellom elektroner som er basis for BCS-teorien beskrives. En stor plass er viet fysikken for magnetiske flukstråder, eller Abrikosovs virvler. Alle høytemperatursuperledere oppdaget fra 1986, tilhører type II, dvs. de lar magnetfelt trenge inn i mange flukstråder som danner et Abrikosov-gitter. Et stort antall arbeid har de siste to tiår gitt ny informasjon om oppførselen til flukstrådene, om gittersmelting, kollektivkryping og kunstig pinning (kapittel 8). Noen få mer avanserte spørsmål, f.eks. Kosterlitz-Thouless-overgang, er diskutert i kapittel 9 og 10.

I kapittel 11 og 12 kommer beskrivelse av flere anvendelser av superledere og deres grunnleggende prinsipper. Blant dem er SQUID kanskje den mest velkjente anvendelsen på grunn av SQUIDs enestående evne til å måle den ørlille nervemagnetismen i menneskehjernen. Den andre viktige an-

vendelsen er naturligvis ledninger som kan transportere elektrisitet uten motstand og uten tap av energi. Det moderne teknologiske nivå for fabrikasjon av ledninger av både høy- T_c og lav- T_c materialer forklares. Vi får vite hvorledes disse ledningene allerede er kommet på markedet, og hvilke teknologiske problemer som måtte løses for å gjøre dette mulig.

De siste to kapitlene er noe utypiske for en lærebok, men de gjør boka allikevel mer verdifull for mange lesere. Kapittel 13 består av ni korte artikler skrevet av toppspesialister i noen bestemte områder innen moderne superlederforskning. Utvikling innen disse områdene går så hurtig at en god oversikt bare kan komme fra forskerne selv. Leseren får en mulighet til å lære om de nyeste oppdagelser og utviklinger som for eksempel π -SQUID (av J. Mannhart), rekordhøy kritisk strøm i NEG123-superledere (av M. Muralidhar og M. Murakami), avansert mikroskopi og spektroskopi av Abrikosovs virvler (av T.H. Johansen og Ø. Fischer), og lovende anvendte materialer – dekket ledninger (av J.R. Thompson og D.K. Christen) fra førstehåndskilder. Endelig, i det siste kapitlet finnes det en samling av artikler om 12 nobelprisvinnere som fikk prisen for oppdagelser innen emnet superledere. Blant dem er H. Kamerlingh-Onnes som fikk den første prisen i 1913, og A.A. Abrikosov og V.L. Ginzburg som fikk den siste prisen i 2003. Å lese denne samlingen kan være meget informativt og motiverende for unge forskere.

Daniel Shantsev

∞

Hva skjer

Birkelandforelesningen 2004

Birkelandforelesningen har vært arrangert årlig siden 1987 av Universitetet i Oslo i samarbeid med Det Norske Videnskaps-Akademi og Norsk Hydro. Fra og med i år er det YARA, verdens ledende leverandør av mineralgjødsel, som overtar Hydros plass i komiteen. Forelesningene har til nå vært knyttet til Birkelands innsats innen plasma- og romfysikk, mens kommende arrangement også vil ta opp emner knyttet til hans betydelige innsats som industriforsker.



Catherine G. Coleman

Årets foreleser var NASA-astronauten Dr. Catherine G. Coleman fra Lyndon B. Johnson Space Center i Houston, Texas.

Dr. Coleman har doktorgrad i kjemi, og i tillegg er hun jagerflypilot. Hun har vært med i NASAs romprogram for astronauter siden 1992 og har deltatt i to romferder. Første turen varte i 16 dager fra 20. oktober 1995, mens den andre var en femdagers tur i juli 1999. Begge turene var med romfergen Columbia, som dessverre eksploderte i 2003. Til sammen har hun vært mer enn 500 timer i verdensrommet. Hun har hovedsaklig viet sine romstudier til materialfysikk i vektløs tilstand, men hun hadde også ansvaret for utplasseringen av røntgenstrålingsteleskopet SANDRA, i rommet.

Tittelen på Colemans forelesning, som ble holdt i Georg Sverdrups hus ved UiO 23. september, var: *Our Earth seen from space*. Foredraget ble illustrert med imponerende bilder av jorda og verdensrommet tatt fra USAs romferger i 350 km høyde. Coleman poengterte sterkt at den store mengden av nye resultater og ny teknologi fra moderne romforskning er viktig for livet på jorda. Det gikk tydelig fram at hun lengter til igjen å komme ut i verdensrommet, og hun fortalte om hvordan NASA arbeider med å forbedre sikkerheten for fremtidige romferder.

Coleman demonstrerte også at hun er en enestående ambassadør for Norge. Hun har tilbrakt ett år i Norge som elev siste året på videregående skole, og hun innledet foredraget sitt med en begeistret omtale av sitt norgesopphold, på norsk.

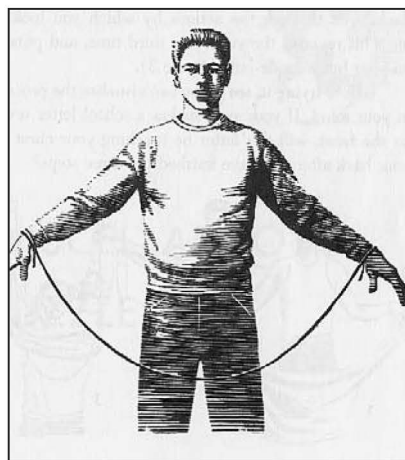
Rundt 300 personer overvar forelesningen.

Alv Egeland og Tore Amundsen

Trim i FFV

FFVT 3/04

Et genserproblem. Tenk deg at du har på deg en vanlig genser, og at hendene dine er bundet sammen av et tau som er omtrent en meter langt. Kan du finne en måte å ta av deg genseren på, vrenge den, og ta den vrang på deg igjen uten å løsne eller kutte tauet? Gensere har ingen knapper!



Løsning FFVT 2/04

En vintapper skulle tappe 4 liter vin fra ei tønne og hadde bare to kanner på 5 og 3 liter å hjelpe seg med.

Han fylte først 5-literen fra tønna og så fylte han 3-literen fra 5-literen. Deretter tømte han 3-literen tilbake på tønna. De to literne han da hadde i 5-literen tømte han over i 3-literen. Så fylte han 5-literen på nytt fra tønna og fylte derav 3-literen helt opp. Da hadde han 4 liter vin igjen i 5-literen.

∞

**STUDÉR
FYSIKK!**

Nye Doktorer

Morten Førre



Cand.scient. Morten Førre forsvarte 16. juni 2004 sin avhandling *On the dynamics of excited atoms in time dependent electromagnetic fields* for dr.scient.-graden ved Universitet i Bergen.

Studiet omfatter kvantekontroll av Rydberg-atomer i elektromagnetiske felter. Kjennetegnet for Rydberg-atomer er at ett eller flere av elektronene (klassisk) følger en perifær bane omkring atomkjernen. Diameteren på en slik bane kan typisk være av samme størrelsesorden som utstrekningen til de minste bakteriene i naturen. Sammenliknet med vårt solsystem kan den fjerntliggende planeten Pluto og dens bane omkring solen gi en illustrasjon på et Rydberg-atom dersom de "vanlige" elektronbanene sammenliknes med banene til de innerste planetene. I så fall vil den elektromagnetiske påvirkning på et slikt atomært system kunne assosieres med den påvirkning en kollisjon mellom Pluto og en asteroide ville ha hatt på planetens bane.

Siste del av avhandlingen er en studie av atomer i ekstremt sterke laserfelt. Vanligvis løsrives elektroner fra et atom (ionisering) lettere når lysstyrken økes. For høy nok frekvens og intensitet er ikke dette alltid tilfellet. Faktisk kan man oppleve at ioniseringssannsynligheten avtar med økende styrke på laserlyset. Et slikt fenomen kalles atomær stabilisering. Denne forskningen kan ha betydning for fremtidig måleteknikk og medisin.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Institutt for fysikk og teknologi, UiB, ved gruppen for teoretisk atomfysikk med professor Jan Petter Hansen som veileder. Morten Førre ble ansatt som NFR-stipendiat ved UiB i 2001.

∞

Rolf J. Korneliussen



Cand.scient. Rolf J. Korneliussen forsvarte 9. mai 2003 sin avhandling *Analysis and Presentation of Multi-frequency Echograms* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen.

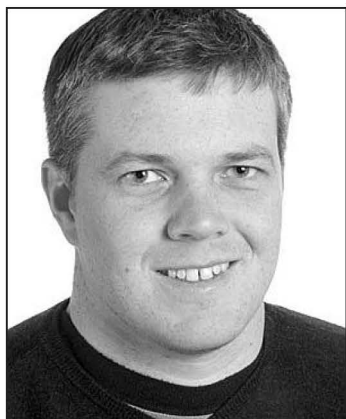
Akustisk mengdemåletemetodikk er i dag vårt viktigste verktøy for å bestemme hvor mye fisk som er i et gitt havområde. I dag brukes vanligvis ekkolodd med bare én frekvens. Men forskjellige arter og størrelser av fisk og dyreplankton har ulike akustiske egenskaper, og disse egenskapene kan utnyttes til å artsbestemme det man ser på ekkoloddet.

Temaet i avhandlingen er hvordan slik informasjon fra flere frekvenser kan utnyttes for å artsidentifisere de akustiske registreringene. Dette gjøres ved først å organisere innsamling og forbehandling av akustiske data slik at de egner seg for samanalyse. Deretter visualiseres dataene slik at den viktigste informasjonen blir lett synlig. Metodene er anvendt på fisk og plankton i Barentshavet, Nordsjøen og i noen fjordsystemer.

Rolf J. Korneliussen tok cand.scient.-eksamen i fysikk (hydroakustikk) ved UiB i 1988. Samme år ble han ansatt ved Havforskningsinstituttets IT-avdeling som ansvarlig for datasystemene på skipene og var ansvarlig for utvikling av systemet "Bergen Ekko Integrator" for tolking av akustiske data. Siden 1997 har han vært ansatt som forsker ved Havforskningsinstituttets seksjon for fysisk oseanografi og akustikk, hvor han har ledet flere prosjekt, spesielt knyttet mot analyse av flerfrekvens akustiske data og makrell. Veileder har vært professor Halvor Hobæk.

∞

Stein-Arild Tjugum



Cand.scient. Stein-Arild Tjugum disputerte 28 april 2003 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen *Dual Modality Densitometry*.

Avhandlinga omhandler måleteknikker basert på demping og spredning av gammastråling for måling av sammensetningen av olje/gass/vannstrømning i rør. Ved olje- og gassproduksjon blir disse komponentene ofte fraktet gjennom samme rør fra produksjonsbrønnen og det er viktig å kunne måle massestrømningen av olje, vann og gass i røret. Dette blir gjort ved å kombinere hastighetsmålinger med volumfraksjonsmålinger i såkalte flerfasestrømningsmålere. Til dette brukes det ulike måleprinsipper, og demping av gammastråling er det vanligste for måling av volumfraksjonen av gass.

Produksjonsvannet som følger med olje og gass fra brønnen har et saltinnhold som kan variere. Dette kan føre til unøyaktige målinger av gassfraksjonen. "Dual Modality Densitometry" (DMD) er et nytt måleprinsipp der man ved å kombinere måling av spredd og transmittert gammastråling bestemmer saltinnholdet i vannet slik at man oppnår saltuavhengige målinger av gassen. Dette er mulig ved å bruke gammastråling fra en kilde som vekselvirker både med fotoelektrisk absorpsjon og comptonspredning i strømningsmediet. Utviklingen av dette måleprinsippet er hovedtema i avhandlinga. Arbeidet ble utført ved en kombinasjon av teoretisk og eksperimentelt arbeid.

Tjugum har også studert hvordan flerstrålemetoder kan benyttes til å identifisere strømningsregimet og hvordan denne informasjonen kan brukes til å redusere måleusikkerheten. Professor Geir Anton Johansen har vært veileder. Tjugum er nå ansatt ved Roxar Flow Measurement i Bergen.

Anders Strand Vestbø



Cand.scient. Anders Strand Vestbø forsvarte 27. mai 2004 avhandlinga *Pattern Recognition and Data Compression for the ALICE High Level Trigger* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen.

Avhandlinga omfattar utvikling og implementering av algoritmer for sanntid-analyse og komprimering av data i ALICE-eksperimentet som vert førebudd for oppstart ved CERN i 2008. I dette eksperimentet vil ein studere kjernekolisjonar ved særskilt høge energiar, der formålet er å studere korleis elementærmaterie oppfører seg under ekstreme temperaturar og tettleik. I kvar einskild kollisjon vil det produserast fleire tusen nye partiklar som kan rekonstruerast frå spora dei lagar i ulike detektorar. For å gjere ein systematisk analyse av desse kollisjonane, er det naudsynt å samla inn data frå ei stor mengd slike kollisjonar. Dette krev at ein legg til rette for ein høg kollisjonsfrekvens, noko som igjen genererer store mengder data.

For å handtere dei store datamengdene, vert det utvikla eit utlesingssystem (High Level Trigger) som har til oppgåve å analysere data frå detektorane fortløpande og dermed redusere datavolumet som vert lagra for vidare analyse. Avhandlinga tek føre seg og evaluerer ulike metodar for rask og effektiv sporgjenfinning og datakomprimering som kan nyttast i dette systemet.

Anders Strand Vestbø tok cand.scient.-eksamen i eksperimentell kjernefysikk ved UiB i 1999. Han har vore tilsett som NFR-stipendiat ved UiO sidan 2000, og har hatt arbeidsplass ved Institutt for fysikk og teknologi ved UiB. Dieter Röhrich har vore rettleiar. Vestbø er nå tilsett i NordicNeuroLab AS, der han utvikler program for prosessering, analyse og visualisering av medisinske bilete.

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2005

Neste års fysikermøte vil bli holdt 11–14 august i naturskjønne omgivelser på Brakanes Hotel i Ulvik, Hardanger. Merk datoene av i kalenderen alt nå! Møtet arrangeres av Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen, og i Fysikkåret 2005 vil vi legge opp et spennende program både faglig og sosialt. Vi planlegger blant annet tur til Sima kraftverk og til Kjeåsen. Informasjon og program vil bli lagt ut på Internett: <http://www.ift.uib.no/fymo05/>

Dagen før selve fysikermøtet (10. august) blir det i anledning Fysikkåret og Birkelandsjubileet en festmarkering i Håkonshallen, Bergen, med både kulturelt og faglig innhold. Etter avsluttet arrangement blir det organisert felles transport fra Bergen til Ulvik. Vi håper å se flest mulig av dere også i Håkonshallen!

På vegne av arrangementskomiteen

Grete Kvamme Ersland

(sekretær)

*Institutt for fysikk og teknologi, UiB
(grete.ersland@fi.uib.no)*

∞

Fysikkåret 2005

Aktivitetene i forbindelse med Verdens fysikkår 2005 begynner å ta form. Den offisielle åpningen av Fysikkåret 2005 i Norge, blir 25. januar i Tromsø. Åpningen, som er den ene delen av Birkelandsjubileet i 2005, blir arrangert sammen med Realfagkonferansen 23–25. januar. Programmet vil blant annet fokusere på romrelatert virksomhet og fysikk i framtidens skole. Hovedansvarlig for dette arrangementet er Asgeir Brekke, Institutt for fysikk, Universitetet i Tromsø.

Tidspunktet for "Fysikkuka" er nå bestemt. Den arrangeres 14–18. mars. Naturfagsenteret i Oslo står som hovedansvarlig for dette arrangementet, med Anders Isnes og Karl Torstein Hetland i spissen. Arbeidet med å utarbeide undervisningsopplegg og ulike aktiviteter for denne uka

er i full gang. Kontaktperson ved Naturfagsenteret for dette arrangementet er Anders Isnes, e-post: anders.isnes@naturfagsenteret.no

Nettstedet www.fysikk2005.no vil være på lufta i løpet av oktober 2004. På dette nettstedet vil dere finne en aktivitetskalender for 2005. De som ønsker å få lagt inn informasjon om aktiviteter/ arrangement på dette nettstedet, kan kontakte Grete Ersland, Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen, epost: grete.ersland@fys.uib.no

Anne Borg

∞

Nye medlemmer 10. juni 2004

Erling Bernhardsen
Oslo

Ingunn Bjørhovde
Fysisk institutt, UiO

Nina Kanutte Christiansen
Fysisk institutt, UiO

Øyvind Frette
Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Harald Garshol
Vestby vgs.

Martin S. Grønseth
Institutt for fysikk, NTNU

Børge Hamre
Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Jostein Herredsvella
Høgskolen i Stavanger

Terje Meisler
Høgskolen i Sør Trøndelag

Carl Nilsen
Petrotek ASA

Vegard Larsen Tuft
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, NTNU

Thomas Tybell
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, NTNU

Susanne Vifers
Fysisk institutt, UiO

Inger Camilla Walle
Fysisk institutt, UiO

∞

Retningslinjer for forfattere

Fra Fysikkens Verden utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. 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 videregående skoler og andre undervisningsinstitusjoner. 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 redaksjonen 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 rastrede. 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.

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

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

Visepresident:

Professor Gunnar Løvholden
Fysisk institutt, UiO.
e-post: gunnar.lovholden@fys.uio.no

Styremedlemmer:

Professor Gaute Einevoll
Inst. for matem. realfag og teknologi, NLH.

Professor Ruth Esser
Inst. for fysikk, UiTø.

Professor Jon Otto Fossum
Inst. for fysikk, NTNU.

Professor Ulf Kristiansen
Inst. for elektronikk og telekom., NTNU.

Førsteaman. Jon Samseth
Høgskolen i Akershus.

Professor Jan S. Vaagen
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.

Lektor Eimund Aamot
Levanger vgs.

Selskapets sekretær:

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

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

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

Redaksjonssekretær:

Overingeniør Karl Måseide
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonskomité:

Førsteaman. Åshild Fredriksen
Inst. for fysikk, UiTø.

Professor Per Osland
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.

Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU.

Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk inst., UiO.

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: k.a.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227

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