Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2004
66. årgang

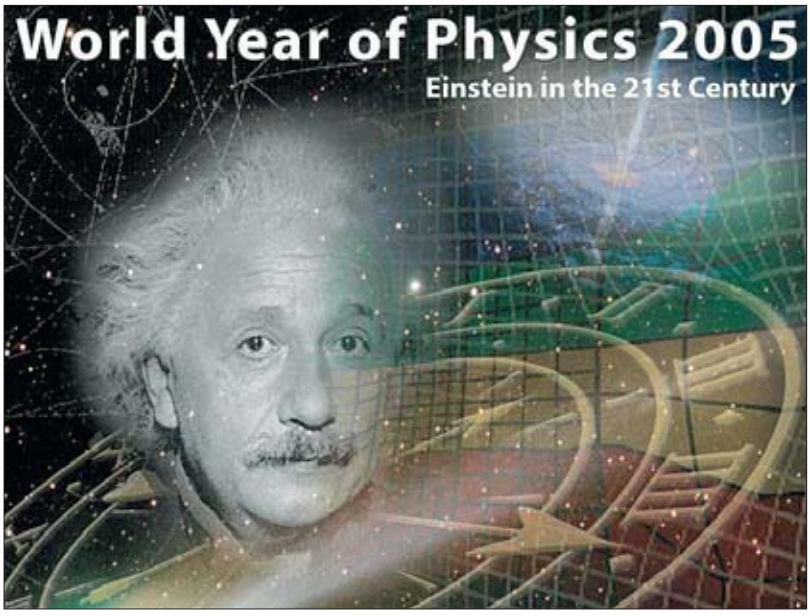
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Jon Magne Leinaas:
Kvantemekanikk etter Planck – I 38
Øyvind Grøn:
Den gravitasjonelle dra-effekten 44
Arnt Inge Vistnes:
Fotballsparkets fysikk. 47
Bjørn Pedersen:
Stereobilder og professor Keyser 50
Fra Redaktørene 34
FFV Gratulerer 34
Øivin Holter
Kjellmar Oksavik
In Memoriam 36
Wilhelm Løchstøer
Nytt fra NFS 36
Fysikkåret 2005
Hva skjer 53
Naturfagsenter opprettet
ESS-nytt
Konferanse 55
Biofysikkmøtet 2004
Bokomtaler 56
Nye Doktorer 59
Dr.scient. Ellen Merete Bruzell
Dr.scient. Grunde Løvoll
Dr.scient. Terje Robert Meisler
Dr.scient. Bjørnar Sandnes
Dr.scient. Ane Aanesland
Trim i FFV 62
Fysikksnutt 62
Nytt fra NFS 63
Nye medlemmer



Det planlegges mange aktiviteter i Norge for Fysikkåret 2005
(Se Nytt fra NFS)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

År 2005 vil bli "Det internasjonale fysikkår". Det utarbeides nå omfattende internasjonale og nasjonale planer (se Nytt fra NFS) for å markere fysikkens samfunnsmessige rolle; dens betydning for vår erkjennelse og ikke minst for utviklingen av moderne vitenskap og teknologi. Dette, som for fysikere er udiskutabelt, er ikke like åpenbart for samfunnet i sin alminnelighet, noe som den avtagende rekruttering til fysikk, og andre harde realfag, nasjonalt og internasjonalt er en indikasjon på. En målsetning for Fysikkåret er derfor å formidle til samfunnet den betydning fysikken har for at vår tids globale problemer innen energi, miljø og helse skal kunne mestres.

Skolen, og den kunnskap og innsikt den skal formidle, kan ikke forbli upåvirket av det siste århundres enestående utvikling innen vitenskap og teknologi. De ansvarlige for barn og ungdoms utdanning konfronteres med et varig dilemma – hva skal inn og hva skal ut av skolens pensum. Eller, formulert på en annen måte: Hvilke fag er vår tids latin og gresk? I forbindelse med vinterens mediediskusjon om utdanning og skole, var det med undring vi registrerte at fysikk, sammen med matematikk og kjemi, ble utpekt som en egnet "latin"–kandidat, åpenbart under påvirkning av en villfarelse om at faget var noe som egnet seg for "klisterhjerner og puggedyr", et slags "flere byer i Belgia"–fag. Holdningen stikker imidlertid dypt hos mange, og er det noe vi som fysikklærere sliter med, er det nettopp å forandre mange studenters inngrodde puggeholdning. Ved eksamener ser fordelingen av karakterer ut til å være en sum av to separate fordelinger, en for studenter som har tilegnet seg innsikt og forståelse, og en – med dårligere middelverdi – for "puggere" med varierende hukommelse og puggeinnsats.

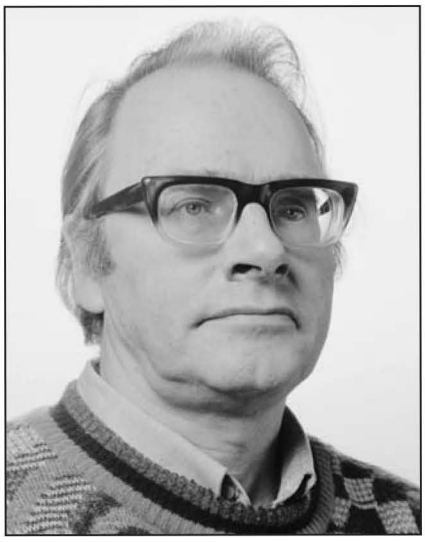
For å understreke at fysikk er et "forståfag" og ikke et "huskefag", har vi ved UiO i noen år latt studentene ta med seg egne konsentrerte notater ved laveregrads prøver og eksamener. Men vi registrerer fremdeles to karakterfordelinger; "jukselappene" bedrer puggernes hukommelse og beroliger eksamensnervene, men bedrer ikke resultatene.

Vi håper at Fysikkåret vil gi mange en bedre idé om fysikkfagets egenart og filosofi og derved fjerne myten om at fysikk er våre dagers latin.

∞

FFV Gratulerer

Øivin Holter 70 år



Professor Øivin Holter fylte 70 år 21. mars. Hans fysikerkarriere henger nøye sammen med etableringen av plasmafysikk som egen hovedfagsdisiplin ved Universitetet i Oslo. Da Holter var blitt cand.mag. i 1957, fikk han sammen med tre andre studenter tilbud om å ta hovedfag i plasmafysikk. Det var professor Rosseland ved Institutt for teoretisk astrofysikk og direktør Gunnar Randers ved IFA, som tok initiativet til dannelsen av en studiegruppe innen dette nye feltet.

Både initiativtagerne og studentene var oppglødd over perspektivene dette studiet innebar: elektrisk energi produsert av vann! Hydrogenisotopene deuterium og tritium i vannet skulle gi energi i en nukleær fusjonsprosess. Hvis man lyktes, ville energiproblemet kunne løses for all fremtid.

For å få i stand fusjonsprosessen må hydrogen isotopene varmes opp til 100–200 millioner grader. I dette plasmaet av kjerner kan de smelte sammen og avgi kinetisk energi. Ved slike ekstremt høye temperaturer må plasmaet i et fusjonskammer holdes adskilt fra veggene ved hjelp av sterke magnetfelt. Det viste seg tidlig at det lett oppstår makroskopiske og mikroskopiske ustabiliteter. Studiet av ustabiliteter ble derfor et sentralt tema i faget, også for Holter. Han avla en utmerket eksamen våren 1959, og fikk noen måneder senere et stipend fra Die Alexander von Humbolt Stiftung, i Tyskland, der han fortsatte studier av

plasmaustabiliteter.

Holter konsentrerte seg særlig om hvordan svake lineære instabiliteter utvikler seg til sterkere avvik fra likevekt: ikke-linære instabiliteter. Etter opp holdet i Tyskland ble han universitetsstipendiat ved Matematisk institutt ved Universitetet i Bergen, hvor det var etablert et miljø i anvendt matematikk med studium av bl.a. plasmafysikk som viktig tema. Det bør imidlertid bemerkes at studiet av plasma ikke alltid var direkte fusjonsrelatert; plasmafysikk har et langt bredere nedslagsfelt.

Holter var universitetsstipendiat så lenge han var i Bergen. Det sier noe om hans forskertrang at han valgte å være stipendiat istedenfor å søke en fast stilling. I 1965 ble Holter amanuens ved Universitetet i Oslo i gruppen for kosmisk fysikk. Dette var naturlig ettersom mange av de resultater som var oppnådd innen fusjonsrelatert plasmafysikk også var anvendelige innen kosmisk fysikk. I 1970 ble Holter dr.philos. på en avhandling med tittelen "Non-Linear Theory of low Temperature Plasmas with Application to Cylindrical Plasma Columns".

Som amanuensis og senere professor, har Holter hatt flere hovedfags- og doktorgradsstudenter i plasmafysikk. Han har alltid vært en populær og inspirerende samarbeidspartner. Hans mange publikasjoner vitner om det. Han hadde i flere år et nært samarbeid med Roy Johnson fra Boeing Research Laboratories i Seattle. I de senere 3–4 årene har han i lengre perioder oppholdt seg i Frankrike, der han har jobbet med magnetiske substormer som hovedprosjekt.

I perioden 1989–91 var Holter bestyrer ved Fysisk institutt i Oslo. Hans strukturerte og systematiske arbeidsmetode førte til flere store forbedringer i instituttets rutiner. Spesielt kan nevnes hans system for kvantisering av faglig innsats som ble vedtatt i instituttets organer og ble brukt ved fordeling av ressurser og arbeidsoppgaver.

Holter har hele tiden vært interessert i energispørsmål generelt og har gitt viktige bidrag også innen dette feltet. Han er medforfatter av flere bøker så vel i sitt opprinnelige fag som innen energifeltet. Fra 1987 har Holter vært medredaktør i tidsskriftet Fra Fysikkens Verden, der han ved siden av det redaksjonelle også har bidratt med flere faglige artikler. Hans skriftlige framstilling er klar og velformulert og kan også ofte avdekke hans lune sans for humor.

Øivin Holter er en dyktig og allsidig fysiker, men han er ingen snever fagmann. Han har flere utenomfaglige anlegg og interesser. Hans egeninnsats ved bygging av familiens hus og hytter har vært betydelig, og huset han nå bor i har energiøkonomiske detaljer som dokumenterer hans iderikdom og kreativitet. Han er en dyktig slalomkjører, nå helst sammen med barn og barnebarn som er inspirert av far og bestefar.

Aktive mennesker går ikke i hvilestilling selv om de fyller 70 år. Øivin Holter vil fortsatt være en aktiv og nær person til glede for både familie og kolleger ved Fysisk institutt. – *Vi gratulerer!*

Finn Ingebretsen og Asbjorn Kildal

∞

Meltzerprisen til Kjellmar Oksavik

Dr.scient. Kjellmar Oksavik (29) har fått en av årets Meltzer-priser for yngre forskere.

Kjellmar Oksavik tok cand.scient.-eksamen ved Universitetet i Bergen høsten 1998. Våren 2000 ble han opptatt som doktorstudent ved Seksjon for romfysikk ved Fysisk institutt, UiB, med stipend fra Norges forskningsråd. Han disputerte for dr.scient.-graden i januar 2003 med avhandlingen "A study of temporal and spatial variations in the polar cusp/cleft region using multi-instrument techniques". Etter oppnådd doktorgrad har Oksavik vært postdoc-stipendiat ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Han har nå ett års forskningsopphold ved Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University i U.S.A.

Forskningsaktivitetene til Oksavik spenner over et vidt område innen romfysikken – både

magnetosfære- og ionosfærefysikk. I sitt hovedfag studerte han dagnordlyset over Svalbard ved hjelp av målinger fra NOAA-satellittene og bakkebaserte optiske instrumenter. I doktorarbeidet videreførte han studiene av den polare magnetosfæren og koblingen mellom solvinden og magnetosfæren ved å ta i bruk data fra andre satellitter, bl.a. fra de fire europeiske CLUSTER- satellittene, og radardata fra EISCAT og SuperDARN.

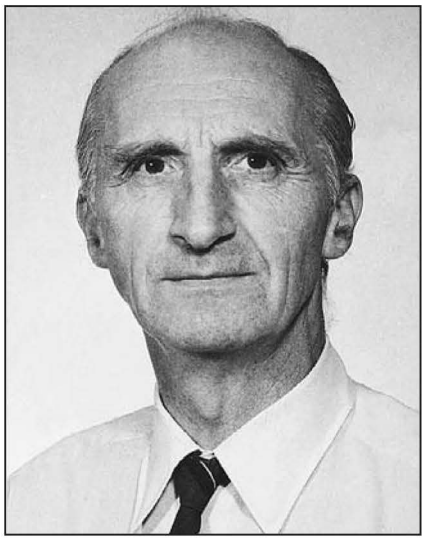
Utdelingen av prisene fra Meltzers høyskolefond, som administreres av Universitetet i Bergen, fant sted ved den årlige Meltzer-middagen som i år ble holdt 8. mars. – *Vi gratulerer!*

Johan Stadsnes

∞

In Memoriam

Wilhelm Løchstøer (1917–2003)



Førsteamanuensis Wilhelm Løchstøer døde den 27. mars i år, 86 år gammel. Han var i hele sitt yrkesaktive liv knyttet til Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, med enkelte korte utenlandsopphold. Løchstøer var i mange år leder for laboratorieundervisningen for nye fysikkstudenter. Hans klare fremstilling og grundighet ga studentene et godt grunnlag for deres videre arbeid. Løchstøer sto for undervisningen i akustikk ved instituttet og veiledet en rekke hovedfagsstudenter i faget.

Løchstøer var engasjert i instituttets styre og råd i en årrekke, og var betyrer i perioden 1973–74. I 1955 var han en av stifterne av Norsk Akustisk Selskap og ble i 2001 utnevnt til æresmedlem i dette selskapet som takk for sin store innsats. Han var i alle år medlem i selskapet og var en tid også styreformann. Som fagmann var han spesielt opptatt av standardisering og utvikling av målemetoder. Han var forfatter og medforfatter i flere bøker i disse emnene.

Wilhelm Løchstøer var et utpreget friluftsmenneske som ofte tok med seg familien på tur i skog og mark. Både han og hans kone Elsa, hadde det som populært kalles "grønne fingre", noe som også hans naboer kunne glede seg over. Deres rosehekk var et virkelig praktsyn. De pleide også en parsell i Solvang hagekoloni, der alt så ut til å ville gro, selv på steingrunn.

Løchstøer hadde en utpreget humoristisk sans. Han var spesielt i sitt ess når han fikk anledning til å utfolde seg i de mange visdomsord av lyrikeren Piet Hein, eller "Kumbel". På instituttet ble det aldri riktig jul før han som avslutning på den tradisjonelle julefesten hadde fremført Kumbels julegruk.

Løchstøer har vært med på å prege instituttets utvikling i de viktige årene etter 1950. Spesielt har han satt sitt preg på undervisningen, der han har gitt viktige bidrag til å gi den en solid eksperimentell forankring.

Nico Norman

∞

Nytt fra NFS

Fysikkåret 2005

Året 2005 blir Det internasjonale fysikkår! EPS (European Physical Society) og IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) tok intiativet til dette våren 2003. Norsk Fysisk Selskap fulgte opp dette vedtaket gjennom sitt styre. Høsten samme år erklærte UNESCO sin støtte til 2005 som Internasjonalt fysikkår. Vedtak i FN-systemet 20. mai har gjort at året nå er blitt erklært "International Year of Physics".

Året 2005 ble valgt på bakgrunn av at det er 100-årsjubileum for Einsteins "mirakuløse" år. I 1905 kom hans banebrytende arbeider om spesiell relativitetsteori, fotoelektrisk effekt og brownske bevegelser. I Norge faller Fysikkåret sammen med 100-årsjubileene for unionsoppløsningen og for Norsk Hydro.

Det er dannet en nasjonal komite for Fysikkåret i Norge

som består av følgende representanter:
Jan Petter Hansen og Grete Ersland (UiB)
Ellen Henriksen og Magnhild Sægrov (UiO)
Ola Hunderi (NTNU)
Asgeir Brekke (UiTø)
Gaute Einevoll (NLH)
Anders Isnes (Naturfagsenteret)
Invild Thue Jensen (Norske fys.stud. forening)
Steinar Stapnes, Gunnar Løvhøiden og
Anne Borg (NFS).

Steinar Stapnes har så langt ledet komiteen, og Grete Ersland bistår på adminstrativ side.

Planleggingen av Fysikkåret 2005 er nå i full gang. Det blir både nasjonale og lokale tiltak i løpet av året. Alle medlemmer av Norsk Fysisk Selskap oppfordres til å bidra til at vi får en god markering av fagområdet fysikk i 2005. En stor satsing vil være "Fysikkveka", som planlegges som et tiltak – med varighet en uke – i ungdomsskolen og videregående skole. Endelig dato for denne uka er ikke bestemt, men forespørsel om tidspunkt og ønsket materiell er sendt ut til bl.a. ungdomsskoler og medlemmene i Fysikklærerforeningen landet over. Naturfagsenteret har hovedansvaret for denne satsingen.

NFS og den nasjonale komiteen for Fysikkåret 2005 ønsker å markere Kristian Birkeland. Kristian Birkeland er en av våre mest kjente fysikere, og hans nordlysteorier og ideer om energioverføring fra sola til jordas øvre atmosfære var forut for sin tid og er fundamenter for den moderne romforskning. Han er i tillegg knyttet til Birkelands-Eydes metode for salpeterframstilling og etableringen av Norsk Hydro i 1905. Det planlegges fire arrangementer for å markere Birkeland i 2005. Disse dekker naturvitenskapsmannen, industriforskeren, nasjonsbyggeren og mennesket Kristian Birkeland. Det vil være et innovasjonseminar ved NTNU, Rom- og polarvirksomhet i Nord-Norge – et arrangement i Tromsø, åpning av Fysikermøtet 2005 i Bergen, i tillegg til en spesiell markering i forbindelse med det årlige Birkelandsymposiet.

For øvrig vil fysikk bli synliggjort spesielt i pågående arrangementer. Forskningsdagene vil i 2005 ha fysikk som tema. Gode forslag til tittel for dette året mottas gjerne. I 2004 er tema for forskningsdagene innovasjon og nyskaping, og tittelen er "På sporet av framtiden". Astrofestivalen i Oslo vil ha et utvidet tilbud innen fysikk dette året. Det planlegges en ekstra satsing på Fysikkolympiaden, og andre konkurranser i regi av Astrofestivalen og Nysjerrigper.

Fysikermøtet 2005 arrangeres av Institutt for fysikk og teknologi, UiB. Selve Fysikermøtet vil avholdes på Bragernes hotell i Ulvik, Hardanger. En nasjonal festaften i Bergen planlegges som åpning av Fysikermøtet 2005.

Synlighet i forhold til det generelle publikum og ungdom, er et viktig aspekt av Fysikkåret 2005. Her kan hver og en delta på ulike måter. Så langt har medlemmer av den nasjonale komiteen hatt kontakt med Dagbladet om "Fysikknøtter" hver dag i 2005, og med Adresseavisen om artikkelserie/spalte om fysikk. Fysikk på T-bane og busser arbeides det også med.

Internasjonalt er det også planlagt en rekke arrangementer. Interesserte lesere henvises til *http://www.wyp2005.org* eller hjemmesiden til EPS, *http://www.eps.org/* Den nasjonale komiteen ser på muligheter for å delta i bl.a. prosjektet "Light around the World", som er et mediestunt der en lysstråle skal gå rundt jorden 18. april 2005, som er 50-årsdagen for Albert Einsteins død.

Informasjon om aktiviteter i Fysikkåret 2005 blir lagt ut på NFS hjemmesider. I tillegg vil det opprettes en egen side beregnet på det generelle publikum: *http://www.fysikk2005.no/*

Anne Borg og Steinar Stapnes

∞

Kvantemekanikk 100 år etter Planck – I

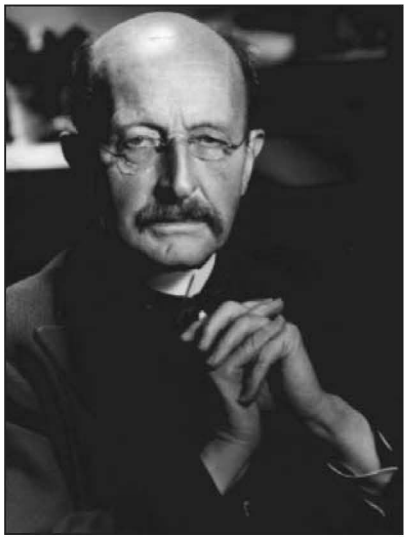
Jon Magne Leinaas *

Dette er første del av et foredrag som ble holdt i Det Norske Videnskaps-Akademi 27. september 2001, og som er blitt trykket i akademiets årbok for 2001. Det blir her gitt en sammenfatning av viktige historiske bidrag til utviklingen av kvantemekanikken med Plancks banebrytende bidrag som utgangspunkt. Andre del av foredraget vil bli trykket i neste nummer av Fra Fysikkens Verden. Det vil omhandle noen moderne aspekter ved kvantemekanikken med kvanteinformasjon som et sentralt begrep.

Innledning

Datoen 14. desember 1900 regnes av mange fysikere som kvantemekanikkens fødselsdag. Grunnen til det er at den dagen holdt Max Planck et foredrag i Deutschen Physikalischen Gesellschaft i Berlin, hvor han introduserte begrepet energikvant i sin forklaring på hva som bestemmer formen på strålingsspekteret fra et sort legeme.[1] Dette var en revolusjonerende idé og et viktig første steg i utviklingen av en ny type fysikk – kvantemekanikken –, men det tok flere år før man innså den fulle betydning av den ideen som Planck hadde innført. Det var en lang prosess som involverte mange fysikere, før kvantemekanikken ca. 30 år senere var formulert som en sammenhengende teori.[2,3]

Det er påfallende hvor annerledes utviklingen av denne delen av moderne fysikk er sammenlignet med utviklingen av det andre fundamentet for moderne fysikk: relativitetsteorien. Relativitetsteorien var i det alt vesentlige én manns verk, Einsteins, og i særlig grad gjelder det den generelle teori som ble presentert som en ferdig teori i 1915. Utviklingen av kvantemekanikken var flere fysikeres verk, og for de som var involvert i utviklingen var den en mer problematisk prosess full av spørsmål og paradoksale situasjoner. Samtidig var innsatsen for å avklare problemene preget av mye entusiasme, og det var en imponerende intellektuell innsats blant de tildels svært unge fysikere som arbeidet med problemene som kulminerte i de avgjørende år 1925–27, og som ga kvantemekanikken en form som i det alt vesentlige er lik kvantemekanikken slik vi møter den i dag.



Figur 1. Max Planck (1858 – 1947)

Mye av grunnen til at utviklingen av kvantemekanikken var en så krevende prosess, var at denne delen av fysikken utfordrer noen av våre mest grunnleggende oppfatninger når det gjelder naturen og vårt forhold til den. Niels Bohr opphøyet dette til et nytt filosofisk prinsipp som han omtalte som *komplementaritet.*[4] Andre fysikere, som Einstein, aksepterte ikke denne nye form for tenkning og ble etter hvert stående utenfor i utviklingen av kvantemekanikken i den form den etter hvert tok.

Kvantemekanikken er blitt grunnlaget for den moderne fysikk, for beskrivelsen av materiens opp-

*Fysisk institutt, Universitetet I Oslo

bygning og for beskrivelsen av vekselvirkningen mellom dens elementære komponenter. I stadig høyere grad er den også blitt av betydning for den teknologiske utvikling som har fulgt i kjølvannet av den moderne fysikken. Det skal ikke stor fantasi til for å innse at "kvanteteknologien" ennå bare er i sin spede begynnelse.

De fleste aktive fysikere har hatt, og har fremdeles, en noe pragmatisk holdning til kvantemekanikken som teori. Kvantemekanikken har vært en stor og ubetinget suksess når det gjelder beskrivelsen av de grunnleggende prosesser i naturen, og avvik fra dens grunnprinsipper har aldri kunnet påvises. Det gjør at man kan anvende kvantemekanikken i beskrivelsen av de fysiske prosesser uten å ta stilling til teoriens mer krevende filosofiske implikasjoner. Men begynner man først å undre seg over kvantemekanikkens grunnlagsproblemer, ser man raskt at paradoksene fortsatt er til stede.

I de senere år har det dukket opp nye holdninger til denne vanskelige delen av kvantemekanikken. I stedet for å nøye seg med å gjenoppfriske gamle paradokser, og med å studere såkalte *Bell-ulikheter* for å demonstrere kvantemekanikkens bisarre avvik fra den klassiske fysikk, er holdningen i dag mer at det i denne delen av fysikken ligger muligheter og resurser som kan utnyttes. Man snakker om å konstruere *kvantedatamaskiner* som fungerer etter prinsipper helt forskjellige fra dagens datamaskiner, og man refererer til en ny slags *kvanteinformasjonsteori* som på en vesentlig måte vil forandre vår oppfatning av hvordan informasjon og kommunikasjon kan forstås og manipuleres i kvantemekanikkens tidsalder.[5]

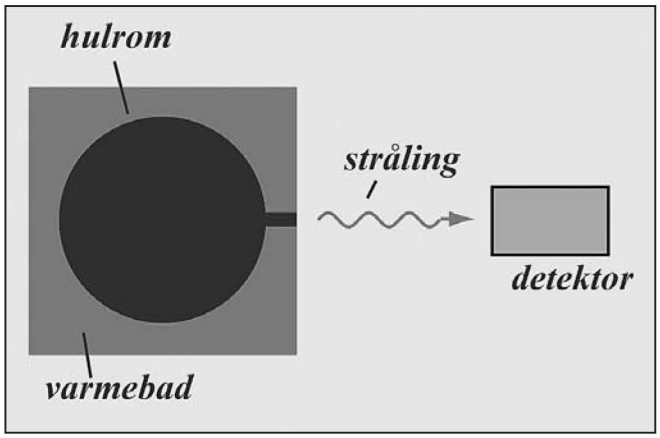
Jeg kan ikke her gjengi på noen rettferdig måte den omfattende prosess som fulgte i utviklingen av moderne fysikk etter Plancks banebrytende innsats. Til det er kvantemekanikken og dens påvirkning av moderne fysikk altfor omfattende. Men jeg ønsker likevel å gå tilbake til begynnelsen og gi en kort omtale av situasjonen rundt Plancks bidrag. Jeg vil videre gi en oppsummering av noen viktige milepæler i utviklingen av kvantemekanikken før jeg i Del 2 omtaler enkelte av de ideene som i senere år er kommet til når det gjelder kvantemekanikk og informasjon.

Max Planck og hulromstrålingen

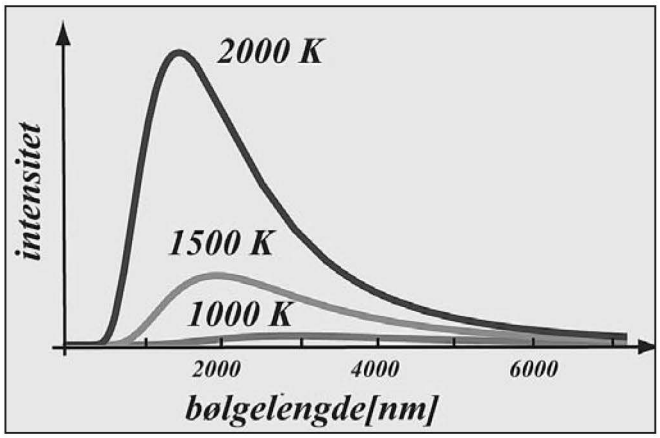
Slutten av 1800-tallet var på mange måter høyde punktet i utviklingen av den klassiske fysikk (selv om vi som regel også regner relativitetsteorien som en del av den klassiske fysikk). Mekanikken var utviklet videre fra Newtons opprinnelige form til en elegant og generell teori, den analytiske mekanikk. Væskedynamikken med dens grunnleggende ligninger var formulert, og ikke minst var beskrivelsen av de elektriske og magnetiske fenomener samlet i en enhetlig teori, elektromagnetismen. Det var en oppfatning blant mange fysikere at de grunnleggende prinsipper i naturen var alle forstått, og det videre arbeid var en slags opprydning hvor grunnprinsippene skulle benyttes til å beregne og forklare de gjenstående spørsmål med stadig større nøyaktighet. I tiltredelsestalen til James Clerk Maxwell i Cambridge i 1871, finner vi et mye sitert uttrykk for dette syn: *"... in a few years, all the great physical constants will have been approximately estimated and ... the only occupation which will then be left to the men of science will be to carry these measurements to another place of decimals."* (Maxwell refererer til denne utbredte holdning, men finner den selv å være for pessimistisk.) Det var lite som tydet på at det blant de til da uforklarte fysiske fenomener lurte noen som hadde potensial til helt å omstøte fysikkens grunnlag.

Spørsmålet som Planck diskuterte i 1900, hadde en forhistorie tilbake til Kirchhoff i 1859.[6] Kirchhoff studerte forholdet mellom absorpsjon og emisjon av stråling og presenterte dette året en avhandling hvor han viste at koeffisientene for absorpsjon og emisjon av stråling fra et legeme er like. Som en følge av dette viste han at strålingsspekteret fra et totalabsorberende (sort) legeme ville ha en universell karakter. Det er bestemt av temperaturen til legemet, men uavhengig av andre forhold. Den utfordring som Kirchhoff etterlot seg var å finne og forklare formen på dette universelle spekteret (se figur 2a og 2b).

Max Planck hadde helt fra studietiden vært sterkt opptatt av termodynamikkens annen hovedsetning som en grunnleggende naturlov. Mens den første hovedsetning, bevaring av energi, har en forholdsvis enkel og intuitiv basis, er dette ikke tilfelle med den annen hovedsetning. Denne hovedsetning sier at *entropien* til et termodynamisk system er en monotont økende tilstandsfunksjon, men den fysiske forståelse av entropifunksjonen er langt mindre opplagt enn energifunksjonen. Boltzmann formulerte i 1870-årene det statistiske grunnlag for den annen hovedsetning, og klarla dermed sammenhengen mellom entropi og sannsynligheten for å finne systemet i en bestemt tilstand, men det tok lang tid



Figur 2a. Sortlegemestråling
Strålingsspekteret fra et sort legeme kan studeres i et oppsett som er vist skjematisk på figuren. En ovn holdes på en konstant temperatur, og i det indre hulrommet vil varmestrålingen innstille seg på en likevekt mellom innstråling og utstråling. Varmestrålingen lekker ut gjennom en liten åpning og kan studeres fra utsiden. Sett utenfra vil kammeret i ovnen virke som et sort legeme idet all stråling fra utsiden som slipper inn vil bli absorbert.



Figur 2b. Planckspekteret
Planckspekteret har en universell form som skalerer på en bestemt måte med temperaturen. I sin reneste form studeres det i dag ikke i laboratorier, men i den kosmiske bakgrunnstrålingen. Der er avviket fra et rent Planckspektrum, med én og samme temperatur i alle retninger, svært lite. Men studiet av dette avviket er viktig fordi denne ikke- universelle delen av spekteret inneholder informasjon om de fysiske forholdene i det tidlige univers.

før hans ideer ble alminnelig akseptert.

Planck mente at den annen hovedsetning var viktig for forståelsen av problemet med strålingen fra et sort legeme, og at et sentralt problem dermed var å finne det korrekte uttrykk for entropien til varmestrålingen. Modellen han benyttet for strålingsfenomenet var at et legeme kunne sees på som en samling av oscillatorer, og at de oscillerende ladningene kunne emittere og absorbere elektromagnetisk stråling. Noen detaljert atommodell hadde man ennå ikke. Det Planck antok var at strålingsproblemet kunne sees på som et termodynamisk likevektsproblem, en likevekt mellom oscillatorene i det strålende legemet og varmestrålingen i det omgivende (hul-)rom. Dette forutsatte at samlingen av oscillatorer og strålingsfelt kunne tilskrives en entropi. For å kunne gi en statistisk beskrivelse av entropien etter modell av Boltzmann, antok han så at oscillatorene bare kunne avgi og motta energi i form av kvanter.

Max Planck, Annalen der Physik 4, 553 (1901):
For å finne sannsynligheten for at N oscillatorer har en total energi U_N er det nødvendig å anta at U_N ikke er en kontinuerlig, uendelig delbar størrelse, men et diskret heltallig multippel av endelige like deler som sammen gir helheten. Vi kaller en slik del et energikvantum e, og setter $U_N = P\,e$, hvor P er et helt tall ...

Planck viste hvordan man ut fra en slik antagelse kunne utlede en form på strålingsspekteret som stemte helt overens med det som nå var etablert eksperimentelt, med en verdi på de fundamentale konstantene, *Boltzmanns konstant* k og *Plancks konstant* h, som ligger nær opp til de verdier som benyttes den dag i dag.

Plancks konstant $\hbar = h/2\pi$
er blitt et symbol for kvantemekanikken. Det opprinnelige symbolet, h, som Planck benyttet er blitt stående. Den gir forholdet mellom oscillatorenergien og frekvansen til strålingen. Dirac innførte den reduserte konstanten $\hbar$ ved å dele med 2π. Dette er den mest benyttede form på Plancks konstant i dag.

Kvantemekanikken blir til

Plancks viktigste bidrag til kvantemekanikken var gitt i og med hans forklaring av formen på sortlegemespekteret. Det var andre som drev utviklingen videre. Einstein var en av pionerene med sin forklaring på den fotoelektriske effekt som han i 1921 fikk Nobelprisen for. Einsteins idé (først publisert i 1905) var at energien i den elektromagnetiske stråling ikke er jevnt fordelt, men kommer i energikvanter,[7] hvor energien til hvert lyskvant er bestemt av frekvensen til strålingen, men er uavhengig av strålingsintensiteten. Dette ble brukt til å forklare hvordan lys med tilstrekkelig høy

frekvens kan slå løs elektroner fra overflaten av et fast stoff, selv om lysintensiteten er lav. I følge Einstein var det altså ikke bare i strålingsmekanismen at energien er kvantisert, men også i transporten av stråling gjennom rommet. Einsteins teori var en *fotonteori* for det elektromagnetiske felt (selv om han ikke benyttet denne betegnelsen), men det tok lang tid før sentrale personer som Niels Bohr ga Einstein rett i at kvantiseringen ikke bare var knyttet til elektronenes oppførsel i atomene. Det var først med Comptons studier av spredning av røntgenstråling på frie elektroner, at dette ble klart.[8]

Lyspartikkelen: fotonet

Det var Einstein som introduserte fotonteorien for det elektromagnetiske felt, men det var Gilbert N. Lewis som i 1926 ga lyskvantet det navn vi bruker i dag: fotonet. Fotonet oppfører seg som en masseløs partikkel med energi $E = hf$ og bevegelsesmengde $p = E/c$, hvor f er frekvensen til strålingen og c er lyshastigheten. En lysstråle kan opptre i spesielle kvantemekaniske tilstander og gi opphav til det vi kaller ikke-klassisk lys.

Men det var Niels Bohrs modell for hydrogenatomet og hans forklaring på de observerte strålingsspektra, som virkelig startet prosessen med å omformulere fysikken.[9] Bohr brøt fullstendig med den klassiske oppfatning av strålingsprosessen i sin forklaring av stabiliteten til Rutherfords atommodell, hvor de små ladete elektronene sirkulerer om en motsatt ladet liten kjerne. Elektronene kan sirkulere uten å stråle i utvalgte baner, og stråling fra atomet er koblet til elektronsprang mellom disse banene. Dette er ikke i overensstemmelse med den klassiske fysikk, hvor stråling er bestemt av akselerasjonen til ladningen. Men Bohrs suksess var uomtvistelig: Hans modell kunne på en enkel måte forklare regelmessigheten i de atomære spektra. Senere, med beskrivelsen av de to spinntilstander for elektronet, og Pauli-prinsippet for besetning av orbitaler, kunne modellen utvikles til en fullstendig *skall-modell* for elektronene i atomene. Dette ga en enkel forklaring på oppbygningen av hele det periodiske system.

Niels Bohrs atommodell var en så klar utfordring av grunnprinsippene i den klassiske fysikk at det for mange fysikere var klart at en ny fundamentering av den moderne fysikken var en nødvendighet. Bohr og hans medarbeidere nedla mye arbeid i forsøket på å beskrive og forstå de nye prinsippene, og Bohr innså at det her var snakk om en avgjørende revurdering av forholdet mellom observasjon og måling på den ene siden, og de fysiske prosesser som ble beskrevet på den annen side. Den paradoksale situasjonen hvor verken en partikkelbeskrivelse eller en bølgebeskrivelse hver for seg var tilstrekkelig, ga opphav til hans komplementaritetsbegrep, hvor nødvendigheten av å benytte gjensidig motstridende beskrivelsesformer for å få frem det fulle bildet av prosessene, ble opphøyet til et universelt prinsipp.

De unge fysikere Wolfgang Pauli og Werner Heisenberg, ble involvert i dette arbeidet på begynnelsen av 1920-tallet, og ikke minst Heisenbergs

de Broglie-relasjonene

Det enkleste og mest direkte uttrykk for dualiteten mellom partikkel- og bølgebeskrivelsen i kvantemekanikken, finner vi i de Broglies relasjoner fra hans doktorgradsavhandling i 1923

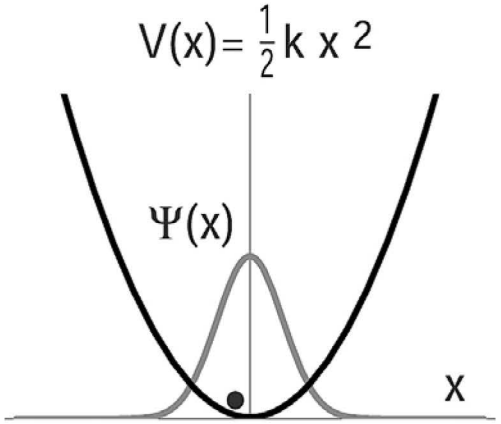
$$p = h/l \quad E = hf$$

hvor p og E beskriver partikkelegenskaper (bevegelsesmengde og kinetisk energi), og l og f beskriver bølgeegenskaper (bølgelengde og frekvens).

bidrag var avgjørende i de hektiske årene 1925–27 da fundamentet for den nye kvantemekanikken ble lagt. Det var klart for Heisenberg at det ikke først og fremst var et spørsmål om å forstå strålingsoverganger i atomer, men å klargjøre den nye mekanikkens prinsipper. Han følte seg heller ikke så bundet av Bohrs tenkemåte som enkelte andre, og innså betydningen av å forstå de formelle regneregler i denne nye mekanikken. Formuleringer i form av partikkelbaner, som i Bohrs opprinnelige atommodell, ble forlatt, og i en inspirert gjennomtenkning av problemene i 1925 fant han regnereglene for den nye fysikken i en form som er blitt referert til som *matrisemekanikk.*[10] De fysiske variable (referert til som *observable* av Heisenberg), som posisjon og impuls, kunne ikke lenger beskrives ved vanlige *kommuterende* tall, de måtte i stedet representeres ved ikke-kommuterende *matriser.* Heisenbergs oppdagelse inspirerte omgående andre fysikere til en videre bearbeidelse og klargjøring av denne *algebraiske* formen av kvantemekanikken.

I denne sluttfasen kom det inn en komplikasjon og utfordring fra Erwin Schrödinger. Etter et foredrag om elektronenes bølgenatur ble han spurt om hva slags bølgeligning disse bølgene fulgte. Han formulerte straks etterpå det som er blitt

stående som den grunnleggende bølgeligning i kvantemekanikken, *Schrödingerligningen*[11] (se figur 3). I Schrödingers formulering er den kvantemekaniske tilstand beskrevet som en bølgefunksjon i rom og tid, og Schrödingerligningen er en differensialligning som bølgefunksjonen må tilfredsstille. Energi og impuls er i Schrödingers formulering representert som differensialoperatorer i stedet for som matriser.



Figur 3. Kvantemekanikken i et nøtteskall: Partikkel i en potensialbrønn.
Klassisk er bevegelsen styrt av Newtons 2. lov:

$$ma = -kx$$

mens den kvantemekanisk er styrt av Schrödingerligningen:

$$ih\frac{\delta\Psi}{\delta t} = -\frac{h^2}{2m}\frac{\delta^2\Psi}{\delta x^2} + \frac{1}{2}kx^2\Psi$$

Bølgefunksjonen $\Psi(x,t)$ utvikler seg kontinuerlig med tiden t så lenge systemet er isolert. Den bestemmer sannsynligheten for å måle posisjonen x, og kollapser umiddelbart til en funksjon lokalisert rundt den målte verdien x når systemet vekselvirker med måleapparatet.

Sammenhengen med matrisemekanikken, og med de resultater Bohr og hans medarbeidere hadde oppnådd, var slett ikke opplagt. Men det ble snart etter vist av Schrödinger at bølgemekanikken ikke motsa Heisenbergs matrisemekanikk, men at de to formuleringene var ekvivalente. Paul A.M. Dirac påviste at kvantemekanikken kunne gis en mer abstrakt form hvor disse to formuleringene var forskjellige representasjoner av den samme teorien. I og med at disse forholdene var klarlagt, var grunnsetningene i kvantemekanikken etablert. Diracs lærebok i kvantemekanikk fra 1930 er blitt stående som en oppsummering av den nye fysikken, og det i en form som er fullt ut gyldig i dag.[12]

Kvantemekanikken revolusjonerer fysikken

Kvantemekanikken var etablert som teori i 1928, men på mange måter var dette bare begynnelsen på en revolusjon i fysikken og kjemien. Alle ting måtte tenkes om igjen, og de mulighetene som nå lå åpne for å beskrive atomære strukturer og fysiske prosesser, var overveldende. Kvantemekanikken ga grunnlaget for den moderne kjemi, for de faste stoffers fysikk og for astrofysikken slik vi kjenner disse disipliner i dag. I første omgang var det atomfysikken og strålingsteorien som var viktig. Spektrallinjene i de atomære spektra kunne tydes og gi informasjon om de fysiske forhold selv i de fjerneste stjerner. Men i neste omgang ble mye oppmerksomhet rettet mot kjernefysikken. Hvordan skulle man forstå atomkjernenes oppbygning og deres utsendelse av radioaktiv stråling. Niels Bohr og en rekke andre fysikere, kastet seg over dette problemet. Og de resultater som førte frem til utnyttelsen av kjerne-energien både til destruktive og konstruktive formål, er velkjent. Studiet av kjernefysikken var også begynnelsen på studiet av alle de grunnleggende krefter i naturen, innen det vi kaller elementærpartikkelfysikken. Dette er langt fra et avsluttet felt, men en omfattende kartlegging av fenomener og en iherdig innsats for å etablere den korrekte teoretiske forståelse, ligger bak den forståelse vi i dag har av disse grunnelementene i naturen.

Strålingsteorien var startpunktet for kvantemekanikken, og i og med at kvantemekanikken var etablert som teori kunne man forstå og beregne de elementære prosesser hvor fotoner emitteres og absorberes av atomer. Det gjaldt også spredningen av fotoner på frie elektroner, som Compton hadde studert. Likevel var det på et tidlig tidspunkt klart at det lå begrensninger i den etablerte kvantemekaniske teori for de elektromagnetiske fenomener. Kvantemekanikken var først og fremst en teori for enkeltpartikler, eller for et begrenset antall partikler, og den kunne ikke håndtere på en konsistent måte prosesser hvor partikler ble skapt og tilintetgjort. Forøkte man å anvende teorien utover de elementære beregninger av spredning- og emisjons /absorbsjonsprosesser, fikk man meningsløse svar i form av uendeligheter. Inntil Dirac formulerte sin elektronligning var det også et problem å forstå hvordan kvantemekanikken skulle samordnes med relativitetsteorien.

I mange år strevde man med å forstå hvordan disse problemene skulle håndteres. Først etter krigen kom det et gjennombrudd i forståelsen av kvanteelektrodynamikken, først og fremst i form av bidrag fra Julian Schwinger, Richard Feynman og Sin-Itiro Tomonaga (Schwinger, Feynman og Tomonaga fikk i 1965 Nobelprisen i fysikk for sine bidrag). Dette var startpunktet for studiet av også andre kvantefeltteorier, og i dag regner vi at slike teorier gir den korrekte beskrivelse av elementærpartiklene og deres vekselvirkninger. Kvantefeltteorien, som er en kvanteteori for felter, formuleres ofte på en tilsvarende måte som kvanteteorien for (et endelig antall) partikler. Men på mange måter går den ut over kvantemekanikken og kan selv i dag ikke sies å være fullstendig forstått. Den er en utfordring ikke bare for fysikere, men også for matematikere, spesielt i den form som omfatter strenger og andre eksotiske objekter.

Kvantemekanikken har ikke bare revolusjonert vår forståelse av de grunnleggende forhold i naturen, men også – som en naturlig konsekvens – muliggjort en ny teknologisk utvikling. Kjernespaltingen og fusjonen var i mange år den mest spektakulære – og problematiske – konsekvens av kvantefysikken. Men en rekke andre teknologiske nyvinninger er kommet til, og er nå selvfølgelige deler av hverdagen, som transistoren og laseren. I dag fokuseres mye oppmerksomhet på mulighetene for å manipulere materialer helt ned på det atomære plan. I en slik *nanoteknologi* er ikke lenger de klassiske mekaniske lover tilstrekkelige for å kunne beskrive og manipulere de fysiske systemer. Kvantemekanikken kommer her inn på en avgjørende måte.

Fotografiet av Max Planck er velvilligst tillatt trykket av Archiv zur Geschichte der Max Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem.

Referanser

1. Max Planck: *Zur Theorie des Gesetzes der Energie verteilung im Normalspectrum.* Annalen der Physik **4,** 553 (1901)
2. Reidun Renstrøm: *Kvanteteoriens utvikling Plancks energielementer.* Fra Fysikkens Verden **63,** nr. 1, 14–16 (2001)
3. Reidun Renstrøm: *Einsteins lyskvanter.* Fra Fysikkens Verden **63,** nr. 2, 46–51 (2001)
4. Niels Bohr: *The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory.* Nature **121,** 580 (1928)
5. H.K. Lo, S. Popescu og T. Spiller (red.): *Introduction to Quantum Computation and Information.* World Scientific (1998)
6. Gustav R. Kirchhoff: *Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme.* Monatsberichte der Königlichen Preuss. Akadademie der Wissenschaften zu Berlin (1859)
7. Albert Einstein: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.* Annalen der Physik **17,** 132 (1905)
8. Arthur H. Compton: *On the Mechanism of X-Ray Scattering.* Proceedings of the National Academy of Science **11,** 303 (1925)
9. Niels Bohr: *On the Constitution of Atoms and Molecules.* Philosophical Magazine, serie 6, **26,** 1 (1913)
10. Werner Heisenberg: *Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.* Zeitschrift für Physik **33,** 879 (1925)
11. Erwin Schrödinger: *Quantisierung als Eigenwertproblem.* Annalen der Physik **79,** 362 (1926)
12. Paul A.M. Dirac: *Principles of Quantum Mechanics.* (1930)

∞

Den gravitasjonelle dra-effekten

Øyvind Grøn *

Etter 40 års forberedelser ble satellitten Gravity Probe B som skal teste relativitetsteorien, endelig skutt opp 20. april i år. Einsteins teori sier at rotasjonsaksen til et gyroskop som svever fritt i bane rundt jorda, skal dreie litt i forhold til stjernehimmelen fordi jordrotasjonen drar selve rommet nær jorda ørlite grann med seg. I følge Newtons gravitasjonsteori er det ingen slik dreining.

Foucault-pendelen og Newtons gravitasjonsteori

I vestibylen på Fysisk institutt ved Universitetet I Oslo, henger en 32 kg tung, forgylt stålkule og svinger i en 14 m lang metalltråd som er festet i taket. Den svinger langsomt og lenge. Denne typen pendel ble først laget av den franske fysikeren Jean B.L. Foucault (1819 1868). Han laget en 67 m lang pendel som ble hengt opp i Pantheon i Paris til verdensutstillingen i 1850. En slik pendel kalles nå en Foucault-pendel.

Det merkelige med denne pendelen er at mens jorda roterer under den, så står pendelens svingeplan fast i forhold til stjernehimmelen. Dersom vi ser på pendelen og stjernehimmelen samtidig, vil vi se at pendelens svingeplan roterer sammen med stjernehimmelen. Det er som om pendelen vet om stjernehimmelen og orienterer seg etter den. Hvilken forbindelse kan det være mellom pendelen i vestibylen på Fysisk institutt og stjernehimmelen? Er det noen? Kanskje det hele bare er et merkelig sammentreff?

Et godt utgangspunkt for en vitenskapelig undersøkelse er å anta at et tilsynelatende sammentreff peker mot en skjult forbindelse mellom deltagerne i "sammentreffet". Men hvilken mekanisme kan formidle en forbindelse mellom stjernene og pendelen? Vi kjenner bare *en* kraft som kan virke over store avstander på elektrisk nøytrale legemer. Det er gravitasjon. Kan det være gravitasjonen fra stjernene som får Fouceault-pendelens svingeplan til å dreie sammen med stjernehimmelen?

For å undersøke dette må man lage en modell av stjernehimmelen som er enkel nok til at beregninger kan utføres. Når vi bruker jorda som referansesystem, ser vi at stjernehimmelen roterer rundt jorda. Vi erstatter nå stjernehimmelen med et massivt kuleskall og bruker Newtons gravitasjonsteori til å regne ut gravitasjonsfeltet innenfor skallet. Det viser seg da at feltet ikke avhenger av kuleskallets rotasjon. Feltet er det samme som om kuleskallet var i ro. Et slikt felt kan ikke få pendelens svingeplan til å rotere. Newtons gravitasjonsteori kan ikke forklare at Fouceault-pendelens svingeplan roterer i forhold til jordoverflaten.

Machs prinsipp

Den østerrikske fysikeren Ernst Mach (1838 – 1916) mente at all bevegelse er relativ. Iblant omtales dette som Machs prinsipp. Mach diskuterte blant annet Newtons bøtteeksperiment hvor en bøtte med vann settes i rotasjon. Til å begynne med er overflaten vannrett. Men etter hvert sørger friksjonen for at vannet får en rotasjon, og vannoverflaten får form av en rotasjonsparaboloide. Vannet står høyere i økende avstand fra aksen. For Newton var dette et tegn på at rotasjonsbevegelse er absolutt. Han forklarte overflatens form som et resultat av vannets treghet kombinert med kreftene fra bøtten på vannet.

Mach mente at vi må kunne oppfatte situasjonen slik at vannet hele tiden er i ro, mens det er omgivelsene som roterer. Da duger ikke Newtons forklaring på vannoverflatens form. På samme måten som for Foucault-pendelen tilbyr ikke Newtons mekanikk og gravitasjonsteori noen forklaring ut fra det synspunkt at vannet hele tiden er i ro.

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

Mach mente at forklaringen må ha sammenheng med hvordan den kosmiske materien beveger seg i forhold til vannet. Men han greide ikke å konstruere noen teori som understøttet denne formodningen.

Einstein og relativitetsteorien

Einstein mente også at relativitetsprinsippet fra den spesielle relativitetsteorien måtte generaliseres til å omfatte akselerert og roterende bevegelse. Dette var motivet hans for å kalle den nye gravitasjonsteorien som han konstruerte i årene fra 1907 til 1915, for *den generelle relativitetsteorien.*

Einsteins teori inneholder en Machsk effekt, nemlig at partikler som faller fritt i nærheten av et legeme som roterer, dras med rundt i legemets rotasjonsretning. Dette innebærer at svingeplanet til en Foucault-pendel vil rotere innenfor et roterende massivt kuleskall. Einstein hadde utledet denne effekten for svake gravitasjonsfelt allerede før den generelle teorien var fullført. De østerrikske fysikerne J. Lense og H. Thirring, viste det i 1918 i den fulle teorien. Effekten kalles derfor gjerne *Lense–Thirringeffekten,* men omtales også som *den gravitasjonelle dra-effekten* eller *den gravitomagnetiske effekten.*

Siden gravitasjon er en svak kraft, var eksistensen av denne effekten ennå ikke blitt eksperimentelt testet i begynnelsen av 1990-årene. Men en gruppe italienske fysikere under ledelse av Ignazio Ciufolini, arbeidet nå iherdig med saken.[1]

Første måling av dra-effekten

Ciufolini og hans medarbeidere gjorde meget nøyaktige målinger av orienteringen til baneplanene for to satellitter kalt LAGEOS og LAGEOS II. Posisjonene til banenes punkter nærmest jorda ble også målt med stor nøyaktighet. Disse punktene forskyver seg på grunn av tidevannskrefter og ujevnheter i jordas gravitasjonsfelt. Dette kalles den geodesiske forskyvningen. Men det er også en liten forskyvning på grunn av den gravitasjonelle dra-effekten. For *en* satellitt drukner dra-effekten i den geodesiske forskyvningen. Men med to satellitter kan en orientere baneplanene slik at den geodesiske effekten for de to banene praktisk talt opphever hverandre.

Målingen av satellittbanene måtte gjøres med en fremragende presisjon. Den gravitasjonelle dra-effekten forskyver posisjonen til det nærmeste punktet kun med 11 meter over en 3-års periode.

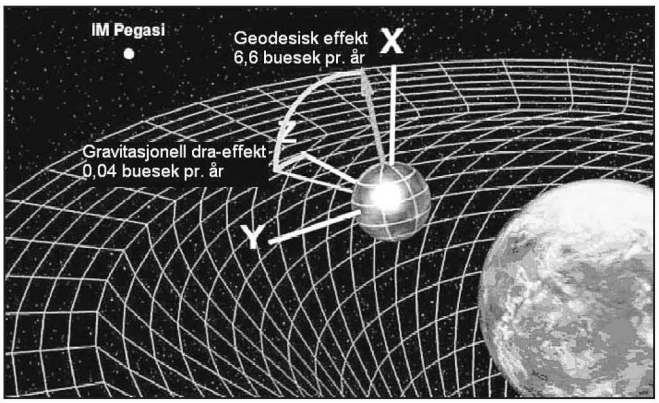
Dette greide teamet å måle. I 1997 rapporterte de et resultat som bekreftet forutsigelsen fra relativitetsteorien med 25 % nøyaktighet.[2,3] I en ny rapport fra 2002, ble resultatet av 7-års målinger rapportert. Igjen var resultatene i overensstemmelse med relativitetsteorien, og nå med 20 % nøyaktighet.[4] Disse målingene ga oss den første bekreftelsen av at den gravitasjonelle dra effekten virkelig eksisterer.

Gravity Probe B

Allerede i 1960-årene begynte amerikanske fysikere å planlegge et eksperiment for å måle den gravitasjonelle dra-effekten som skyldes jordrotasjonen. De ville sende et gyroskop i bane rundt jorda og måle hvordan rotasjonsaksens orientering endrer seg på grunn av jordrotasjonen.

Gyroskopet befinner seg nå i en satellitt som går i bane 640 km over jordoverflaten, og det roterer ti tusen ganger i minuttet. Beregninger viser at gyroskopet vil dreie 6,6 buesekunder per år mot x-aksen i figur 1 på grunn av den geodesiske effekten i jordas gravitasjonsfelt, og 42 tusendels buesekund per år mot y-aksen på grunn av dra-effekten.

Dreiningen av gyroskopaksen måles i forhold til en referanseretning som er synslinjen mot stjernen IM Pegasus. Det er derfor en forutsetning for tolkningen av målingene at aksen til et gyroskop som beveger seg fritt langt fra andre legemer, har en fast retning i forhold til stjernehimmelen. Målinger av orienteringen til Fouceault-pendelens svingeplan tyder på at dette er riktig.



Figur 1. Måling av den gravitasjonelle dra-effekten som skyldes jordrotasjonen, ved hjelp av Gravity Probe B. I løpet av ett år dreier gyroskopaksen 6,6 buesekunder mot x-aksen på grunn av tidevannskraften i jordas gravitasjonsfelt (den geodesiske effekten), og den dreier 0,04 buesekunder per år på grunn av den gravitasjonelle draeffekten. Koordinatsystemet er orientert slik at z-aksen hele tiden peker mot stjernen IM Pegasi.

Etter mer enn 40-års planlegging, med Francis Everitt som en av ildsjelene, er prosjektet nå endelig blitt realisert under betegnelsen *Gravity Probe B.*[5] Satellitten med gyroskopet ble sendt opp i bane 20. april i år. Målet er å teste den relativistiske prediksjonen med 1 % nøyaktighet. Det krever at man måler gyroskopaksens retning med en presisjon på 0,5 tusendels buesekund. Dette svarer til å treffe en blink i 4000 km avstand innenfor 1 cm fra sentrum. Denne nøyaktigheten må opprettholdes i omtrent 2 år for at målingene skal lykkes.

Elektromagnetisme og dra-effekten

Det kan virke forbausende at NASA er villig til å bruke milliarder av dollar på å utføre enda en test av den generelle relativitetsteorien. Den gravitasjonelle dra-effekten ble jo målt med Lageos-satellittene. Det man kan oppnå med Gravity Probe B, er å gjøre 20 ganger mer nøyaktige målinger.

For å sette betydningen av målingene inn i et større perspektiv, kan vi betrakte verden i lys av Kaluza–Kleinteorien. Dette er en forent teori for gravitasjon og elektromagnetisme. Teorien postulerer eksistensen av en fjerde romlig dimensjon, en sylinderdimensjon med så liten radius – mindre enn 10^{-30} m – at den ikke merkes direkte. Selv ikke de største elementærpartikkelakseleratorene har større oppløsning enn 10^{-18} m.

I Kaluza-Kleinteorien skriver man ned den generelle relativitetsteorien for det 5-dimensjonale tidrom. Så projiserer man teorien inn i vårt 4-dimensjonale tidrom. Det viser seg da at Einsteins feltlikninger spalter seg i to sett: Maxwells likninger for elektromagnetiske felter og Einsteins gravitasjonslikninger for vårt 4 dimensjonale tidrom.

Den 5-dimensjonale verden er elektrisk nøytral. Der finnes verken ladninger eller elektromagnetiske felter. Det vi oppfatter som ladning fra vårt 4-dimensjonale perspektiv, er en nøytral partikkels bevegelse rundt den 5. dimensjonen.

I midten av 1980-årene undret jeg meg på hva som svarer til en ladnings elektriske felt i den 5dimensjonale verden. Ved å løse feltlikningene for den 5- dimensjonale verden og projisere resultatet inn i vår 4 -dimensjonale verden, fremkom et interessant resultat. Det viste seg da at det 5dimensjonale motstykket til en ladnings elektriske felt er det feltet som er knyttet til den gravitasjonelle dra-effekten produsert av en nøytral partikkel som beveger seg rundt den 5. dimensjonen.

Dersom Newtons gravitasjonsteori hadde vært korrekt, ville det ikke ha eksistert noen gravitasjonell dra-effekt. Da ville det heller ikke ha eksistert elektromagnetiske krefter ifølge Kaluza–Kleinteorien. Hvis svingeplanet til pendelen i vestibylen på Fysisk institutt ikke hadde rotert sammen med stjernehimmelen, ville vi ikke ha eksistert.

Referanser

1. I. Ciufolini og J.A. Wheeler: *Gravitation and Inertia.* Princeton University Press (1995)
2. I. Ciufolini, D. Lucchesi, F. Vespe og F. Chieppa: *Detection of Lense-Thirring Effect Due to Earth's Spin.* Internett: *xxx.lanl.gov/ Preprint: gr- qc/9704065*
3. Ø. Grøn: *Gravitasjonell draeffekt verifisert.* Fra Fysikkens Verden, 60. årgang, nr. 3, 80 (1998)
4. I. Ciufolini: *Test of General Relativity: 1995–2002 Measurement of FrameDragging.* Internett: *xxx.lanl.gov/* Preprint: gr-qc/0209109
5. Nettadresse til hjemmeside for Gravity Probe B: *http://einstein.stanford.edu/*

∞

HUSK
Å MELDE
ADRESSEFORANDRING

Fotballsparkets fysikk

Arnt Inge Vistnes *

Begynnerstudentene i fysikk ved Universitetet i Oslo får opplæring i å bruke numeriske metoder i tillegg til de tradisjonelle analytiske når de jobber med fysikk og matematikk. Dette gir oss muligheter til å ta tak i mer realistiske problemstillinger, noe både studentene og lærerne setter pris på. Denne våren var fotballsparkets fysikk tema for den første obligatoriske oppgaven som fysikkstudentene møtte.

Det føles vilt å skrive en artikkel om fotballspark når jeg praktisk talt er uinteressert i fotballspill. Men nå er det slik at fotballen er blitt litt interessant likevel fordi det er mer fysikk bak et fotballspark enn folk flest er klar over.

Hva kan det da være som er så interessant med et fotballspark? Det er i utgangspunktet et "skrått kast", og vi kjenner jo alle til hvordan vi behandler slike kast. Men gjør vi egentlig det? I "lærebok-fysikken" hopper vi ofte lett over problemet med luftmotstand. Hvorfor? Jo, fordi det blir nærmest umulig å håndtere luftmotstand på en ordentlig måte når man er begrenset til bare å bruke tradisjonelle analytiske løsningsmetoder. Men så snart vi kan bruke numeriske løsningsmetoder, er det ganske enkelt å trekke inn også luftmotstand, ikke bare i en meget forenklet, idealisert beskrivelse, men faktisk en ganske kompleks beskrivelse. Og da dukker det opp detaljer som en fysiker kan glede seg over selv om han ikke er så opptatt av fotball som spill. Forhåpentligvis er gleden enda større for dem som selv driver med fotball?

Detaljene vi her skal se på er nøye knyttet til aerodynamikk, og det finnes eksperimentelle kurver som viser hvordan luftmotstanden for et kuleformet legeme varierer med hastigheten. Figur 1 viser et eksempel på en slik kurve. Langs y-aksen har vi luftmotstandskoeffisienten C_D, og langs x-aksen har vi Reynolds tall, R. La oss først dvele litt ved R.

For kuleformede gjenstander er Reynolds tall gitt ved:

$$R = \frac{\rho d}{\eta} v$$

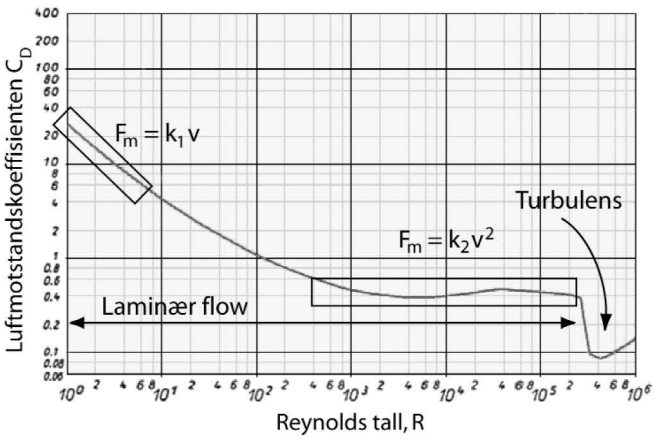
der ρ er luftas tetthet, d er diameteren til ballen, η er luftas viskositetskoeffisient og v er farten. Vi ser altså at Reynolds tall er proporsjonalt med farten til ballen; og setter vi inn verdier for lufttetthet og viskositet ved standard temperatur og trykk, og at 70 cm ballomkrets svarer til en diameter på 22,3 cm, får vi:

$$R = \frac{\rho d}{\eta} v = \frac{1,293 \cdot 0,223}{1,67 \cdot 10^{-5}} \cdot [v] = 1,73 \cdot 10^4 \cdot [v]$$

Eller

$$[v] = R \cdot 5,8 \cdot 10^{-4}$$

hvor hastigheten er gitt i m/s.



Figur 1. Luftmotstandskoeffisienten C_D som funksjon av Reynolds tall R for kuleformede gjenstander. (Figuren er hentet fra *http://www.scri.fsu.edu/~jac/Physics/drag/drag1a.html* den 29. januar 2004, men er en god del bearbeidet.)

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Luftmotstandskoeffisienten, C_D, i figur 1 inngår på følgende måte når luftmotstanden, F_m, skal beregnes:

$$F_m = -\frac{1}{2}\rho S C_D v \cdot \boldsymbol{v}$$

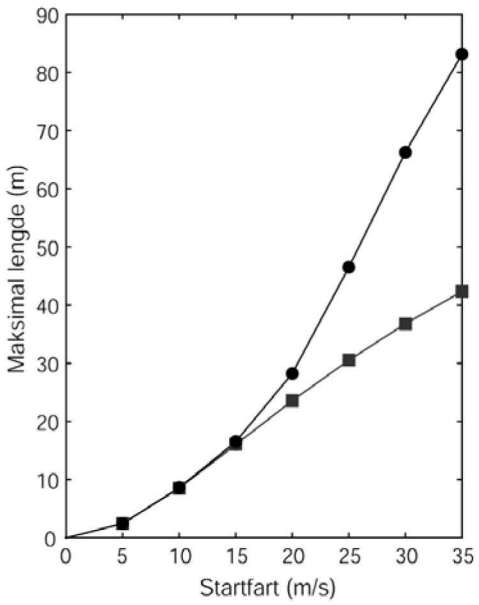
Her er S tverrsnittet av legemet vinkelrett på fartsretningen. C_D er luftmotstandskoeffisienten som generelt sett er avhengig av legemets form og av farten (slik det går fram av figur 1). Luftmotstanden som vektor har motsatt retning av hastigheten $\boldsymbol{v}$. Dersom C_D er konstant, vil luftmotstanden være proporsjonal med farten i annen potens, men som man kan lese ut av figur 1, vil luftmotstanden effektivt være proporsjonal med farten i første potens ved lave hastigheter.

Luftmotstanden er rettet motsatt av hastigheten bare dersom ballen ikke roterer. Dersom ballen roterer, blir den påvirket av en tilleggskraft (såkalt Magnus-kraft) vinkelrett på hastigheten. Denne kraften benyttes når man skal "skru" en ball, men den har liten betydning når man skal sparke ballen lengst mulig. Vi antar her at ballen ikke roterer.

Figur 1 viser egentlig en eksperimentell sammenheng mellom C_D og R for glatte kuler i luft. Fotballen har imidlertid såpass glatt overflate at kurven i figur 1 er godt anvendbar. Kurven har nær samme form også for baller med meget ru eller bølgete overflate (f.eks. en golfball), men det er visse karakteristiske forskjeller som vi ikke kommer inn på her.

Figur 1 viser at så lenge vi holder oss til fysiske forhold hvor reynoldstallet R ligger mellom ca. 400 og 250 000, som svarer til fotballhastigheter mellom 2,5 cm/s og 15 m/s, er C_D temmelig konstant og nær 0,45. For slike forhold er en enkel beskrivelse av luftmotstanden, $F_m = -kv^2$, ganske god (k er en konstant). For mindre hastigheter, derimot, øker C_D på en slik måte at effektiv luftmotstand etter hvert blir proporsjonal med farten i *første* potens, ikke i annen potens slik uttrykket tilsier, men så lave hastigheter er uaktuelle i vår sammenheng. Den morsomste detaljen er likevel at *over* ca. 17,5 m/s ($R \approx 3 \cdot 10^5$) endrer luftmotstanden seg betydelig; den synker til omtrent en fjerdedel av verdien ved litt lavere fart. Dette skyldes overgang fra laminær til turbulent luftstrømning langs overflata til ballen når man passerer ca. 17,5 m/s mot økende hastigheter. Klarer man derfor å sparke ballen tilstrekkelig hardt slik at ballens fart gjennom hele svevet er over 17.5 m/s, vil den reduserte luftmotstanden gi en rekke gevinster som vi nå skal se litt nærmere på.

Det er som sagt temmelig enkelt å legge inn de eksperimentelle dataene for luftmotstand når man bruker numeriske løsningsmetoder. (I begynnerkurset i fysikk ved UiO laget studentene et kort Matlab-program for å gjennomføre beregningene og plotte resultatene. I den obligatoriske oppgaven beregnet de hvor langt ballen kunne gå ved ulik startfart og startvinkler, og de bestemte bl.a. hvilken vinkel som fikk ballen til å gå lengst mulig.)



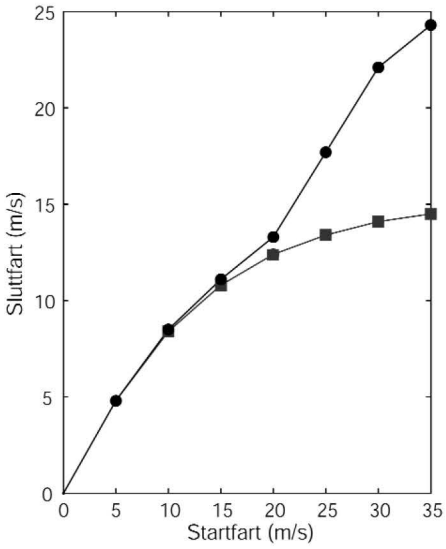
Figur 2. Maksimal lengde en fotball kan gå med ulik startfart. Utgangsvinkelen er optimalisert for hvert enkelt punkt i kurven (mellom 33 og 45 grader). For den nedre kurven (kvadratiske symboler) er det antatt at luftmotstanden er proporsjonal med kvadratet av farten, mens i den øvre kurven (sirkulære symboler) er det tatt hensyn til den eksperimentelle kurven i figur 1 som bl.a. viser at luftmotstanden avtar betydelig når farten blir større enn ca 17,5 m/s. Bare få fotballspillere klarer å gi ballen en startfart på 30 m/s eller mer.

Resultatene av beregningene (se figur 2–4) viser en rekke interessante ting, men mest iøynefallende er det at luftmotstanden spiller en vesentlig rolle for resultatet! Vi har plottet maksimal lengde, sluttfart og kinetisk energi til slutt i svevet som funksjon av startfarten. Startvinkelen er valgt slik at svevet ble lengst mulig (i praksis vinkler mellom 33 og 45 grader). To kurver er gitt i hvert diagram. En kurve viser hvordan resultatet ville ha vært dersom vi ikke hadde hatt den ekstra dumpen til venstre i figur 1 (dvs. dersom vi ikke hadde hatt redusert luftmotstand pga. turbulens). Den andre

kurven viser resultatet når alle detaljer i figur 1 er tatt hensyn til ved beregningene.

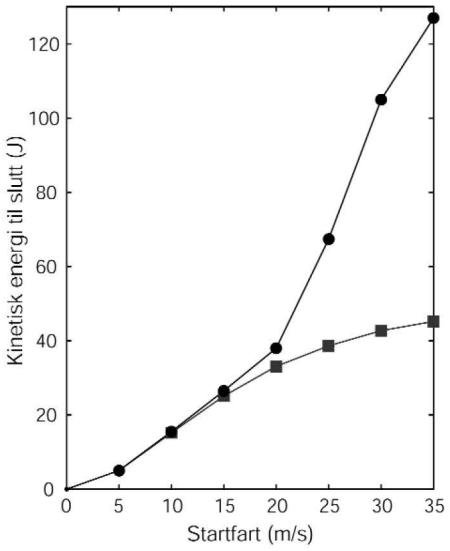
Vi vet at en keeper med kraftige bein kan sparke ballen godt og vel halve lengden av en fotballbane, dvs. over 55 meter. Det tilsvarer ifølge beregningene i figur 2, en startfart på ballen på omlag 30 m/s, noe som stemmer overens med målinger. Bare få fotballspillere kan gi ballen så stor startfart.

Jeg moret meg for øvrig med å skrive ut sluttfarten og kinetisk energi når ballen når bakken. Resultatene i figur 3 viser det interessante at dersom det ikke var for turbulenseffekten, ville sluttfarten



Figur 3. Fart ved slutten av svevet for en fotball som starter med ulik fart og har en utgangsvinkel som svarer til at ballen når lengst mulig. For øvrig henvises det til forklaring i teksten for figur 2.

endret seg relativt lite selv om startfarten økte fra 20 til 35 m/s. Det skyldes at luftmotstanden i dette tilfellet er tilnærmet proporsjonal med kvadratet av farten underveis i svevet, slik at økt fart gir betydelig større luftmotstand, som i sin tur demper effekten av større startfart. Når turbulenseffekten tas med i beregningene, ser vi derimot en markant økning i sluttfart og dermed også i kinetisk energi (figur 4) for de høyeste starthastighetene. Det betyr at det er en betydelig gevinst i å kunne sparke en ball så kraftig at startfarten blir over 25 m/s. Ikke bare går ballen markant lenger enn for lavere startfart, men i tillegg blir også sluttfarten markant høyere (og ballen får dermed større kinetisk energi). Det betyr at ballen kommer betydelig raskere frem slik at det blir vanskeligere for motpartens spillere



Figur 4. Kinetisk energi ved slutten av svevet for en fotball som starter med ulik fart og har en utgangsvinkel som svarer til at ballen når lengst mulig. For øvrig henvises det til forklaring i teksten for figur 2.

å nå den; og om de når ballen, har den også mer "kraft".

Betydningen av økt startfart kommer enda tydeligere fram dersom vi tar utgangspunkt i at ballen skal skytes en bestemt lengde. Skal en spiller sende ballen 30 meter av gårde, må den ha en utgangsvinkel på ca 37 grader dersom startfarten er 20,6 m/s (minste startfart som kan gi denne lengden), og i så fall vil ballen bruke 2,4 sekunder på svevet. Dersom en spiller derimot klarer å gi ballen en startfart på 30 m/s, vil en startvinkel på 11 grader gi riktig lengde, og ballen vil bare bruke 1,1 sekunder på svevet. Det er altså snakk om markante forskjeller!

Konklusjon: Våre beregninger viser at startfarten for et fotballspark har større konsekvenser enn man kanskje skulle tro. Effekten skyldes en redusert luftmotstand akkurat i et aktuelt fartsområde. Fotballspillere med kraftige bein vil kunne utnytte denne effekten. Styrketrening av fotballspillernes bein må derfor være ganske viktig!

Oppgave og løsningsforslag i kursopplegget finnes på FYS-MEK1110-kursets websider. Løsningsforslaget ligger på *http://www.fys.uio.no/studier/kurs/fy-me100/fys_mek1110v04/oppgaver/obliglosn.html*

Jeg vil takke Karl Måseide og de andre i redaksjonen for gode tips til forbedring av denne artikkelen.

∞

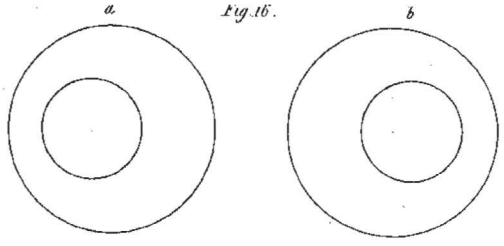
Stereobilder og professor Keyser i 1840

Bjørn Pedersen *

Jens Jacob (Jac) Keyser (1780–1847) innehadde det første professorat i kjemi og fysikk ved Universitetet i Oslo fra 1814 til 1847.[1] Han publiserte lite, så funnet i Riksarkivet av et manusskript til et foredrag han holdt i 1840 er derfor interessant. Han demonstrerte en revolusjonerende nyhet i foredraget: To tegninger av et objekt kan gi et tredimensjonalt bilde av objektet! Dette var oppdaget av den engelske fysiker Charles Wheatstone (1802–75) noen år tidligere. Metoden ble svært populær og brukes fortsatt på mange områder. På internett kan man f.eks. finne stereobilder fra Mars.

Stereobilder var en sensasjon i sin tid. De første stereobildene ble laget av Charles Wheatstone (1802–75) som også konstruerte det første apparatet til å se på slike bilder. Han kalte apparatet et stereoskop og publiserte den første artikkel om det i 1838.[2] (Stereoskopet hans (figur 4) er i dag utstilt i Science Museum i London.)

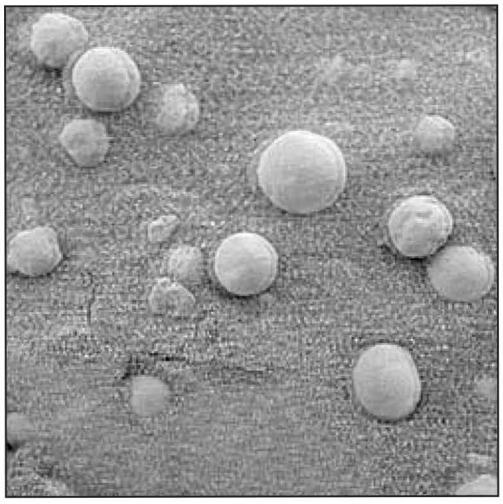
Den som har to øyne ser verden tredimensjonalt fordi hvert øye ser verden litt forskjellig. Hjernen kombinerer de to bildene slik at verden blir tre dimensjonal. Det Wheatstone gjorde var å lage to tegninger av et objekt slik hvert av våre to øyne ser objektet. Et enkelt eksempel fra Wheatstones artikkel er gitt i figur 1. Figuren viser to sirkler med en mindre sirkel inni.



Figur 1. Stereobilde av en rettavkortet kjegle tegnet av Charles Wheatstone i 1838.[2]

*Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo

Noen trenger ikke et apparat for å se hva det forestiller. Holder man hånden på høykant mellom de to bildene i figur 1 og innstiller øynene på et fjernt punkt, smelter bildene sammen og man ser objektet tredimensjonalt (en rettavkortet kjegle). Begge bildene bør være like sterkt eksponert for lys. Bruker man ikke hånden, ser man tre bilder, men bare det midterste er tredimensjonalt. Det er fordi uten hånden ser begge øynene begge bildene, men bare ett blir "riktig".

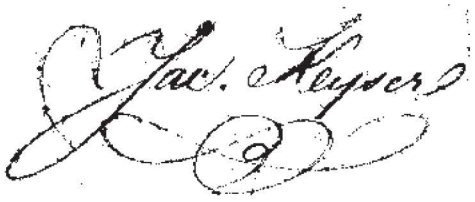


Figur 2. Stereobilder av kuler på Mars (*http://marsovers.jpl.nasa.gov/gallery/3d/*).

I noen bilder fra Mars (figur 2) har de to bildene forskjellig farge og er lagt opp på hverandre; andre bilder presenteres ved siden av hverandre. Man skiller dem som er superponert ved å bruke briller med ett rødt og ett grønt glass. Det røde glasset slipper bare igjennom det røde bildet og det grønne det andre. (Slike briller kan man lage av rød og grønn cellofan eller man kan bruke to fargefiltre.) (Man finner bildene på Internett ved å bruke søkeordene *Mars* og *stereo*.)

Keyser var født i Drammen i 1780, og bodde i København i 16 år fra han tok artium i 1798. Han

ble utdannet i København som lærer i matematikk og fysikk, og han ble faglærer ved Katedralskolen i København (som dengang het Vor Frues skole og nå heter Metropolitanskolen). Før han ble professor i Christiania i 1814, hadde han også rukket å utdanne seg til jurist og bibliotekar, så han hadde satset på flere hester under de usikre tider som rådde under napoleonskrigen. Noe bilde av ham er ikke kjent. Det nærmeste vi kommer er underskriften hans vist i figur 3.[5]



Figur 3. Keysers underskrift fra tittelbladet på en bok.[5]

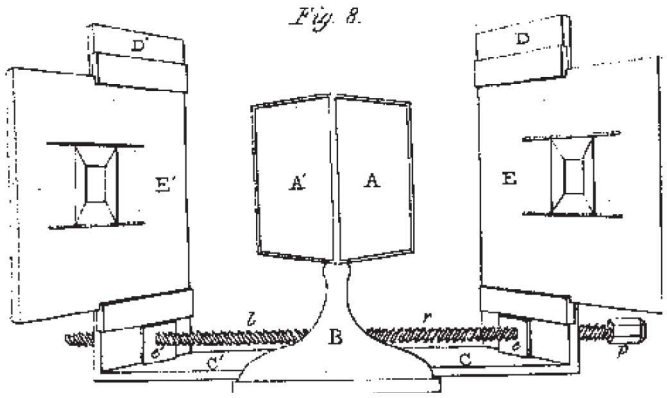
Keyser holdt sitt foredrag i den fysisk-kjemiske seksjonen ved det skandinaviske naturforskeres og legers møte i København, 2. juli 1840. Han innledet sitt foredrag med:

Physiske Instrumenter og Apparater ere saa at sige, de Vaaben ved hvilke Naturforskeren aftvinger Naturen dens Hemmeligheder, eller, om man heller vil, det Medium igjennem hvilket Naturen besvarer de Spørsmaal som Naturforskeren forelægger den. Ligesom det følgeligen ikke lader seg tænke noget grundigt Naturstudium uden Instrumenter, saaledes maa hint skride frem i samme Forhold, som disse blive fuldkommere. Det maa derfor unægteligen antages at være et blandt de vigtigste Øjemed for Naturforskernes Sammenkomster i samme at forevise saadanne enten ganske nye, eller om hvilke det er at formode at de ere litet bekjendte og at afhandles dem med Hensyn til Indretning og Andvendelser; især siden man oftest ved en Inspectio ocularis af Instrumenter og deres Andvendelse lærer ligesaa meget i et Par Timers Tid som man ellers maa bruge Dage ja Uger til med de ej sjelden højst utydelige Beskrivelser som ledsage dem.

I noe enklere ord sier vi vel det samme i dag, så her synes ikke verden å ha gått fremover!

Om stereoskopet skriver han:... *blev det allerede i Aaret 1838 forevist af Professor Wheatstone ved de britiske Naturforskeres Møde i Newcastle, men det er endnu kun lidet bekjennt paa Continentet endskjønt Dr. Brewster engang skal have ytrete at det var "the finest invention of that kind he had ever seen". I sanhed er det ogsaa ligesaa simpelt som det er sindrigt, og vil uden tvivl bidra til at løse adskillige Problemer ved Synet (Sandsningen ved Øjet), om hvilke der endnu hersker Uvidenhed; f. E. det: om man seer (fixerer) en Gjenstand med eet eller med begge Øjnene.*

Han viste så frem stereoskopet og beskrev det. Manusskriptet inneholder ingen figurer, men sannsynligvis hentet han figurer fra Wheatstones artikkel. Wheatstones tegning av stereoskopet er gitt i figur 4, og i figurteksten er apparatet beskrevet.



Figur 4. Wheatstones tegning av stereoskopet sitt. De to tegningene som skal betraktes stereoskopisk monteres på hver sin plate (E og E') som er stilt på skrå. De to speilene, A og A', står også på skrå slik at når betrakteren setter nesen der de to speilene møtes, vil høyre øye se bildet på plate E og det venstre bildet på plate E'. Skruen kan variere avstanden mellom bildene slik at de passer til betrakterens syn.[2]

Keyser demonstrerte stereoskopet og sa: *Og hva finne vi da nu, naar dette gjøres at Resultatet er? Hvad mine herrer, ved at benytte Instrumentet, ville faae Lejlighed til at iagtage, nemligen at vi med begge Øjnene see kun eet Billede, men, naar Projectionerne ere malede med Legemets Farver, et Billede, der fuldkomment svarer til Legemet og staaer ligesaa ophøjet paa Papiret som om Legemet selv holdes der og betragtes med begge Øjne; fremdeles at vi med eet Øje allene blot ser den til samme hørende Projection, intet ophøjet Billede. Det anførte Tilfælde ser vi altsaa med begge Øjne. Resultatet er højst interessant.*

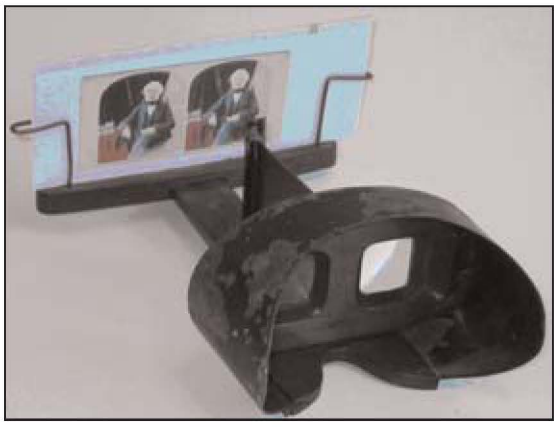
Det er pussig at han understreker at vi ser med begge øynene. Det kan forstås på grunnlag av et foredrag han holdt 11. mars 1840 i Den physiographiske forening i Christiania.[4] Da hevdet Keyser *at vi stedse kun ser med et Øie ad Gangen, eller at alene det i et af Øinene dannede Billede giver os en bevist Synsfornemmelse.* Det førte til

en levende diskusjon, står det i referatet, hvor lektor Boeck *især af physiologiske Grunder* hevder at vi ser med begge øynene samtidig. Så fra mars til juli må Keyser ha endret oppfatning. (Christian Boeck (1798–1877) var lektor i veterinærmedisin ved universitetet fra 1828. Han ble senere professor i fysiologi, komparativ anatomi og veterinærmedisin, og var en sentral person i datidens vitenskapelige verden i Christiania.) Det er derfor tydelig at Keyser formidlet de siste forskningsresultater på dette møtet.

Wheatstone skriver i sin artikkel at han har sett etter i litteraturen om noen har gjort noe liknende tidligere. Den eneste han finner er Leonardo da Vinci (1452–1519) som påpekte at et maleri, selv om det er tegnet med perspektiv, ikke kan vise virkeligheten slik vi ser den med to øyne. Hans argument var at hvert øye ser noe forskjellig av det som er bak en figur i forgrunnen. Men, skriver Wheatstone, Leonardo påpeker ikke at også objektet i forgrunnen ser noe forskjellig ut for hvert øye.

Keyser kan ha vært til stede på møtet i Newcastle i august 1838 og sett Wheatstone demonstrere utstyret. Han kan også ha kjøpt et stereoskop, da han stadig kjøpte inn utstyr til *Det physiske cabinet* (forløperen til Fysisk institutt, UiO). Det er interessant at Brewster roser Wheatstone.

Sir David Brewster (1781–1864) konstruerte i 1849 et forenklet stereoskop hvor han brukte linser i stedet for speil. Han skrev også en bok på 250 sider i 1856, om stereoskopet, og hvorfor det virker som det gjør.[3] Han gir en fyldig fremstilling av forhistorien og reduserer Wheatstones innsats. Brewster var en kjent skotsk fysiker i sin tid, noe som fremgår av hans Sir-tittel, men han er i dag hovedsakelig husket som oppfinner av kaleidoskopet i 1817. Kaleidoskop kan man fortsatt kjøpe, og det har vel de fleste lekt med som barn eller sammen med barn.



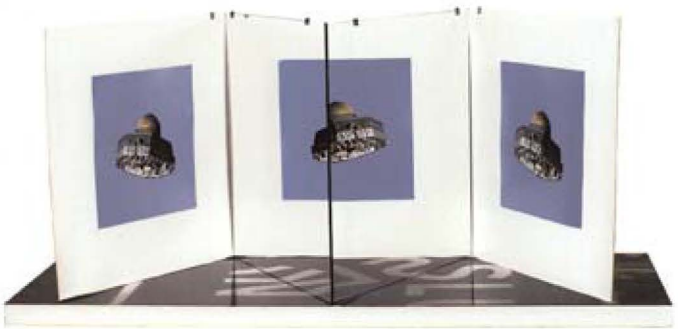
Figur 5. Foto av August Olsens stereoskop fra ca. 1900.

Figur 5 viser et stereoskop som jeg har arvet fra min oldefar, August Olsen (1848–1933), som var en ivrig fotograf. Denne typen ble konstruert av Oliver Wendall Holmes i 1890-årene og er en forenklet utgave av stereoskopet til Brewster.

Wheatstone tegnet sine bilder (som vist i figur 1). I 1840- og 1850-årene da fotografier ble tilgjengelig, økte bruken sterkt. Å se på slike stereobilder var svært populært i hundre år. Noen, som min oldefar, laget sine egne, men de kunne også kjøpes. Fortsatt finnes de i suvenirbutikker og på loppemarkeder. De finnes også på Internett, se f.eks. *http://www.pokescope.com/*

Stereobilder brukes i dag også for å vise modeller av mikrokosmos, og flere programmer for visualisering av molekylmodeller gjør det mulig å vise stereobilder av de modeller man har konstruert. De mer avanserte bruker briller med polarisert glass og en spesiell skjerm, eller to prosjektører. Det finnes også lærebøker med stereobilder som leveres med et enkelt stereoskop.

Stereobilder brukes også av dagens kunstnere. Svensken Dag Wolgers (1955-) stilte ut stereobilder på Carnegie Art Award 2004-utstillingen (se figur 6).[6] Han bruker en oppstilling omtrent identisk med et Wheatstone stereoskop. Hans datamaskinkonstruerte tegninger er av Klippedomen på Tempelhøyden i Jerusalem (men han kaller den feilaktig Al Aksa-moskeen). Perspektivet og konstruksjonen er slik at man kan se inn i moskeen nedenfra. Midt i bildet har kunstneren lagt inn en sirkel hvor stereovirkningen er borte. Derved hevder han å skyve bildet inn i en fjerde dimensjon(!).



Figur 6. Klippedomen i Jerusalem vist av kunstneren Dan Wolgers i et enkelt Wheatstone-stereoskop.[6] (Bare skruen som regulerer avstanden mellom venstre og høyre bilde mangler.)

Referanser

1. Trygve Holtebekk: *UiO – Epoker i Fysisk institutts historie.* FFV 54, Nr. 1, 4–11 (1992)
2. Charles Wheatstone: *Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London 128, 371–394 (1838)
3. David Brewster: *The Stereoscope. Its History, Theory, and Construction.* London (1856)
4. Elin Strøm: *personlig meddelelse.*
5. Johann Friedrich John: *Chemisches Laboratorium oder Anweiung zur chemischen Analyse der Naturalien.* Berlin (1808)
6. Ulrika Levén, redaktør: *Carnegie Art Award 2004,* side 166 og 210. Stockholm (2003)

∞

Hva skjer

Nasjonalt naturfagsenter opprettet

Et nasjonalt senter for naturfag i opplæringen, *Naturfagsenteret*, ble opprettet ved Universitetet i Oslo i 2003. I "Realfag, naturligvis", departementets strategiplan for styrking av realfagene, var dette ett av tiltakene i 2003, i tråd med opprettelsen av Nasjonalt senter for matematikk i opplæringen, som ble etablert ved NTNU året før. RENATE-senteret (Nasjonalt senter for kontakt med arbeidslivet om rekruttering til realfag) ved NTNU, er også "medlem i denne familien" av sentre som skal arbeide for å styrke realfagene i opplæringen og rekrutteringen til dem.

Naturfagsenteret er administrativt lagt under Det matematisknaturvitenskapelige fakultetet ved UiO, mens den faglige styringen ligger hos *Team for realfag* i departementet (UFD). Departementet har godkjent et mandat der hovedoppgaven er å styrke kompetansen i, og motivasjon for, naturfag hos elever og lærere i opplæringssystemet. Det skal gjøres ved å utvikle og forbedre innhold og metode gjennom forsknings-, forsøks- og utviklingsprosjekter. Naturfagsenteret skal bidra med tiltak for å øke rekrutteringen til naturfagene, og det skal bygge nettverk i forhold til nasjonale og internasjonale miljøer som arbeider innenfor de samme områdene. Naturfagsenterets målgrupper er lærere som underviser i naturfag i barnehagene, grunnopplæringen i hele skoleverket og i lærerutdanningen, elever og studenter, forskere og læremiddelutviklere.

Naturfagene står overfor store utfordringer i årene framover, utfordringer som Naturfagsenteret skal bidra til å gjøre noe med. Eurobarometeret viser at det er stor interesse for naturfag og teknologi i Europa, og de nordiske landene kommer best ut av alle. Naturvitenskapelige programmer i radio og TV har stor oppslutning, og de naturhistoriske museene og vitensentrene i Norge er godt besøkt. Interessen er ulikt fordelt på fagområdene, og det er store ulikheter mellom kjønnene. Men til tross for den store interessen for naturfaglige emner, opplever Norge og de fleste vestlige land en rekrutteringssvikt til mange studier innen naturvitenskap.

Undersøkelser viser at barn i Norge stort sett liker naturfag på skolen opp til en viss alder, men de ønsker ikke å arbeide med naturfaglige yrker seinere i livet. Vi vet fra evalueringer at lærere liker å undervise i naturfag, men at mange mangler formell kompetanse og savner materiell som kan sette dem i stand til å gjøre undervisningen mer praktisk og interessant for elevene. Vi vet også at interessen for naturfag avtar oppover i grunnskolen og at for få velger naturfag i videregående skole og som studier innen høyere utdanning.

Naturfagsenteret har utviklet en handlingsplan som tar tak i noen av disse utfordringene. Men vi er klar over at vi ikke er alene på denne arenaen. Den reviderte strategiplanen for realfagene "Realfag, naturligvis, 2004", som statsråd Clemet la fram på realfagkonferansen i Tromsø i januar, lister opp mange tiltak som ulike aktører skal være delaktige i. Her finner vi aktører som Forskningsrådet, Læringssenteret og Vox (voksenopplæring) sammen med de tre sentrene som er nevnt ovenfor. Men aktørene er selvfølgelig flere. Naturfagsenteret underskrev i februar i år en samarbeidsavtale med NAROM (Nasjonalt råd for romrelatert opplæring ved Andøya Rakettskytefelt). Dennne avtalen understreker de felles utfordringene vi skal arbeide med og muligheter for å utvikle felles prosjekter. Videre skal vi samarbeide med de etablerte skolelaboratoriene ved universitetene og vitensentrene rundt om i landet.

En ny giv for naturfagene

Situasjonen i skolen tilsier at vi må skape større

entusiasme for naturfagene i skolen. Naturfagsenteret vil bidra til dette ved å utvikle ideer til mer aktivitetsbasert undervisning i naturfag, spre informasjon om undervisningsideer, arbeide for bedre utstyr i grunnskole og videregående opplæring, og være med på å fremme naturfaglige fritidsaktiviteter. Noen slike prosjekter er allerede igangsatt av ildsjeler gjennom tiltak som Forskerfabrikken og Opplevelsesklubben. Naturfagsenteret vil også utvikle en veilednings- og inspirasjonstjeneste for naturfaglærere i grunnskolen ved å utdanne "naturfagambassadører" som skal betjene et begrenset geografisk område. De skal være spredt over hele landet, men ha sin base ved Naturfagsenteret.

Etterutdanning for lærere

Lærere i videregående skole har ofte en solid faglig grunnutdanning, mens den formelle kompetansen i naturfag hos lærere på de lavere klassetrinnene i grunnskolen kan være svak. Det er derfor behov for store løft for å gi lærere et bedre faglig og metodisk grunnlag for å undervise i natur- og miljøfag i grunnskolen. Men det trengs også en kraftig satsing på etterutdanning for lærere på de høyere trinnene, innenfor nye metoder og nytt fagstoff.

Naturfagsenteret deltar i arbeidet med å utvikle et nettbasert etter- og videreutdanningstilbud for lærere i grunnskolen og i 1. klasse i videregående skole. Utfordringen er å få lærere til å delta på disse kursene. Det er ofte mange hindringer i vegen for at dette kan skje. Blant annet betyr stipendordninger og skolenes egne planer for kompetanseutvikling mye for at lærere skal få tid til å delta i kurs.

En stor årlig naturfagkonferanse hører også med til Naturfagsenterets satsing på å skape møteplasser for inspirasjon og faglig og didaktisk "påfyll". Målgruppene er lærere, lærerutdannere, læremiddelutviklere og forskere innen naturfagdidaktikk.

Internett som ressurs

Naturfagsenteret står ansvarlig for drift og utvikling av naturfagprogrammer innen viten-konseptet. Dette er web baserte programmer som Radioaktivitet, Hydrogen – ren energi, Genteknologi og Sinus (bølgeenergi). Mer om viten-konseptet finnes på hjemmesiden *viten.no*. Programmene utvikles i samarbeid med de beste faglige miljøene på området, og det forskes på implementering og bruk av programmene i klasserom. Interessen for disse programmene har vært svært stor både hos lærere og elever, og vi har planer om å utvikle flere viten-programmer for skoleverket.

Naturfagsenteret arbeider også med å utvikle ressursstedet *naturfag.no* for elever og lærere. I dag kan det være vanskelig både for lærere og elever å finne fram til aktuelt stoff og ideer på Internett, og kvaliteten der er svært varierende. Vi ønsker at vårt nettsted skal kunne bli en "port" som gjør det lettere å finne fram til aktuelt og kvalitetssikret stoff.

Nettstedet *www.naturfagsenteret.no* er allerede etablert. Det skal være et sted for informasjon om Naturfagsenterets aktiviteter, aktuelt naturfaglig stoff, kurser, konferanser, aktuelle lenker etc.

Tidsskrift

Naturfagsenteret arbeider også med planer for et tidsskrift for naturfaglærere. I dag har vi ikke noe slikt tidsskrift i Norge. Målet er at tidsskriftet "Naturfag" skal bli en inspirasjonskilde for naturfaglærere på alle nivåer, og skal være et tidsskrift der lærere og lærerutdannere kan dele gode undervisningsideer med hverandre, og der de kan debattere naturfaglig undervisningsstoff. I tillegg arbeider vi med planer for et tidsskrift for fagdidaktisk forskning innen naturfagene.

Læreplanutvikling

Nylig la Utdannings- og forskningsdepartementet fram Stortingsmelding nr 30, "Kultur for læring". Stortinget behandler denne meldingen før sommerferien i år. Dette blir startskuddet for utviklingen av nye læreplaner for alle fag i skolens 13-årige løp. Naturfagsenteret kommer til å spille en viktig rolle i dette arbeidet, og forberedelsene vil skje ved å følge med i internasjonal utvikling av læreplaner og ved å kartlegge hvordan naturfagene oppfattes i norsk skole, både blant lærere og elever. – Følg med på nettstedet *www.naturfagsenteret.no* dersom du er interessert i arbeidet til Naturfagsenteret.

Anders Isnes
leder for Naturfagsenteret

∞

ESS-nytt

The European Spallation Source, ESS, er under reorganisering etter at den gamle organisasjonen ble oppløst ved siste årsskiftet. Inntil da hadde hovedkvarteret ligget ved forskningssentret i Juelich, og Kurt Clausen var direktør.

Det nye hovedkvarteret skal ligge ved Institute Laue-Langvin (ILL), i Grenoble. Eierne av ILL, Frankrike, Tyskland og England, stiller lokaler til disposisjon og vil støtte arbeidet framover. I det nye styret for ESS skal eierne ha sine representanter gjennom folk fra Hahn-Meitner (HMI), Juelich, ILL og Rutherford-Appleton Labs (RAL). Søkerregionene for plassering av ESS vil være representert ved utsendinger fra Sachsen-Anhalt (Halle-Leipzig), Nordrhein-Westpfalen (Juelich), Yorkshire, Ungarn (Budapest) og Skandinavia (ESS-S i Lund). Dessuten skal brukerne gjennom European Neutron Scattering Association (ENSA), ha 6 representanter. En ny direktør vil bli utnevnt etter etableringen. Peter Tindemans er midlertidig formann i Rådet. Patrik Carlsson fra det gamle sekretariatet for ESS-S, vil bli skandinavisk representant i styret.

Informasjon om ESS, med siste nytt, er fremdeles å finne på Internett. Det er skjedd en utvikling på dette området ved at ESS' nettside nå er en del av "European portal for neutron sacttering and muon spectroscopy". Dette er resultatet av et initiativ tatt av alle europeiske organisasjoner innen disse feltene, og støttes av EU-kommisjonen.

Dette er et ambisiøst prosjekt, og det arbeides for å gjøre all informasjon tilgjengelig. Det inviteres til å besøke nettsidene *http://www.neutron-eu.net/* og sende inn forslag og aktuell informasjon.

Olav Steinsvoll
NoNSA

∞

Konferanse

Biofysikkmøtet 2004

Faggruppe for Biofysikk i Norsk Fysisk Selskap avholdt sitt tradisjonsrike fagmøte på Kongsvold Fjeldstue 17- -19. mars i år.

Biofysikkmiljøet i Norge har i mange år jevnlig arrangert fagmøter på Kongsvold Fjeldstue. Med Norsk Fysisk Selskaps vellykkede satsing på store og samlende nasjonale fysikermøter annet hvert år (senest i august 2003 på Sundvolden), arrangeres det nå Kongsvold-møter kun i årene uten nasjonalt fellesmøte. Det var derfor to år siden sist faggruppen for biofysikk samlet seg på et vinterlig Dovrefjell.

Møtet samlet 32 deltagere, hovedsakelig fra de sentrale norske biofysikkmiljøene ved NTNU, UiO, NLH og Radiumhospitalet. I tillegg til fem inviterte foredrag, ble 10 påmeldte foredrag og 14 postere presentert ved møtet.

Ralf Metzler fra Nordisk institutt for teoretisk fysikk (NORDITA) i København, innledet møtet med et invitert foredrag om bruk av metoder fra statistisk fysikk til å studere fenomener som oppsplitting og knutedannelse i DNA-molekyler. Anders Johnsson, NTNU, var invitert for å snakke om sin gruppes eksperimentelle og teoretiske studier av vanntranspirasjon i planter. Simon Schultz, University College London, snakket i sitt inviterte foredrag om en ny teknikk, to-fotonavbildning, for måling av hjerneaktivitet. Mikael Lindgren, nytilsatt professor ved NTNU, var invitert til å presenterte sine forskningsaktiviteter innen utvikling og bruk av laserspektroskopi i studier av biologiske molekyler.

En av norsk biofysikks nestorer, Johan Moan ved Radiumhospitalet, var spesialinvitert til å gi en festforelesning om lys i anledning at han i 2003 ble tildelt Birkelandprisen av Norsk Fysisk Selskap. I tillegg til å gi et morsomt og spirituelt foredrag, sørget han også for at Jacob Sande nok en gang ble behørig representert på møtet.

De påmeldte foredragene og posterne gav et godt bilde av mye av dagens aktiviteter i norsk biofysikk, blant annet:

- Studier og manipulering av makromolekyltransport for kreftbehandling, studier av biopolymerer og utvikling av biosensorer, samt plantefysiologiske studier (NTNU)
- Bruk av spinnresonans for studier av egenskaper til biologiske molekyler og dosimetri, samt studier av effekten av ioniserende stråling på celler (UiO)
- Modellering av nervecellenettverk og studier av rotvekst (NLH)
- Studier av biologiske effekter av lys og fototerapi (Radiumhospitalet, NTNU, UiO)

Metodisk og tematisk har aktivitetene en stor spennvidde, noe som blant annet gjenspeiler at biofysikk er et fagfelt i internasjonal vekst hvor fysikere stadig involveres i nye forskningstemaer. Dette er en utfordring for faggruppen (og neste arrangør av Kongsvold-møtet): Hvordan skal vi kombinere forskeres naturlige lyst til å presentere sine siste forskningsresultater (og ikke bare gi en populærvitenskapelig innføring i temaet) uten at presentasjonen går over hodet på møtedeltagere som har bakgrunn fra en annen del av biofysikken?

Deltagerne, både unge og gamle, synes likevel å være fornøyd med et Kongsvold-møte i dagens form. Den viktigste funksjonen til møtet er kanskje at det bidrar til å bygge nettverk innad i det norske biofysikkmiljøet, ikke minst mellom studenter. Tre dager med biofysikk i en avslappet atmosfære i hyggelige omgivelser, og med et like hyggelig vertskap på Kongsvold Fjeldstue, kan ikke gjøre annet enn godt.

Et nytt styre i faggruppen for de neste to år ble også valgt. Einar Sagstuen fra UiO, ble valgt til ny leder, og med seg i styret får han Tore Lindmo (NTNU), Dag Rune Olsen (Radiumhospitalet) og Unni Oxaal (NLH).

Gaute T. Einevoll
Inst. for matematiske realfag og teknologi, NLH

∞

Bokomtaler

Audun Holme: Matematikkens historie 2. Fra de arabiske vise til Niels Henrik Abel. Fagbokforlaget, 2004. ISBN 82-7674-814-7 (448 sider) 348 kr.

Matematikkens plass og betydning i historien

Det er en spennende tanke at i det veldige verdensrommet som omgir oss, kan det finnes avanserte sivilisasjoner som befinner seg i fjerne stjernesystemer. Men om menneskeheten kommer i kontakt med fremmede, intelligente vesener, vil vi da ha mulighet for å kommunisere med disse ukjente? Matematikken er det språk som er ganske nødvendig for vår formulering av naturlover og for utviklingen av vår teknikk. Men fremmede intelligensformer har kanskje en form for logisk tenkning som for oss er totalt meningsløs og ufattelig.

Er matematikken universell; egentlig et rike som ikke er av denne verden, eller representerer læren om tall og form bare et meget nyttig, men provinsielt redskap som enhver kan utforme etter egen smak? Er matematikken noe vi *oppdager* eller er den en *oppfinnelse*? Det råder ingen enighet blant de skriftlærde, og de strides, "for fred er ei det beste, men at man noget vil". Vår egen høyst private oppfatning ligger i erfaringen om at logikkens grunnlag på sett og vis tvinger seg fram og ville hatt samme innhold om enkelte av de store regnemestre aldri hadde virket.

Å skape ny matematikk er stor kunst, men det ferdige resultatet er ikke et kunstverk. Skjebnesymfonien ville ikke blitt til uten Ludwig van Bethoven. Mona Lisa sitt portrett ville aldri blitt beundret og forundret om ikke Leonardo da Vinchi hadde fått utfolde sine evner. Men infinitesimalregningen ble utviklet uavhengig av Isaac Newton og Gottfried Wilhelm von Leibniz. Nikolai Ivanovich Lobachevskij og Janos Bolyai fant begge fram til en ny geometri som var logisk konsistent, men der rommet slett ikke er slik som vi intuitivt oppfatter det.

Audun Holme tar oss videre med på den spennende ferden gjennom matematiske oppdagelser og oppfinnelser; for nå foreligger bind nummer 2 av det grundige verket "Matematikkens historie". Denne boka har undertittel: "Fra de arabiske vise til Niels Henrik Abel". Forfatteren sørger for at leseren får ei skikkelig bakgrunnsramme når matematikkens opprinnelse skal settes på plass og tidfestes. Han forteller nemlig ganske mye om tidens politiske historie, kriger og kulturstrid.

I tidlig middelalder ble de lærde i Europa opptatt av underfundig og håpløs religiøs krangel. Treenighetslæren fastholdt at $3 = 1$, og Gud Fader og Sønnen er ett, for Sønnen er født, men ikke skapt. Vitenskap og matematikk forfalt i vår verdensdel, og Europa ble ei intellektuell bakevje. Det er betegnende at europeerne til slutt bare kunne erverve seg kultur og kunnskap når de dro på røverferd til Østens folk. Plyndringstoktene ble korstog. Med kirkens nådeløse maktutøvere på trygg historisk avstand kan vi i dag betrakte det som en storartet spøk at Amalrik fra Bène ble brent *post mortem* på bålet fordi han hevdet at Gud og skaperverket er ett. Men for middelalderens mennesker da redselen for sjelens fortapelse og den sadistiske evighetspine dominerte livet, representerte denne straffen et forferdelig alvor.

I forsiktige bemerkninger og vendinger gir

Holme uttrykk for sin sympati med fremmede folkeslags vismenn. Han vedgår at matematikken i Europa var ynkelige greier, når en sammenlikner med det arabiske vitenskapsmenn mestret. Derfor skal vi være de arabiske lærde evig takknemlige for at de ikke bare bevarte arven fra de gamle grekere, men også maktet å gi den nytt liv og utvikling. Al-Khwarizmi grunnla algebraen da han studerte likninger som egne objekt og ikke bare som et middel til å løse praktiske problemer. AlMahani fant ut at en kunne redusere konstruksjonsoppgaver til løsning av likninger. Slik innsikt og angrepsmåte var helt avgjørende da matematikerne senere fastslo at det ikke lar seg gjøre å bruke bare passer og linjal til å tredele vinkler, kvadrere sirkler og fordoble kuber.

Holme serverer en god porsjon med enkle, men artige oppgaver mens han forteller om matematikken i middelalderen og hos araberne. En av oppgavene minner meg om en oppgave som nærmest er en vits: Hvor mange sigaretter kan en nyte av en tipakning når en trenger 3 stumper for å rulle seg en røyk? Svaret er 15! En resonnerer seg enkelt fram til 14 gode sigaretter og sitter med 2 stumper til overs. Så kommer spøken: En låner en stump, ruller seg sin siste sigarett, nyter denne røyken og leverer stumpen tilbake til eieren!

Det er særdeles interessant å få vite hvordan matematikken blomstret opp i Italia da renessansen frigjorde menneskene fra religiøse tvangstanker. De italienske matematikerne del Ferro, Tartaglia, Cardano og Ferrari, fant fram til hvordan en skal løse tredje- og fjerdegradslikninger. Dessverre var kappestriden mellom dem lite verdig. Men fra da av var det også slutt på tiden da matematiske formler var å betrakte som private trylleformularer. Metodene måtte avsløres til det felles beste.

Holme skildrer også virksomheten til de nybrottsmennene som ga menneskene et nytt verdensbilde. Rett nok minnes vi disse pionerene for det de utførte i astronomi og fysikk. Kopernikus, Brahe, Kepler, Bruno og Galilei benyttet nok matematikk i sitt arbeid, men matematikere var de ikke. Holme gjør likevel rett i å ta dem med, for deres kulturelle betydning kan ikke overvurderes.

Så skildres arbeidet til (hobby)juristen Pierre de Fermat, som slett ikke var noen hobbymatematiker. Han var så skarp i sin tankevirksomhet at noen mener han faktisk var den beste matematiker på 1600-tallet. Han fant prinsippet for lysbrytning, nemlig at lyset følger kortest mulig veg. Men mest kjent er han som tallteoretiker. Hans store formodning om at likningen $x^n + y^n = z^n$ ikke har noen heltallsløsning for x, y og z når n er større enn 2, ble først nylig bevist av Andrew Wiles etter at de beste matematikere hadde slitt med dette problemet i mer enn 300 år.

Jeg opplevde at boka til Holme ble stadig mer spennende under lesningen. Det var fascinerende å lese om de artige kurvene til Huygens og Pascal. Skildringen av den uverdige striden da Newton og Leibniz la grunnlaget for den matematiske analysen, var ganske så betagende. Et særskilt høydepunkt i boka er avsnittet om tidenes mest produktive matematiker, den geniale Leonhard Euler. Det sies at han regnet like lett som andre puster. Han arbeidet med rendyrket matematikk og matematisk fysikk og produserte fundamentale resultater i et forrykende tempo. Effektiviteten avtok ikke selv om han var blind de siste tolv år av sitt liv. Den eneste som kunne måle seg med Euler i allsidighet og dyktighet på denne tiden, var Joseph-Louis Lagrange.

Det er litt nedslående å lese om den norske Caspar Wessel, som var den første som ga en fullverdig beskrivelse av hvordan tallene skal utvides til å omfatte de såkalte komplekse tall. Da har også likningen $x^2 = -1$ en akseptabel løsning. Det var om ham broren skrev treffende: "Han tegner landkart og leser loven. Han er så flittig som jeg er doven." Arbeidet forble lenge upåaktet, for det ble publisert på dansk.

Men det er bare vemodig å lese om Abel og hans matematikk i de to siste kapitlene. Her har Holme vært flink til å sammenfatte den enorme kulturbiografien til Arild Stubhaug og den mer faglige biografien til Øystein Ore. Han gir oss skikkelig innsikt i Abels store addisjonsteorm. Det hadde vært ønskelig å få en mer fyldig framstilling av livet og arbeidene til selveste prinsen blant matematikerne, Karl Friedrich Gauss, han som kunne regne før han kunne tale. Jeg håper at vi møter ham igjen i neste bind. For Holme kan ikke stoppe her. Dette er lesning som gir glede og mersmak.

Henning Knutsen

∞

James B. Hartle: Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity. Addison Wesley. 2003. ISBN 0- 8053-8662-9 (582 sider) $ 58,–

Kongevegen til Einsteins rike

Kvantemekanikken representerer den store revolusjonen innenfor fysikken i det 20. århundre. Hele eliten av fysikere som syslet med teori, deltok da begreper og forestillinger opplevde en total forvrengning. Einstein var en av de viktigste pionerene da den nye måten å betrakte verden på ble fastlagt. Men Einstein var alene om å skape en ny teori for gravitasjon, den generelle relativitetsteorien. Lenge var det en seiglivet myte at verdensbildet til Einstein var svært vanskelig å fatte, fordi det krevde et særdeles utilgjengelig matematisk språk.

Det er lett å forstå at bare fysikere med matematisk legning var villige til å ofre tiden sin på Einstein sitt mesterverk. For denne nyskapningen forutsa bare noen få fenomener hvor det ville være mulig å avgjøre om den var bedre enn den mye enklere gravitasjonsteorien til salig Newton.

Dette er nå ugyldig. Teorien til Einstein er blitt særdeles aktuell. Vi har fått måleinstrumenter som er så følsomme at det er forunderlig og utrolig. De har avslørt en mengde fenomener i kosmos som bare kan bli forstått i lys av generell relativitetsteori. Derfor gis det nå skikkelig undervisning i relativitetsteori ved de fleste universiteter som har såpass selvrespekt at de vil holde den vitenskapelige standard som forventes av en slik institusjon. Det er nokså vanlig at foreleseren utgir sine notater som lærebok når han endelig føler at kurset er ganske skreddersydd. Følgelig er det langt fra noen mangel på brukbare introduksjonsbøker for dette emnet.

En kan da tillate seg å spørre om boka "Gravity" som James B. Hartle har skrevet, virkelig bringer noe nytt som fortjener å komme på trykk. Jo, den viser faktisk en ny veg i bratt og ulendt teoriterreng. Det blir mulig å ta seg fram og komme oppover med forsiktige og møysommelige steg. Hartle følger nemlig ikke vanlig pedagogisk tilnærming ved først å utvikle en mengde nødvendig og nyttig differensialgeometri. Han har forstått at den tradisjonelle læremåten kan virke drepende på fysikkinteressen. Han lar den uerfarne vandringsmann få skue inn i det forgjettede land og se hva som venter der Soria Moria-slottet skinner i det fjerne. Det betyr at Hartle hensynsløst setter matematiske betraktninger og utledninger til side og uten videre presenterer løsninger av Einsteins likninger for interessante fysiske situasjoner.

De første fem kapitlene kan være en passende stor innføring for et lite kurs på 5 studiepoeng der en bare tar med enkel gravitasjonsteori og spesiell relativitetsteori. De studentene som hungrer etter mer kunnskap, får deretter en introduksjon til geometriske betraktninger som er både grundige, intuitive og overbevisende. Det er meget viktig at Hartle gir studentene omfattende øvelse i å arbeide med den sammensatte geometrien for tid og rom. Studentene skal kunne gripe og begripe resonnementene og ideene i fysikken uten å drukne i presis formell differensialgeometri, men heller ikke gi avkall på den overlegne og avgjørende styrken som matematikkens kompakte språk medfører.

Når studentene så greier å bevege seg framover i krumme tid-rom og kan følge geodetiske kurver, slipper Hartle dem endelig løs, så de kan boltre seg i geometriene som altså tas for gitt. Først får de studere hva som skjer i området utenfor kulesymmetriske massefordelinger. Denne lærdommen gir forståelse for de tre klassiske testene av generell relativitetsteori, nemlig gravitasjonell rødforskyvning, Merkurs perihelbevegelse og lysavbøyning i gravitasjonsfelt. Den gir også nødvendig bakgrunn for å diskutere svarte hull og gravitasjonslinser. Men la det være sagt at jeg savner en ordentlig diskusjon av gravitasjonskollaps. Jeg synes det er en tilsnikelse å benytte dette begrepet når en kun ser på geometrien *utenfor* materien. Det finnes nok av eksakte løsninger av likningene til Einstein der en kan følge bevegelsen til materien i detalj under katastrofal kollaps til singularitet.

Til gjengjeld varter Hartle opp med en særs lettfattelig forklaring på hvordan en fra bakgrunnstrålingen i universet kan avgjøre hva slags geometri som bestemmer sammenhengen mellom rom og tid i den verden vi lever i. Jeg synes også måten Hartle beskriver de fysiske prosessene som ligger til grunn for Hawking-strålingen fra gravitasjonsfeltet ved horisonten til svarte hull på, var meget oppklarende og lærerik.

Svarte hull er antagelig de enkleste objekter vi finner i naturen, for vi greier oss med tre fysiske størrelser for å beskrive dem: masse, spinn og eventuell elektrisk ladning. Elektrisk ladning har antagelig kun teoretisk interesse, for en overskuddsladning ville nok umiddelbart bli nøytralisert ved å trekke til seg ladning med motsatt fortegn. Men løsningen for svarte hull med spinn får en grundig behandling. Jeg observerer et aldri så lite løftebrudd av den gode Hartle her. I forordet til læreboka blir vi fortalt at Einstein-likningene skal

bli *løst* på slutten av boka for å vise hvordan de forskjellige geometriene som omtales, kommer fram. Men jeg fant ingen matematisk *utledning* av Kerr-løsningen. Jeg anbefaler boka til Adler, Bazin og Schiffer (2. utgave) for den som absolutt vil se hvordan Kerr-geometrien framkommer.

Her er et besnærende kapittel om hvordan objekter med moderat rotasjon påvirker og forvrenger tid og rom omkring seg. Dette vil sikkert bli grundig avslørt i nær framtid ved hjelp av uhyre presise gyroskoper i bane omkring den roterende jordkloden. Hartle diskuterer selvsagt det høyaktuelle emnet gravitasjonsbølger. Her bør en snart forvente observasjoner etter den mengden av forskningsmidler som har gått ned i dette pengesluket. Hartle sin gjennomgang av stabilitetsanalyse for relativistiske stjerner må sies å være sjelden god vare.

Det er ganske betagende at så mye interessant kosmologi kan diskuteres når en kun starter med at universet må være et adiabatisk system og at kinetisk pluss en slags potensiell energi må være konstant. For teoretisk fysikk har bare livets rett når den knytter forbindelse til observasjon og mulig eksperiment som bekrefter eller gjendriver ideer.

Generell relativitetsteori forutsier selv at det finnes fysiske situasjoner der den ikke kan beskrive forholdene. Det gjelder universets tilblivelse. Men jeg går ikke uten videre med på at en slags kvantegravitasjon vil fortelle oss hvordan verden oppstod. Det er kan hende ikke bare prinsippene fra generell relativitetsteori som må gi tapt under slike ekstreme omstendigheter. Kanskje må også fundamentale prinsipper fra kvantefysikken forkastes og erstattes av ganske ukjente lover?

Henning Knutsen

∞

STUDÉR FYSIKK

Nye Doktorer

Ellen Merete Bruzell

Siv.ing. Ellen Merete Bruzell forsvarte 12. desember 2003 avhandlingen *Phototherapy of newborns suffering from hyperbilirubinaemia. An experimental study*, for graden dr.scient. ved NTNU.

Lysbehandling av gulsott hos 5-10 % av nyfødte barn er lite utforsket enda disse barna er i en følsom periode av livet hvor det kreves nøye tilrettelagt behandling. Både forbedring av behandlingen og kontroll av bivirkninger blir belyst i avhandlingen.

Bruzell har gjort flere studier av celler i laboratoriet og har påvist at disse kan skades av lysbehandlingen. Sammen med mengden av det gule fargestoffet bilirubin som samles opp i gulsottbarn, vil effekten av blått og turkis lys bli forsterket, og øyeskader kan oppstå hos barn som ikke får skikkelig beskyttelse. Bruzell har også analysert bilirubin og sett hvilke kjemiske forandringer som forårsakes av lys. Hun viser at det er mulig å måle graden av gulsott ved å studere lyset som reflekteres fra huden, men blodprøver er fremdeles den mest pålitelige metoden for bilirubinmåling. Noen vitaminer i blodet kan påvirkes av lysbehandling med intenst blått lys. Konklusjonen er at det er mulig å forbedre behandlingen av de nyfødte ved å forbedre doseringen av lys og fargen på lyset.

Biofysiske studier har allerede ført til forbedringer i behandlingen av gulsottbarn ved norske sykehus. Bruzell har rådet sykehusene til å være nøye med å gi riktige doser og jevn lysfordeling, og luke ut skadelige lamper. Dette arbeidet fortsetter i regi av Statens strålevern. Dr.philos. Terje Christensen, Statens strålevern, har vært veileder.

∞

Grunde Løvoll

Cand.scient. Grunde Løvoll forsvarte 5. desember 2003 avhandlingen *Competing forces in pore scale drainage and force distribution in static granular materials: an experimental study*, for graden dr.scient. ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Væsker og pulvere (f.eks. sand) står for hoveddelen av materialene vi mennesker flytter på. Olje og grunnvann befinner seg som regel i porøse bergarter eller i grus og sand. Når vi ønsker å få ut mer olje fra et reservoar, pumpes en annen væske eller en gass inn et annet sted for å presse oljen i ønsket retning. Mengden av olje man da kan få ut vil sterkt avhenge av hva man injiserer og hvordan dette gjøres. Økt forståelse for slike prosesser kan derfor gi stor økonomisk gevinst i form av økt utvinningsgrad og lavere kostnader. Løvoll har eksperimentelt studert hvordan en gass fortrenger en væske i porøse, uordnede modellsystemer. Fokus har vært på konkurransen mellom de lokale kreftene på porenivå som styrer prosessen, og konkurransen mellom gravitasjon, kapillære og viskøse krefter er studert.

En av sandens egenskaper er at trykket variererer sterkt fra sandkorn til sandkorn. Løvoll har utviklet en teknikk for å kunne måle trykket på hvert enkelt korn på bunnen av en beholder med sand. Disse målingene er brukt til å finne fordelingen av trykk og hvordan trykket på ett sandkorn påvirker trykket på nabokorn (romlig korrelasjon). Arbeidet er utført ved Faststoffgruppen ved Fysisk institutt, UiO, med professor Knut Jørgen Måløy som veileder.

∞

Terje Robert Meisler

Cand.scient. Terje Robert Meisler forsvarte 27. feb. avhandlingen *Lepton flavour violation in minimal supersymmetric extensions to the Standard Modell* for graden dr.scient. ved Institutt for fysikk, NTNU.

I elementærpartikkelfysikken søker en de mest fundamentale naturlovene. Den beste teorien vi har i dag kalles Standardmodellen, og den beskriver nesten alle eksperimenter meget godt. En av dens forutsetninger er at nøytrinoene ikke har masse, men i løpet av de siste årene har observasjoner, særlig i USA og Japan, gitt klar indikasjon på at i hvert fall ett nøytrino må ha masse forskjellig fra null. Dette krever da en utvidelse av Standardmodellen. En mulig utvidelse kan gjøres ved bruk av supersymmetri som er en variant som er spennende og teoretisk tiltrekkende. Til nå er det ikke avklart om elementærpartikkelverdenen er supersymmetrisk eller ikke, men muligheten har stor oppmerksomhet i internasjonal forskning. Doktorgradsarbeidet er et bidrag til denne forskningen.

I avhandlingen defineres tre mulige supersymmetriske utvidelser av Standardmodellen som avhenger av om nøytrinoene er av Dirac-, Majorana- eller Dirac-Majorana type. Disse modellene anvendes i en teoretisk studie av tre spesielle leptondesintegrasjoner. Prosessene er ikke tillatte i Standardmodellen, men vil være tillatte i de supersymmetriske modellene. Eksperimentelle resultater for de tre prosessene anvendes til å fastlegge ulike begrensninger på de gitte modellene. Arbeidet kan også utvides til å inkludere andre prosesser.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, og ved Høgskolen i Sør-Trøndelag (HIST), og disse institusjonene har bidratt til finansieringen. Veileder har vært professor Kjell Mork. Terje Meisler er nå førsteamanuensis ved HIST.

∞

Bjørnar Sandnes

Cand.scient. Bjørnar Sandnes forsvarte 16. januar 2004, sin avhandling *Exergy Efficient Production, Storage and Distribution of Solar Energy*, for graden dr.scient. ved Fyssisk institutt, Universitetet i Oslo.

Fremtidens energisystem må i større grad enn nå baseres på rene og fornybare ressurser der lavtemperatur varmebehov dekkes ved å utnytte lavkvalitets energikilder. I denne avhandlingen dokumenteres ulike studier der nye teknologier søkes inkludert i lavtemperatur solvarmesystemer. De eksperimentelle studiene inkluderer bygging og testing av en hybrid enhet for produksjon av solvarme og solstrøm, testing av et kombinert varmelager bestående av vann og innkapslede faseovergangsmaterialer, og målinger av energibruk i en boligblokk med økologisk profil.

Muligheten for langtidslagring av varme i form av smeltevarme til sterkt underkjølte væsker, er også dokumentert i en serie eksperimenter der ulike mekanismer for kontrollert initiering av krystallisasjon i underkjølte væsker ble undersøkt. I varmeposer en få kjøpt i sportsbutikker, settes krystallisasjonen i gang ved å "klikke" en metallplate. Resultater som presenteres i avhandlingen viser at disse triggerne virker ved at de beholder kimkrystaller klemt sammen mellom motstående overflater når resten av posens innhold smelter.

Veileder for prosjektet har vært professor John Rekstad. Bjørnar Sandnes er nå ansatt som post.doc.-stipendiat ved Fysisk institutt, UiO.

∞

Ane Aanesland

Cand.scient. Ane Aanesland forsvarte 23. januar sin avhandling *Energy of neutrals, radicals and ions in steady-state and pulsed processing plasma sources* for graden dr.scient. ved Universitetet i Tromsø.

Aanesland har studert hvordan egenskapene til et plasma av ioniserte gasser kan endres og kontrolleres ved bruk av en radiofrekvensantenne i kontakt med plasmaet. Hennes resultater har betydning for utvikling av plasmakilder til industrielt bruk, og kan også være viktige innenfor fusjonsforskning der en må varme opp plasmaet til svært høye temperaturer over lang tid for å oppnå kontrollert fusjon.

I industrien brukes plasma som et hjelpemiddel til mange typer overflatebehandlinger. De ladde partiklene i plasmaet kan ha en retningsbestemt energi som kan utnyttes til å kontrollere etsning og belegging av tynne filmer på overflaten av metaller, keramiske materialer og stoffer som bomull og silke. Strukturer på mikro- og nanonivå kan lages ved hjelp av disse ladde partiklene i plasmaet. Denne teknologien brukes nå til produksjon av mikrochips.

For å oppnå best mulig resultat er det viktig å kontrollere energien til ionene som treffer overflaten av det materialet som skal behandles. Dette gjøres vanligvis ved å introdusere en RF- eller likespenning på selve materialet. Aanesland har studert effekten av et slikt RF-signal på plasmaets egenskaper. Hun har påvist og forklart hvordan hele plasmaet dramatisk kan endre karakter ved bruk av slike antenner.

Ane Aanesland har hatt stipend fra Norges forskningsråd og har tilbragt ett år ved The Australian National University, hvor hun nå er forsker i et samarbeidsprosjekt med UiTø. Førsteamanuensis Åshild Fredriksen har vært veileder.

∞

Trim i FFV

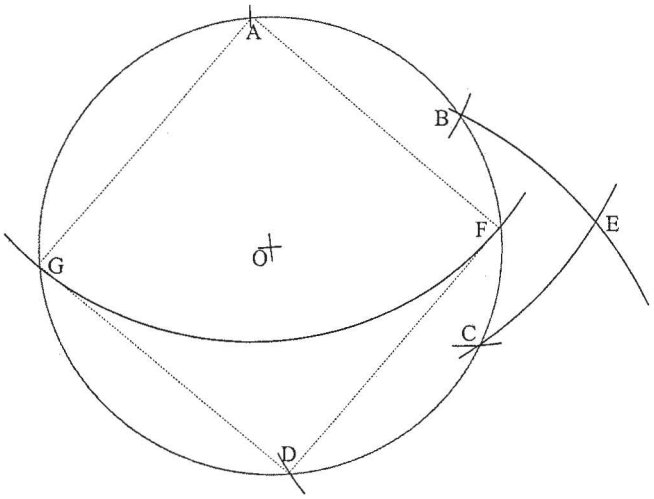
FFVT 2/04

Vintapperen skal tappe 4 liter vin fra ei tønne og har bare to kanner på 5 og 3 liter å hjelpe seg med. Men han kan helle vin tilbake på tønna. Hvordan kan det gjøres?

Løsning FFVT 1/04

Napoleons problem er å dele en sirkel med kjent sentrum i 4 like store buer, eller å finne hjørnene i et innskrevet kvadrat. Kun passer er tillatt.

Vi velger et punkt A på sirkelen med sentrum O. Med sirkelens radius r i passeren avsettes B, C og D ved at spissen settes i henholdsvis A, B og C. Med AC i passeren og spissen i henholdsvis A og D, finnes punktet E (se figuren). Med OE i passeren og sentrum i A, finnes punktene F og G. A, F, D og G deler da sirkelen i 4 like store deler, og disse bokstavene markerer også hjørnene i det innskrevne kvadratet som har sidekant $r\sqrt{2}$. $AE = r\sqrt{3}$.



∞

Middels klok
bør en mann være,
ikke altfor klok;
på forhånd skal ingen
sin framtid kjenne,
det gir bare sorg i sinnet.

Håvamål

∞

Fysikksnutt

Balanse på vannhinna

Ballonger og sugerør balanserer på vann

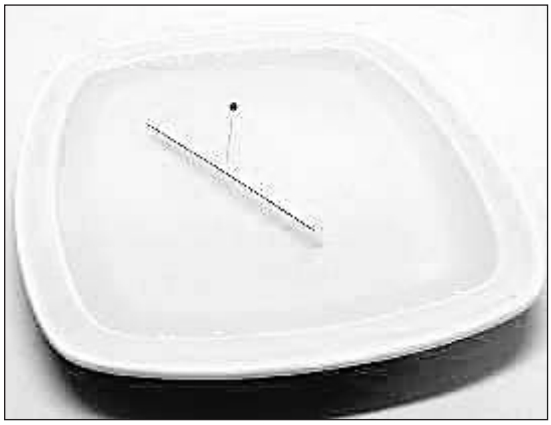
Du trenger noen ballonger, sugerør, knappenåler og en bolle med reint vann, fullstendig fritt for såpe. Det går nok med plastboller, men det er nesten umulig å blir kvitt den siste rest av såpe der. Glass er best.

Ballonger: Blås opp en ballong. Knytt igjen åpningen, og sett ballongen på bordet med knuten opp. Ballongen faller over så knuten kommer ned.

Sett så ballongen forsiktig ned på vannet med knuten opp. Er du heldig får du ballongen i balanse med en gang. Hvis ikke får du prøve noen ganger. Vi har inntrykk av det hjelper å gni stearinlys mot den sida som kommer ned mot vannet.

Det er lettest å få til dette forsøket med runde ballonger, men det går med avlange også bare de ikke er for lange. Klem lufta inn i den delen som er langt fra åpningen. Klipp av en del av ballongen så får du kanskje en som er passe lang.

Sugerør: Stikk en knappenål bare så vidt gjennom et sugerør. Knappenåla skal stå på midten av røret, mest mulig symmetrisk. Hvis du setter røret på bordet med nålhodet opp, bikker det over. Sett det forsiktig på vannet med nålhodet rett opp. Det balanserer, i hvert fall en stund. Hvis du har tre, fire rør, får du det sikkert til.



Fenomenet henger sammen med at vann fukter ballongene og sugerørene, i hvert fall noen steder. Hvis f.eks. ballongen bikker litt til sida, trekker den med seg vannhinna som trekker tilbake igjen, og slik oppstår en nokså hårfin ballanse.

Sven Lilledal Andersen og Otto Øgrim

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer 10. februar 2004

Leif Kristian Alm
Brandbu vgs., 2712 Brandbu

Hege Auran
Nordslettv. 105, 7038 Trondheim

Per Berg
Fagerborg vgs., 0767 Oslo

Signe Danielsen
Bjørn Stallares g 8C, 7042 Trondheim

Margit Elisabet Dyrland
UNIS, 9171 Longyearbyen

Arne Erikson
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Jan Folkvard Evensen
Radiumhospitalet, 0284 Oslo

Fredrik Georg Gade
Pb 1296, 1432 Ås

Linda Helander
Stolpstuv. 40, 7026 Trondheim

Ane Jerstad
Pb 967, 1432 Ås

Kenneth D. Knudsen
Fysikkavd. Inst. for energiteknikk, 2027 Kjeller

Martin Kulhawczuk
Svartholtet 57, 7092 Tiller

Anna Lipniacka
Fysisk institutt, UiB, 5007 Bergen

Ståle Ramstad
Fr. Nansens v 17, 7020 Trondheim

Atle Rasmussen
Nordahl Bruns g 6A, 3018 Drammen

Terje Runnan
Hinderåg. 2, 5522 Haugesund

Knut Reidar Sande
Brenslev. 4, 6443 Elnesvågen

Sigrun Saur
Institutt for fysikk, NTNU, 7034 Trondheim

Øyvind Gjølme Selnes
Statens strålevern, 9925 Svanvik

Karl Isak Skau
University of Surrey, Guildford, Surrey, UK

Bjørn Solberg
Vierv. 1, 3340 Åmot

Reidar M. Sørland
Eid vgs. 6770 Nordfjordeid

Anja Teig
Lillestrømv. 7, 1914 Ytre Enebakk

Ingunn Tufto
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Arnfinn Aasen
Nordøsterdal vgs., 2500 Tynset

∞

Skriv i
«Fra Fysikkens Verden»

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

Det skal refereres til figurer og tabeller i teksten, og ønsket plassering bør markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

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

Styremedlemmer:
Professor 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.