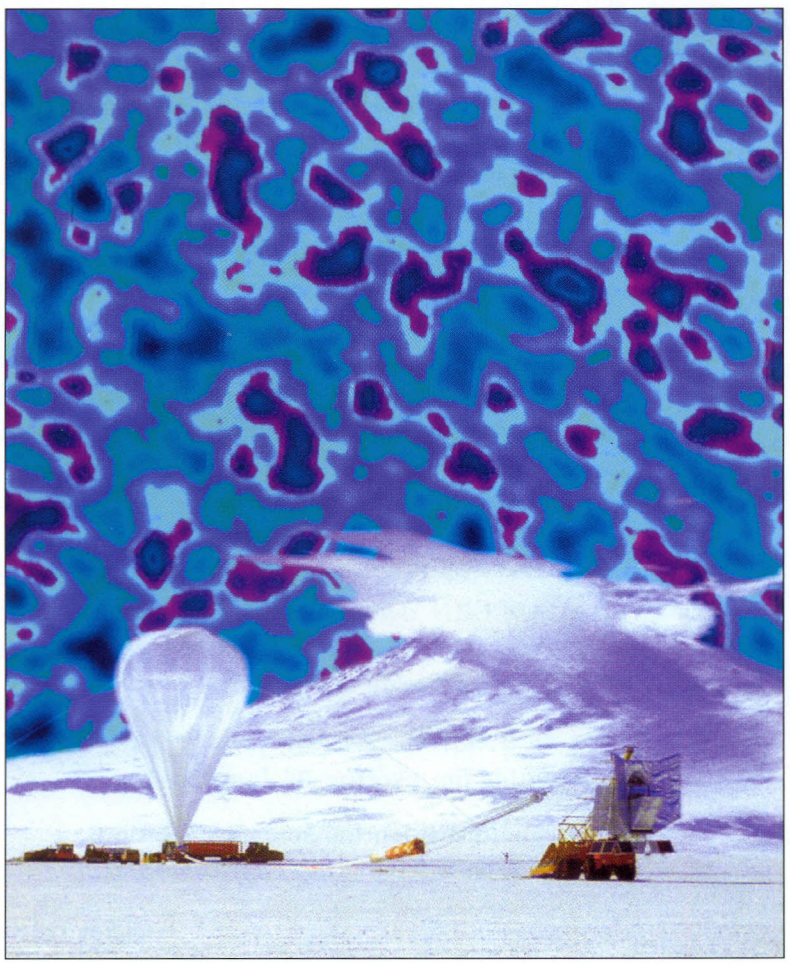
Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2000
62. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide



Kosmisk bakgrunnsstråling
kartlagt med ballongbåret mikrobølgeteleskop
(se artikkel)

Innhold

Øyvind Grøn:
Kosmisk bakgrunnsstråling . . . 39
Ellen K. Henriksen:
Vitensentre i Norge 46
Rolf V. Olsen:
Elevers forståelse av kvantefysikk 50
Sunniva Siem:
Forskere, media og samfunnet . . 55
Fra Redaktørene 38
Nytt fra NFS 38
Physics on stage
Fysikk i skolen 58
Fysikk i Norge og i noen EU-land
Bokkronikk 60
Hva skjer 62
Nytt realfagbygg i Trondheim
Trim i FFV 63
Sommernøtter
Nye Doktorer 64
Dr.ing. Eyvind Aker
Dr.scient. Gunnar Arisholm
Dr.scient. Jostein Dahle
Dr.scient. Kåre Langaas
Dr.scient. Odd Magne Øgreid
Dr.scient. Nikolai Østgaard

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Vårt storting er i ferd med å avslutte forhandlingene om det reviderte statsbudsjett. Samtidig er vi inne i et lønnsoppgjør, og diskusjonens bølger går høyt i media og over kaffekoppene rundt omkring.

Kongeriket Norge er i en spesiell situasjon. Samtidig som store og legitime behov i forskjellige sektorer avvises, salter vi penger i et oljefond som skal komme våre barn og barnebarn osv. til gode. Vi sitter igjen med inntrykket av at disse pengene er urørlige; det aller verste vil vederfare oss dersom de røres. Den hellige alminnelige budsjettbalanse er den gjeldende kodeks. Det fremgår riktignok ikke hva dette betyr; sett utenfra minner det litt om "tenk på et tall". Dette tallet har åpenbart en analogi i markagrensen rundt Oslo; den er ubrytelig.

Bruk av oljepengene til investering er altså inflasjonsdrivende, øker renten og det som verre er. Det som forundrer oss er at denne påstanden aksepteres uansett hva slags investeringer det er snakk om. Vi tror nemlig ikke at den gjelder generelt, spesielt ikke innen et avgrenset område som grunnforskningen. Vi har en følelse av å være offer for "de økonomiske modellers tyranni". En opprustning av universitetene, spesielt i de eksperimentelle fagene, er ikke vesentlig større enn en vanlig budsjettoverskridelse på en veitunnel eller lignende – og vesentlig mindre inflasjonsdrivende.

Det interessante er at også selveste Finansdepartementet en gang i tiden har tvilt på sitt økonomiske dogme. Det har ringt en fjern bjelle hos oss, og etter litt leting fant vi fram til hisorien.

I 1976 fikk Universitetene (og NRK) beskjed om å lage en liste over utstyr som kunne kjøpes i utlandet. Vi gledet oss alle over dette; det virket fornuftig og meningsfylt. Ønskelistene ble samlet av vårt departement og oversendt Finansdepartementet, hvoretter det hele åpenbart forsvant inn i et lokalt "sort hull".

Vi vet ikke hvordan det foregikk, men vi tror at det den gang var nære på. Stemningen i universitetsmiljøene ble meget treffende beskrevet av KUD da forslagene ble oversendt, med et sitat fra 1. Mosebok: "Og duen kom til ham ved aftenstid, og se, den hadde et friskt oljeblad i nebbet; da skjønte Noah at vannet var sunket bort fra jorden."

Men det var det altså ikke – dessverre.

∞

Nytt fra NFS

Physics on stage

Av bekymring for manglende rekruttering til fysikkstudier i mange land, har noen forskningsinstitusjoner i Europa tatt et initiativ for å fremme den allmenne forståelsen for fysikk, og for å bedre fysikkundervisningen i skolen. Det er ESA (European Space Agency), CERN (European Laboratory for Particle Physics) og ESO (European Southern Observatory) som står bak dette initiativet, som har økonomisk støtte fra EU. Målsettingen er:

- stimulere til debatt om fysikkundervisning blant lærere, politikere og i media
- identifisere de mest effektive, spennende og fornyende metoder for fysikkundervisning

I november vil det i forbindelse med "The European Week for Science and Technology" bli arrangert en festivaluke ved CERN i Genève, for ca. 400 deltakere fra hele Europa. Foruten fysikklærere fra skoler og universiteter, vil politikere, mediafolk og representanter for utdanningsdepartementer bli invitert. Her vil det bli utstillinger, omvisninger, forelesninger og presentasjon av undervisningsideer.

NFS og Norsk Fysikklærerforening har etablert en komité som har invitert norske fysikklærere på alle nivåer og formidlere av fysikk, til å sende inn forslag til gode undervisningsopplegg. Det kan være eksperimenter, undervisningsmateriale, videoopptak, datateknologi, elevarbeider osv. Hovedsaken er å få gode ideer til fornyelse av fysikkundervisning og formidling, og vi håper på mange gode forslag! Bidragene bør kunne presenteres på Landskonferansen for fysikkundervisning i Grimstad i august.

De 7 beste forslagene vil bli belønnet med en reise til CERN der opplegget skal presenteres på festivalen. Den nasjonale komiteen er jury. Ved påmelding av forslag trenger vi:

- en beskrivelse av hva forslaget går ut på
- en idé om hvorfor det fungerer bra

Mer informasjon finner du på Internett:
http://www.fys.uio.no/PhysicsOnStage/

Heidi Bruvoll

∞

Temperaturfluktuasjoner i den kosmiske bakgrunnsstrålingen

Øyvind Grøn *

Strålingen vi observerer i den kosmiske mikrobølgebakgrunnen ble sendt ut da universet var ca. 300 000 år gammelt. Det må allerede da ha eksistert tetthetsfluktuasjoner som ga opphav til den senere dannelsen av stjerner, galakser og hoper av galakser. Tetthetsfluktuasjonene har forårsaket tilsvarende temperaturfluktuasjoner i bakgrunnsstrålingen. Slike temperaturfluktuasjoner ble observert for første gang i 1992 med COBE-satellitten og ble i 1999 kartlagt meget nøyaktig i BOOMERANG- og MAXIMA-prosjektene med ballongbårne mikrobølgeteleskoper. Disse målingene har gitt oss viktig informasjon om universets egenskaper.

Bakgrunnsstrålingen

Den kosmiske bakgrunnsstrålingen i mikrobølgeområdet av spekteret, betegnet med CMB som står for Cosmic Microwave Background, ble oppdaget i 1965 av A. Penzias og R.W. Wilson. Allerede i 1948 ble eksistensen av en slik stråling forutsagt av G. Gamow, R. Alpher og R.C. Herman, som et resultat av prosesser tidlig i universets historie.

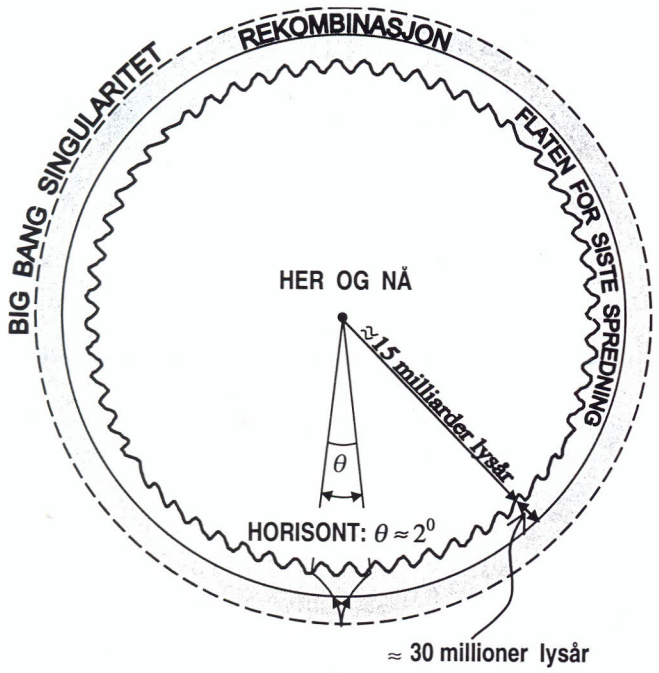
De første 6000 årene etter Big Bang var universets energitetthet dominert av stråling. Men strålingens energitetthet avtok raskere enn materiens tetthet på grunn av universets ekspansjon. Fra universet var 200 sekunder til det var 6000 år avtok strålingens temperatur fra en milliard kelvin til 30 000 K, og universet gikk etter 6000 år over fra å være strålingsdominert til å bli materiedominert. Fortsatt var fotonene energirike nok til å ionisere hydrogen. I denne perioden var det så tett med frie elektroner at fotonene stadig kolliderte med dem. Elektronene og protonene virket på hverandre med elektriske krefter. Universet var da fylt med et foton-elektron-proton-plasma og var ugjennomsiktig. Etter omtrent 300 000 år hadde temperaturen sunket til ca. 3000 K, og fotonene var ikke lenger energirike nok til å ionisere hydrogenatomer. Dermed sank antallet frie elektroner drastisk, og universet ble gjennomsiktig. Fra da av beveget fotonene i CMB seg fritt over avstander på 12–18 milliarder lysår helt til de traff våre detektorer. Dette betyr at CMB forteller oss hvordan universet var 300 000 år etter Big Bang. Kildene til strålingen befant seg da i et kuleskall rundt oss som kalles "skallet for siste spredning" (figur 1). Det hadde en tykkelse lik fotonenes frie veglengde, som den gang var omtrent 30 millioner lysår, og radius lik avstanden fotonene har beveget seg fra de forlot skallet for siste spredning til de ankom jorden, ca. 15 milliarder lysår.

I løpet av tiden fra 300 000 år til nå har universet utvidet seg slik at avstanden mellom punkter som har fulgt med i utvidelsen er blitt 1000 ganger større. Dette har gjort at bølgelengden til CMB er 1000 ganger større nå enn da strålingen ble sendt ut. En sier da at strålingen har fått en rødforskyvning lik 1000. Jo større avstand strålingen har tilbakelagt, desto større er rødforskyvningen. I kosmologien er det vanlig å bruke denne rødforskyvningen som mål for avstanden til kilden. De fjerneste kvasarene har en rødforskyvning lik 5.

Observasjoner

I 1992 ble CMB observert med en satellitt kalt Cosmic Background Explorer (COBE). Temperaturen ble bestemt til 2,726 K. For første gang ble også temperaturfluktuasjoner i CMB målt. Det største bidraget skyldes dopplereffekten fordi vi beveger oss gjennom den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Temperaturen er litt høyere enn gjennomsnittet i den

*Høgskolen i Oslo, Avd. for ingeniørutdanning, og Fysisk inst., Universitetet i Oslo



Figur 1. Skjematisk skisse av ulike epoker i universets historie (skalaen er ikke lineær). Retningen utover fra punktet "her og nå" representerer også en forflytning bakover i tid. Lengst ute finner vi Big Bang. Etter omtrent 250 000 år begynner elektroner, protoner og nøytroner å danne hydrogen- og heliumatomer. Denne såkalte "rekombinasjonen" ble fullført omtrent 300 000 år etter Big Bang, og da ble universet gjennomsiktig. Banen til fotoner sendt ut fra et punkt i motsattte retninger under Big Bang er skissert nederst. Deres avstand i flaten for siste spredning representerer horisontavstanden da universet ble gjennomsiktig. Temperaturfluktuasjonene med størst utstrekning rekker omtrent over denne avstanden. (Takk til Mari Mehlen for hjelp med denne figuren.)

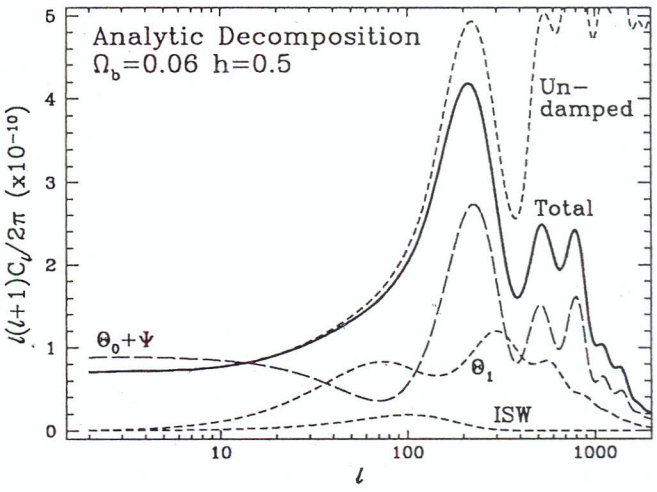
retningen vi beveger oss enn i motsatt retning. Målingene har vist at vi beveger oss gjennom CMB med en hastighet på 370 km/s.

Dersom man fjerner fluktuasjonene som skyldes dopplereffekten fra de observerte temperaturfluktuasjonene, blir det fortsatt en variasjon igjen, som vist i figuren på forsiden. Her er himmelen vist slik den ville ha tatt seg ut dersom man kunne ha fotografert temperaturfluktuasjonene i CMB med et 35 mm kamera. De største temperaturforskjellene er ca. $7 \cdot 10^{-5}$ K og har vinkelutstrekninger på omtrent 1°. I disse temperaturfluktuasjonene ligger det gjemt en mengde informasjon om egenskapene til universet 300 000 år etter Big Bang.

For å finne ut hvilke fysiske mekanismer som har forårsaket det observerte mønsteret, tenker man seg at de observerte temperaturvariasjonene er satt sammen av en rekke fluktuasjoner med ulike bølgelengder og bølgehøyder. For å komme videre må bildet oversettes til en form som kan behandles matematisk (Boks 1). Det gjøres ved å plotte temperaturfluktuasjonene som funksjon av angulær utstrekning. Grafene er laget slik at de viser størrelsen av fluktuasjonene med bølgelengde lik den aktuelle utstrekning. Hvis f.eks. temperaturvariasjoner med én grads utstrekning på himmelen er størst, vil grafen som viser temperaturforskjellene som funksjon av angulær utstrekning ha maksimum ved én grad. Slike grafer kalles *fluktuasjonskurver.*

Fysiske effekter

Figur 2 viser fluktuasjonskurvene knyttet til ulike fysiske effekter.[1] De opprinnelige tetthetsfluktuasjonene som forårsaker temperaturfluktuasjoner i CMB, antas å være dannet som kvantefluktuasjoner under Big Bang. Disse oppstår tilfeldig. Derfor kan ingen teori forutsi den nøyaktige temperaturfordelingen i CMB. Det som kan gjøres er å beregne de statistiske egenskapene til temperaturfordelingen.



Figur 2. Fluktuasjonsjonskurver som fremkommer som resultat av ulike fysiske effekter omtalt i teksten.

Årsaken til at en velger å plotte størrelsen $l(l+1)C_l$, er at den er konstant for et skalauavhengig fluktuasjonsspektrum. Med andre ord, hvis temperaturfluktuasjonene hadde vært uavhengige av utstrekningen, ville kurven ha vært en horisontal linje. Ifølge inflasjonsmodellene for universet har denne typen fluktuasjoner oppstått under en inflasjonsfase som varte til 10^{-33} s etter Big Bang, altså ekstremt tidlig i universets historie. Dette kan oppfattes som en begynnelsestilstand for fluktuasjonene.

En skjelner mellom *primære* og *sekundære* fluktuasjoner. De primære fluktuasjonene er virkninger av prosesser som skjedde frem til tiden da universet ble gjennomsiktig. De sekundære skyldes endringer av strålingens frekvens underveis fra "skallet for siste spredning" til detektoren.

Boks 1. Fluktuasjonsspektrum

For å gi en matematisk beskrivelse av temperaturfluktuasjonene til CMB, utnyttes at de observeres på en kuleformet "flate". Derfor skrives de som en sum av sfærisk harmoniske funksjoner $Y_{lm}(\theta,\phi)$, dvs. $\Delta T/T = \sum a_{lm} Y_{lm}(\theta,\phi)$. Ordet "harmonisk" kommer av at disse funksjonene er vinkeldelen til løsninger av Laplaces likning for problemer med kulesymmetri, og løsninger av Laplaces likning kalles "harmoniske funksjoner". Tallene C_l som ofte brukes langs den vertikale aksen i diagrammet for fluktuasjonskurven, finnes ved å summere kvadratene av koeffisientene a_{lm} over indeksen m og dividere med antall koeffisienter, dvs. $C_l = \langle a_{lm}^2 \rangle$. Temperaturfluktuasjonene med bølgetall l er gitt ved $\Delta T_l/T = [l(l+1)C_l/2\pi]^{1/2}$. Når man ut fra observerte temperaturfluktuasjoner plotter $\delta T_l/T$ som funksjon av l, får man *fluktuasjonsspekteret* til temperaturfordelingen. Man kan også beregne et teoretisk fluktuasjonsspektrum for ulike universmodeller. Kurver som viser resultatet av slike beregninger kalles *fluktuasjonskurver*. Vinkelutstrekningen på himmelen til temperaturfluktuasjoner med bølgetall l, er $\theta = \pi/l$ radianer $= 180°/l$.

Primære fluktuasjoner

Sachs-Wolfe-effekten har sammenheng med romlige variasjoner av gravitasjonspotensialet i skallet for siste spredning. Disse har to virkninger: (1) Fotoner fra områder med høy tetthet ved siste spredning taper energi når de beveger seg ut av gravitasjonsfeltet, og blir dermed rødforskjøvet. Dette gir en temperatursenkning i retning av områder med høy tetthet. (2) Tiden går langsommere i områder med større tetthet, dvs. langt nede i et tyngdefelt. Når vi ser mot slike massekonsentrasjoner, observerer vi derfor et område som er blitt langsommere avkjølt enn omgivelsene på grunn av den kosmiske ekspansjonen, og som derfor har litt høyere temperatur. Det samlede resultat av disse motsatte virkningene kalles Sachs-Wolfe-effekten. Den gir opphav til en gravitasjonell senkning av temperaturen i retning av massekonsentrasjoner i skallet for siste spredning.

Indre, adiabatisk effekt skyldes at også fotongassen er komprimert i områder med høy massetetthet. Dersom fluktuasjonene er adiabatiske, dvs. uten noen entropiendring, er sammenhengen mellom fluktuasjoner i strålingens og materiens tettheter $(\Delta\rho/\rho)_{rad} = (4/3)(\Delta\rho/\rho)_{mat}$. Større tetthet i fotongassen betyr at temperaturen er høyere i slike områder. På den annen side er flaten for siste spredning (innsiden av skallet) bestemt ved at fotonenergien i den kosmiske bakgrunnsstrålingen er lik ionisasjonspotensialet til hydrogenatomet. Alle punktene i denne flaten har derfor samme temperatur, T_i. Men den kosmiske ekspansjonen bruker lengre tid på å kjøle av områder med stor tetthet og høyere temperatur til T_i. Disse områdene blir senere gjennomsiktige enn omgivelsene, og den kosmiske rødforskyvningen er mindre. I retning av slike områder observerer man derfor en høyere temperatur.

Dopplereffekt er virkningen på frekvensen til den observerte strålingen av at plasmaet som strålingen kommer fra er i bevegelse.

Mekanismer bak effektene

Sachs-Wolfe-, den adiabatiske- og dopplereffekten dreier seg om hvordan temperaturfluktuasjonene i CMB forårsakes av fluktuasjoner i gravitasjonspotensial, tetthet og hastighet i skallet for siste spredning. Vi skal nå se nærmere på de fysiske mekanismene bak dannelsen av disse tre typene fluktuasjoner.

Akustiske oscillasjoner

Den teoretiske kurven merket Total i figur 2 viser en stor topp ved en utstrekning på ca. 1° ($l = 200$) og flere mindre topper ved mindre utstrekning (større l). Den viktigste mekanismen bak disse er de såkalte *akustiske oscillasjoner*. Det dreier seg om en "kamp" mellom gravitasjon som trekker materie mot massekonsentrasjoner, og trykk som prøver å hindre dette. Når gassen trekkes mot en massekonsentrasjon, beveger den seg, på grunn av tregheten, forbi posisjonen der trykk og gravitasjon er i likevekt og det oppstår en svingebevegelse. Disse svingningene i det kosmiske foton-elektron-baryon-plasmaet kalles akustiske oscillasjoner fordi frekvensen til svingebevegelsen er lik frekvensen til trykkbølger i plasmaet. Den strek-stiplete kurven merket Θ_1 i figur 2 representerer bidraget til de observerte temperaturfluktuasjonene fra dopplereffekten knyttet til bevegelsen av den kosmiske væsken på grunn av de akustiske oscillasjonene.

Teorien viser at lydhastigheten i det kosmiske plasmaet i skallet for siste spredning var enorm, omtrent $v = c/\sqrt{3}$. Avstanden en trykkbølge kan bevege seg fra Big Bang til tiden t, er vt. En kuleflate med denne radien kalles lydhorisonten ved tiden t. Den største utstrekningen til en tetthetsfluktuasjon som skyldes akustiske oscillasjoner, er omtrent lik lydhorisontens radius. Lydhorisonten ved tiden $t = 300\,000$ år har en angulær utstrekning på himmelen lik 1° observert nå.

I en massekonsentrasjon er det høyere temperatur og trykk enn i omgivelsene. Den romlige temperaturfordelingen da universet ble gjennomsiktig vises i temperaturfluktuasjonene i CMB. De største temperaturvariasjonene som skyldes akustiske oscillasjoner har utstrekning lik lydhorisonten, og utspenner ca. 1° på himmelen.

Kvantefluktuasjoner

Lyshorisontens radius, ct, representerer den største avstanden mellom punkter som i løpet av en tid t kan ha opprettet kausal kontakt, dvs. som kan ha sendt elektromagnetiske signaler til hverandre. Lyshorisonten ved tiden 300 000 år utspenner en vinkel omtrent lik 2° på himmelen observert nå. Før 1980 hadde man ingen forklaring på at temperaturen til CMB er praktisk talt lik i alle retninger. Kildene i ulike retninger kunne ikke ha utvekslet informasjon om hverandres temperatur. Men inflasjonskosmologien, som ble introdusert i 1980, tilbyr en forklaring.

Ifølge inflasjonsmodellene var universet i en tilstand av akselerert ekspansjon, kalt inflasjonsperioden, før det var 10^{-33} sekund gammelt. Ifølge inflasjonsmodellene var avstandene mye mindre før denne perioden enn man kom frem til ut fra de opprinnelige Big Bang-modellene. Punkter som etter tidspunktet 10^{-33} sekund har mye større avstand enn lyshorisonten, kan ha vært i kausal kontakt før inflasjonsperioden. Ifølge inflasjonsmodellene er det observerbare univers en kule med radius ca. 15 milliarder lysår i et mye større kausalt forbundet, utflatet område.

Inflasjonsmodellene forutsier en bestemt type temperaturfluktuasjoner i CMB. Kvantefluktuasjoner av energitettheten tidlig under inflasjonsperioden ble blåst opp av den enorme, akselererte ekspansjonen under inflasjonen. Dette var kimen til tetthetsfluktuasjoner som gravitasjonen "grep fatt i" etter inflasjonen, og ga opphav til dannelsen av stjerner og galakser. Ifølge inflasjonskosmologien hadde disse fluktuasjonene et skalauavhengig spektrum, dvs. at de maksimale tetthetsforskjellene var uavhengige av utstrekningene til fluktuasjonene.

Ved utstrekninger i flaten for siste spredning større enn radien til horisonten, dominerte de opprinnelige fluktuasjonene fra inflasjonsperioden over de akustiske fluktuasjonene. Dette innebærer at temperaturfluktuasjonene i CMB er uavhengig av den angulære utstrekningen for vinkler på himmelen større enn ca. 5° ($l < 36$). Inflasjonskosmologien sier derfor at fluktuasjonskurven skal være horisontal i dette området.

Mikrobølgeteleskopet i COBE hadde en oppløsning på 7°, og temperaturfluktuasjoner med vinkelutstrekninger fra 10° til 90° ble observert med det resultat at fluktuasjonene var uavhengige av vinkelutstrekningen. En fluktuasjonskurve tilpasset disse observasjonsdataene er horisontal for $2 < l < 18$. Disse observasjonene er derfor blitt oppfattet som en bekreftelse av en forutsigelse fra inflasjonskosmologien.

Fluktuasjoner med liten utstrekning

Ved vinkelutstrekninger på under et bueminutt blir temperaturvariasjonene små. Dette skyldes særlig at på mindre skalaer er varmetransporten mer effektiv. Temperaturforskjellene viskes ut ved at fotoner "lekker" ut fra områder med høy temperatur og tetthet. Den øverste, stiplete kurven i figur 2 viser hvordan temperaturfluktuasjonene ville ha variert med utstrekningen hvis det ikke hadde vært noen dempning.

Tykkelsen av skallet for siste spredning må også tas i betraktning. Den er ca. 30 millioner lysår. Tetthetsfluktuasjoner med vesentlig mindre utstrekning gir ikke tilsvarende temperaturfluktuasjoner i CMB. Når stråling passerer flere tetthetsfluktuasjoner i skallet, oppstår en midlingseffekt som visker ut temperaturfluktuasjonene. Dette har betydning for fluktuasjoner som utspenner vinkler under ca. 10 bueminutter, og fører til at vi mister informasjon om tetthetsfluktuasjoner med mindre masse enn ca. 10^{13} solmasser, dvs. som massen til 100 galakser, hver på størrelse med Melkeveien.

Sekundære fluktuasjoner

Den Integrerte Sachs-Wolfe-effekten og Rees-Sciama-effekten dreier seg om hvordan de observerte temperaturfluktuasjonene er påvirket av gravitasjonspotensialets variasjon langs fotonenes

"reiserute" fra skallet for siste spredning til observatøren. I denne sammenheng har universets ekspansjon betydning. Ekspansjonen flater ut massekonsentrasjoner med stor utstrekning. Endringen av en massekonsentrasjon mens lyset passerer gjennom den, gjør at når stråling blir blåforskjøvet på vei inn i en slik konsentrasjon, og rødforskjøvet på vei ut igjen, så vil disse effektene ikke alltid oppheve hverandre. De opphever hverandre i et massedominert univers med *kritisk tetthet* (den tettheten som ville få ekspansjonen til å stoppe i en uendelig fjern fremtid dersom det ikke hadde eksistert noen vakuumenergi), og med lineær utvikling av tetthetsfluktuasjonene, dvs. at tetthetsforskjellene øker proporsjonalt med universets ekspansjonsfaktor som beskriver hvordan avstandene i universet øker med tiden. Det oppstår temperaturfluktuasjoner hvis tettheten avviker vesentlig fra den kritiske, eller hvis tetthetsfluktuasjonene har en ikke-lineær utvikling. I det første tilfellet snakker man om den *Integrerte Sachs-Wolfe-effekten* (ISW) og i det andre om *Rees-Sciama-effekten.* ISW-effekten bidrar til temperaturfluktuasjoner på skalaer litt større enn ved den første akustiske toppen til fluktuasjonskurven. Rees-Sciama-effekten er liten og gir kun bidrag for små utstrekninger der de primære fluktuasjonene er dempet på grunn av diffusjon av fotoner fra områder med høy tetthet.

Sunyaev-Zeldovich-effekten er en reduksjon av intensiteten til CMB for visse mikrobølger i retning av galaksehoper. Dette innebærer at strålingens temperatur er litt lavere i disse retningene. Effekten skyldes at i galaksehopene er det en gass med temperatur på over 10^7 K, og de energirike elektronene i denne gassen sprer fotonene og endrer frekvensene deres.

Universets massetetthet

Den kritiske massetettheten avhenger av hvor raskt universet ekspanderer, og er gitt ved $\rho_{kritisk} = (3/8\pi G)H^2$, der G er gravitasjonskonstanten og H er Hubble-parameteren. I det nåværende univers er den kritiske massetettheten ca. 10^{-26} kg/m^3, som svarer til 4 hydrogenatomer pr. kubikkmeter. Observasjoner tyder på at den gjennomsnittlige massetettheten av kosmisk materie, ρ_m, er mindre enn den kritiske massetettheten. Dette betyr både at universet har uendelig utstrekning og at det alltid kommer til å utvide seg. Forholdet mellom tetthet og kritisk tetthet kalles relativ tetthet og betegnes med Ω. Vi har altså grunn til å tro at $\Omega_m = \rho_m/\rho_{kritisk} < 1$.

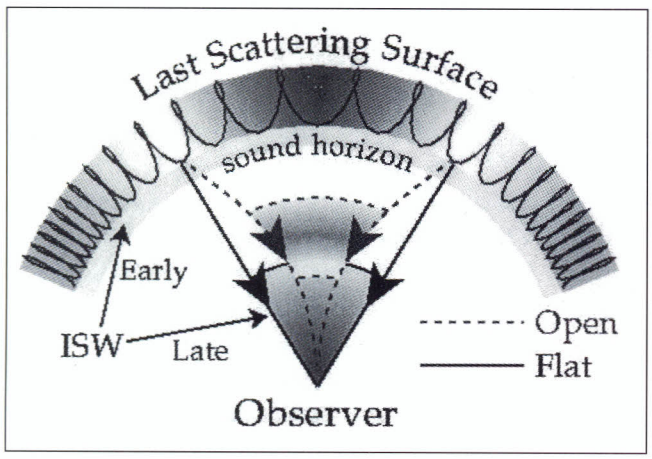
Vi vet ikke om universet er krumt eller flatt. Ofte innføres en størrelse $\Omega_k = -(c/H)^2 k$, analog med relativ tetthet, for å beskrive krumning. Her er k en konstant som representerer rommets krumning, med $k = 1$ for positiv krumning, $k = 0$ for flatt rom og $k = -1$ for negativ krumning. Fra Einsteins feltlikninger i den generelle relativitetsteorien, følger en meget enkel og pen sammenheng mellom de relative tetthetene: $\Omega_k + \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$, der Ω_Λ er den relative tettheten til vakuumenergien. Selv i et flatt univers, $\Omega_k = 0$, der den totale energitettheten, $\Omega_0 = \Omega_m + \Omega_\Lambda$, er lik den kritiske tettheten, $\Omega_0 = 1$, vil ekspansjonen alltid fortsette på grunn av vakuumenergiens frastøtende gravitasjon.[2]

Mange typer observasjoner tyder på at det er en betydelig mengde mørk materie i universet, med en relativ tetthet $\Omega_m \approx 0,3$.[3] En del av den mørke massen er i form av materie der hovedbidraget kommer fra protoner og nøytroner som er baryoner, dvs. partikler med halvtallig spinn som påvirkes av den sterke kjernekraften. Denne typen materie kalles derfor baryonisk, og dens bidrag til den relative kosmiske massetettheten betegnes med Ω_b. Observasjoner av de kosmiske mengdeforholdene av de letteste grunnstoffene kombinert med teorien for hvordan de ble dannet i de første minuttene av universets historie, tyder på at tettheten av baryonisk materie er mye mindre enn den kritiske tettheten, $\Omega_b \approx 0,05$. Dette betyr at det meste av den mørke materien er ikke-baryonisk.

Hva forteller temperaturfluktuasjonene?

Universets krumning har betydning for vinkelutstrekningen av de ulike effektene. Positiv krumning bøyer lysstrålene mot hverandre slik at vinkelen i observatørens posisjon mellom stråler fra to kilder er større i et rom med positiv krumning enn i et flatt rom. Utstrekningen til et objekt på himmelen vil derfor være større desto større positiv krumning universet har.

Figur 3 viser "flaten for siste spredning". I et flatt univers har lydhorisonten en vinkelutstrekning omtrent lik 1° på himmelen. Dette er den forventede vinkelutstrekningen til de største temperaturfluktuasjonene i et univers med kritisk tetthet. I et åpent univers følger fotonene en krum bane, antydet med stiplede kurver på figuren, og vinkelutstrekningen som lydhorisonten utspenner ved ob-



Figur 3. Illustrasjon av akustiske svingninger i flaten for siste spredning, og av hvordan den observerte angulære utstrekning avhenger av universets romlige geometri. Dersom universets massetetthet er mindre enn den kritiske, har rommet negativ krumning. Da vil lyset fra motsatte sider av en fluktuasjon bevege seg langs "konkave" baner, og det gir en mindre observert åpningsvinkel.

servatøren er mindre. Tilsvarende er vinkelutstrekningen større enn 1° i et lukket univers. Beregninger ut fra slike betraktninger gir som resultat at fluktuasjonskurven skal ha et maksimum $l_{maks} \approx 200/\sqrt{1-\Omega_k} = 200/\sqrt{\Omega_0}$.

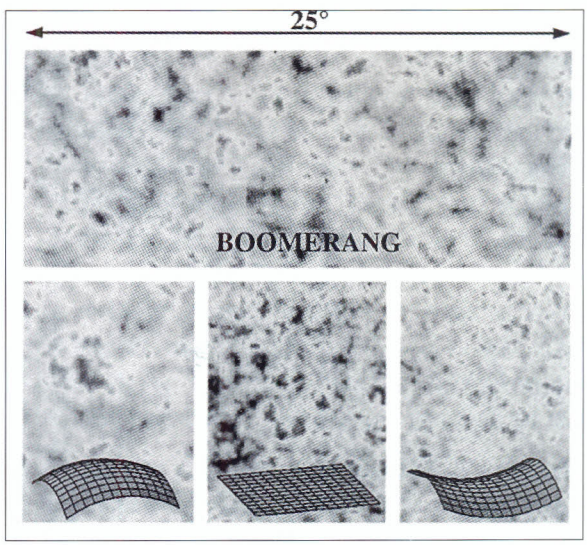
Posisjonen til den første toppen i fluktuasjonsspekteret kan brukes til å bestemme universets krumning og den totale relative energitettheten Ω_0. Hvis denne toppen opptrer ved en vinkelutstrekning på f.eks. $0,5°$, så er dette et tegn på at universet er åpent og at tettheten er mindre enn den kritiske. Alternativt vil en åpen universmodell vanskelig kunne forenes med et maksimum for CMB ved en vinkelutstrekning på 1°.

Nye observasjoner

I Nature 27. april i år ble det offentliggjort resultater av nye observasjoner med et mikrobølgeteleskop løftet til 37 km høyde over Antarktis med en kjempemessig ballong (se forsidebildet).[4] Prosjektet har betegnelsen BOOMERANG (Baloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation ANd Geomagnetics).

Resultatene betraktes som innledningen til en ny epoke med presisjonsmålinger av universets egenskaper. Mikrobølgeteleskopet i BOOMERANG har 35 ganger så høy vinkeloppløsning som det i COBE og dekker et adskillig mer interessant vinkelområde svarende til $50 < l < 600$, der man ventet å finne de to første maksimaene til fluktuasjonskurven. De observerte fluktuasjonene er vist i figur 4 sammen med bilder som viser hvordan fluktuasjonene forventes å være i univers med positiv krumning av rommet, ingen krumning og negativ krumning.

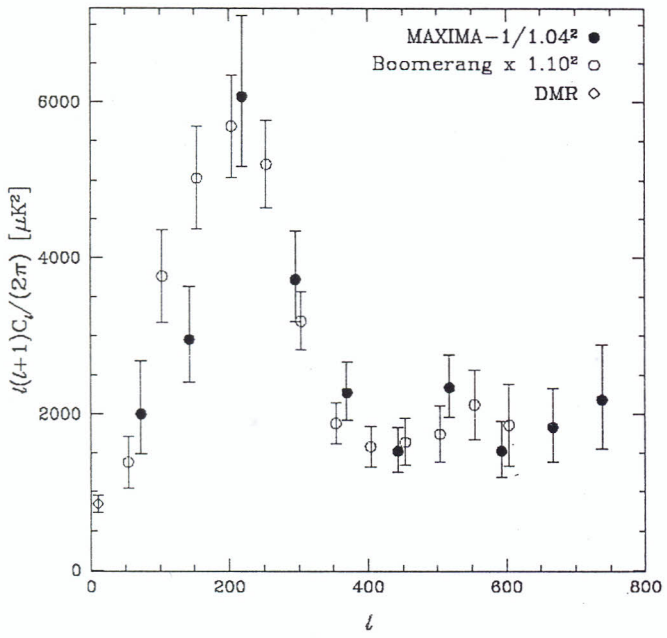
Som nevnt ovenfor viser beregninger ut fra inflasjonskosmologien at de største temperaturvariasjonene i CMB har en vinkelutstrekning på omtrent én grad dersom rommet er flatt; de har større utstrekning dersom rommet er positivt krummet og mindre utstrekning hvis det er negativt krummet. Observasjonene er vist i det øverste bildet på figur 4. De største observerte fluktuasjonene har en utstrekning som passer med flatt rom.



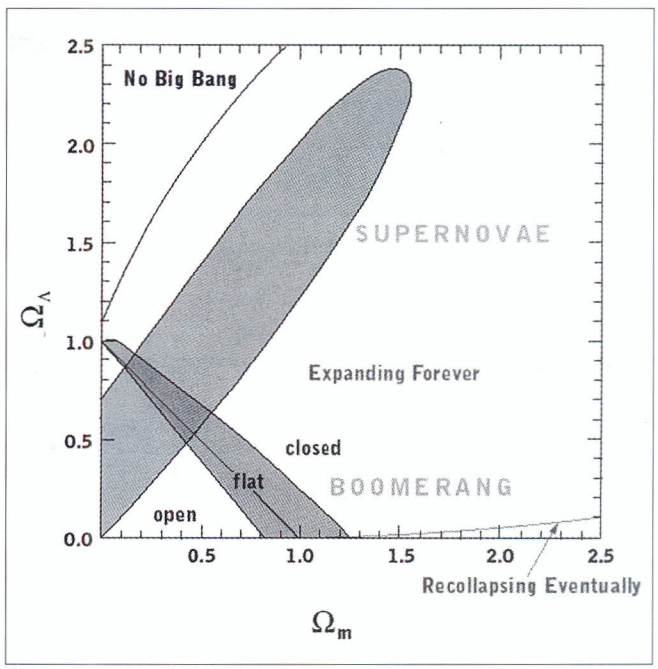
Figur 4. Øverst vises temperaturfluktuasjonene som ble observert med BOOMERANG-prosjektets mikrobølgeteleskop. Nederst vises utstrekningene til temperaturfluktuasjonene i den kosmiske mikrobølgestrålingen for universmodeller der rommet har positiv krumning (til venstre), er flatt (i midten) og har negativ krumning (til høyre).

Den 8. mai i år ble nye observasjoner med nok et ballongbåret teleskop offentliggjort.[5] Dette prosjektet kalles MAXIMA (Millimeter Anisotropy eXperiment Imaging Array). Teleskopet har en vinkeloppløsning på 10 bueminutter, og observasjonene dekket et vinkelområde svarende til $36 < l < 785$. Fluktuasjonsspekteret til CMB observert av BOOMERANG, MAXIMA og COBE (DMR) er vist i figur 5.

Fluktuasjonsspekteret har maksimumet ved $l = 200$ som er forventet ut fra inflasjonskosmologien. Men vi ser at BOOMERANG- og



Figur 5. Spekteret til temperaturfluktuasjonene i CMB observert med BOOMERANG-, MAXIMA- og COBE-prosjektenes teleskoper. Hvert punkt representerer et gjennomsnitt innenfor et intervall $\Delta l = 50$. De vertikale strekene markerer usikkerhetene i målingene.



Figur 6. Foretrukne områder i $(\Omega_m, \Omega_\Lambda)$-planet ut fra målinger av hastigheter og avstander til supernovaer av type 1a, samt BOOMERANG-målingene av temperaturfluktuasjoner i CMB.

MAXIMA-målingene har en uoverensstemmelse i posisjonen og høyden til det andre maksimumet. Hvis man beregner fluktuasjonskurver for ulike universmodeller, viser det seg at en kurve beregnet for et univers med ca. 5 % baryonisk materie, 30 % mørk ikke-baryonisk materie og 65 % vakuumenergi passer best med observasjonene til MAXIMA, mens observasjonene til BOOMERANG krever mer materie og mindre vakuumenergi.

Når supernovamålingene som viste at universet er i en tilstand av akselerert ekspansjon[(2)], og målingene av temperaturfluktuasjonene i CMB sees i sammenheng, fremkommer figur 6. Området i $(\Omega_m, \Omega_\Lambda)$-planet der feltene som favoriseres av disse målingene snitter hverandre, svarer til universmodeller med $0,2 < \Omega_m < 0,4$ og $0,5 < \Omega_\Lambda < 0,9$.

Resultatene fra BOOMERANG og MAXIMA viser at kosmologien er i ferd med å gå inn i en periode preget av høyere presisjon, der observasjoner av temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen vil gi oss mer detaljerte kunnskaper om universet. Når MAP begynner å observere i år 2001, og Planck i år 2007 – et prosjekt Norge er med på – vil deres målinger representere enda finere "siler", som færre universmodeller slipper gjennom. – Den kosmiske Rosetta-stein er funnet. Nå har astronomene begynt å tolke skriften.

Referanser

1. W. Hu, N. Sugiyama and J. Silk: *The Physics of Microwave Background Anisotropies.* Nature, **386**, 37–43 (1997).
2. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* Fra Fysikkens Verden, **61** nr. 3, 73–80 (1999).
3. Ø. Grøn: *Nyhetsbrev om stjerner og universet 1998.* Hio-rapport nr. 2 (1999).
4. P. De Bernadis et al.: *A flat Universe from high-resolution maps of the cosmic microwave background radiation.* Nature, **404**, 955–959 (2000).
5. Internett: *http://cfpa.berkeley.edu/group/cmb/results/press_release.html*

∞

Vitensentre i Norge: Kan de fostre framtidens fysikere?

Ellen K. Henriksen *

Vitensentre (engelsk: "science centers") er etablert i en rekke land de siste årene som et ledd i arbeidet for å bedre naturvitenskapens og teknologiens stilling i samfunnet. I et vitensenter kan publikum gjennom egen aktivitet utforske fenomener knyttet til natur, miljø, helse og teknologi. "Å læra ved å gjera" stimulerer interesse og motivasjon, og vitensentre kan derfor være viktige i rekrutteringssammenheng. I Norge er flere vitensentre under utvikling, og alle med interesse for naturvitenskapens og teknologiens stilling inviteres til å ta et felles løft for at disse skal lykkes. For fysikere, som tilhører en utrydningstruet "rase", burde samarbeid med vitensentre være av største interesse.

Hva er et vitensenter?

Et vitensenter er et kultursenter for naturvitenskap, teknologi, helse og miljø – et sted der barn og voksne kan møte teknologi og vitenskap gjennom egen aktivitet uten krav om prestasjoner eller forkunnskaper. Stammen i tilbudet ved de fleste vitensentre er en fast, interaktiv utstilling der publikum kan utforske fenomener knyttet til natur og miljø, teknologi (f.eks. datateknologi), mennesket (helse, sansene, hjernen) og himmelrommet. "Learning by doing", "hands on" og "minds on" er slagord i vitensenterbevegelsen (på norsk blir dette "å læra ved å gjera"). Målet er å vekke undring, fascinasjon, forskertrang og lærelyst hos publikum. Formidling i et vitensenter dreier seg ikke om å få besøkende til å huske de "rette" svarene, men snarere om å gi dem selvtillit i forhold til vitenskap og teknologi og gi dem tro på at de selv kan påvirke hvordan vitenskap og teknologi skal prege vår verden.

*Fysisk institutt, UiO.

I tillegg til interaktive utstillinger tilbyr de fleste vitensentre en rekke aktiviteter som f.eks. klubber, ekskursjoner, debatter, foredrag, kurs og dramaforestillinger. Spesielle tilbud kan knyttes til begivenheter som måneformørkelser, FN-dagen, verdens meteorologidag og jubileer for vitenskapelige gjennombrudd eller teknologiske framskritt. Det kan også arrangeres møter og konferanser i et vitensenter, og senteret kan leies ut til private arrangementer – hva med for eksempel en fødselsdagsfest på vitensenteret med astronomiske observasjoner innlagt i programmet? Ofte engasjeres publikum i arbeidet ved vitensentre ved at frivillige jobber som guider eller deltar i utarbeiding og vedlikehold av utstillinger. De fleste vitensentre har et utstrakt samarbeid med skolevesenet; de har opplegg for besøkende elever på ulike trinn, og de driver (ofte i samarbeid med universiteter og høyskoler) med etterutdanning av lærere og utvikling av nye læremidler.

Vitensenter-bevegelsen er en stor, internasjonal bevegelse der det allerede finnes rikelig av erfaringer å høste. De første vitensentrene dukket opp på 1960-tallet, og det mest berømte av disse tidlige sentrene er Exploratorium, som åpnet i San Francisco i 1968 og er blitt et forbilde for utallige vitensentre over hele verden. Grunnleggeren av Exploratorium var Frank Oppenheimer, en yngre bror av den (for fysikere) velkjente Robert. Det finnes nå omkring 1000 vitensentre i verden. Sverige har over 20, Danmark omkring 10 og Finland minst 5.

Selv om vitensentrenes tilbud i stor grad er basert på praktisk erfaring og en følelse av hva som fenger og slår an blant publikum, har de også et teoretisk og forskningsmessig fundament for virksomheten. Man benytter seg av læringsteorier fra psykologi og pedagogikk så vel som forskningsresultater angående folks forventninger til vitensenterbesøk og publikums oppførsel og sosiale samspill under besøket.

I Norge arbeides det nå med etablering av vitensentere i de største byene. Norges første vitensenter, Teknoteket, har vært i drift i 13 år i Norsk Teknisk Museums lokaler på Kjelsås i Oslo, og det arbeides med etablering av et selvstendig vitensenter i Oslo (Nasjonalt Science Center) som skal videreutvikles og utvides fra aktiviteten på Teknoteket. Trondheim har nylig fått sitt Vitensenter i den gamle bygningen til Norges Bank, og miljøer i Bergen, i Tromsø og på Jæren ønsker å etablere lignende sentre. Forprosjektene har støtte fra Norges forskningsråd, som i samarbeid med Norsk museumsutvikling driver et nettverk for å sikre synergi og samarbeid mellom sentrene.

Hvorfor vitensentre?

Naturvitenskapens og teknologiens stilling i den vestlige verden ved inngangen til det 21. århundre volder bekymring. Stadig færre unge velger seg utdanning og yrke innen naturvitenskapelige og teknologiske fag, og store deler av befolkningen later til å ha negative holdninger, liten interesse og små kunnskaper innen vitenskap og teknologi. Denne trenden er dokumentert i en rekke norske og internasjonale undersøkelser, og ble bl.a. tatt opp i Naturfagutredningen (1994) og rapporten fra Tveitereid-utvalget (1997). På denne bakgrunn er det nå stor interesse for vitensentre som virkemiddel for å bedre situasjonen. Det er særlig fire områder hvor vitensentrene ventes å bidra til en positiv utvikling.

Sikre god rekruttering

Vi står overfor store utfordringer når det gjelder å dekke framtidens behov for kompetanse i realfag. For å gjennomføre ambisjonene i Forskningsmeldingen fra 1998/99 må vi, ifølge adm.dir. Christian Hambro i Norges forskningsråd, øke rekrutteringen med 65 % i løpet av de neste 5 årene. Imidlertid har mange norske elever – særlig jentene – en negativ holdning til realfagene. I 1997/98 var det bare 7 % av årskullet av norske elever som valgte fysikk til høyeste nivå (3FY) i videregående skole, og av disse var bare 1/4 jenter. Til sammenligning valgte 16 % av årskullet i Sverige fysikk samme år. Også mange ingeniørfag på høyskolene er inne i en rekrutteringskrise og sliter spesielt med å øke kvinneandelen. Ved å gi barn og ungdom mulighet til aktiv og lystbetont utforskning og stimulere til undring og selvstendig tenkning, kan vitensentrene bidra til å skape interesse for vitenskap på et tidlig stadium og opprettholde interessen gjennom ungdomstiden fram til valg av høyere utdanning og yrke.

Tilby kompetanseutvikling for lærere

Fram til skolereformen i 1997 hadde naturfagene lenge vært nærmest fraværende i undervisning og lærebøker i barneskolen, og mange lærere hadde liten interesse og små kunnskaper innen disse fagene. Med den nye læreplanen, L97, er naturfag igjen kommet inn som eget fag allerede fra første klasse. Mange lærere er imidlertid uvant med å undervise i naturfag, og det er stort behov for etterutdanning og veiledning. Også naturfaglærere på høyere klassetrinn har stort behov for råd og ideer angående undervisningen. Vitensentre kan, i samarbeid med universiteter og høyskoler, tilrettelegge kompetanseutviklingstilbud som hjelper lærere å skape en engasjerende og god naturfagundervisning.

Sikre naturvitenskapelig allmenndannelse

Kjennskap til naturvitenskap og teknologi er nødvendig for en medborger i et moderne demokrati. Dette omfatter både praktisk kunnskap (f.eks. angående trygg bruk av teknologiske produkter i hverdagen) og kunnskap som setter oss i stand til å ta stilling til aktuelle samfunnsspørsmål (f.eks. energipolitikk eller genteknologi). Naturvitenskap og teknologi er også en del av vår kulturarv; arbeidene til vitenskapsfolk som Copernicus og Darwin har hatt dyptgripende innvirkning på vårt syn på verden og vår egen plass i den, og oppfinnelser som boktrykkerkunsten og dampmaskinen har endret samfunnsstruktur og levekår. Informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) er kanskje det området av teknologien som er i raskest utvikling og som i størst grad omformer samfunnet i dag. Å kunne forholde seg til den moderne teknologien og hvordan den bør prege vår verden, er en viktig komponent av teknologisk allmenndannelse. Et vitensenter kan spille en rolle i allmenndannelsen ved å være en møteplass der publikum kan skaffe seg kunnskap på sine egne premisser.

Bygge opp kompetanse innen formidling

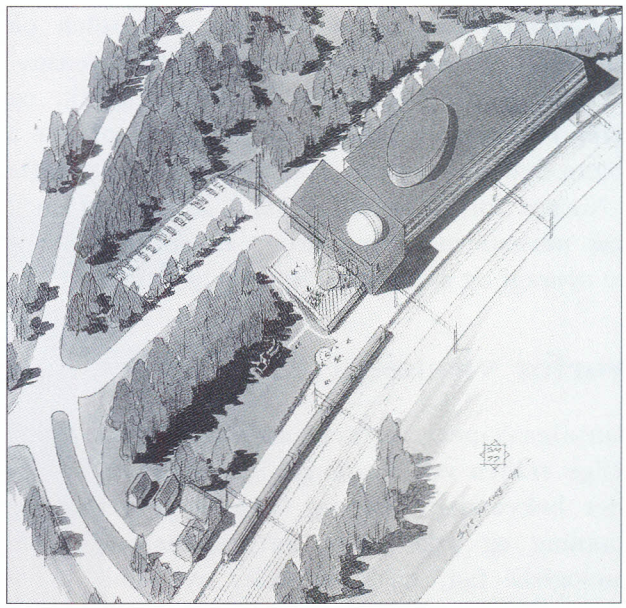
Behovet for formidling av forskningsresultater og annen informasjon blir stadig sterkere poengtert. Norges forskningsråd engasjerer seg innen forskningsformidling til barn, unge og voksne gjennom prosjekter som Nysgjerrigper og Forskings-

dagene. Universitetet i Oslo utformet nylig en ny formidlingspolitikk. Teknologibedrifter og profesjonelle organisasjoner som NIF og NITO engasjerer seg i skolerettede prosjekter for å stimulere til interesse for sine fagområder. Norsk fysisk selskap har nylig nedsatt en egen arbeidsgruppe for å se på tiltak som kan bedre rekrutteringen til fysikkfaget og fagets synlighet i media. For å drive formidlingsarbeidet til ulike grupper og gjennom ulike kanaler på en mest mulig effektiv måte, er det behov for kompetanse innen formidling. Vitensentre kan fungere som laboratorier for utvikling og utprøving av nye formidlingsmetoder og kan bygge opp ekspertise innen formidling av naturvitenskap og teknologi.

Kan vitensentre løse problemene?

Arbeidet med vitensentre i Norge baserer seg på at man mener slike sentre kan bidra til å løse de fire utfordringene ovenfor. Hva er grunnlaget for å hevde at vitensentre kan bidra i denne sammenheng? Noen erfaringer fra Sverige kan være til hjelp. Det svenske NOT-prosjektet (Naturvetenskap Och Teknik) pågikk fra 1993 til og med 1998 og var et samarbeidsprosjekt mellom Skolverket og Högskoleverket. Målene med prosjektet var blant annet å øke rekrutteringen, å bidra til økte kunnskaper hos allmennheten, og å få flere jenter til å interessere seg for naturvitenskap og teknologi. Et delprosjekt under NOT var et nettverk av teknikk- og naturvitenskapssentre. NOT-prosjektet ser ut til å ha gitt merkbare resultater: Andelen elever i videregående skole som velger naturvitenskap og teknikk har økt fra 18,6 % i 1990/91 til 21,9 % i 1996/97 (i samme tidsrom sank denne andelen i Norge). Andelen jenter som velger disse fagene har økt fra 33,4 % i 1990/91 til 40,7 % i 1996/97 (i Norge har den holdt seg omkring 25 %). Videre har andelen studenter i teknisk-naturvitenskapelige fag i Sverige økt. Det antas at i alle fall deler av denne endringen kan tilskrives NOT-prosjektet og satsingen på vitensentre. Prosjektet ble nylig evaluert, og det ble vedtatt at det skulle videreføres i et NOT2. I Sverige spørres det ikke lenger om man skal ha vitensentre; de er kommet for å bli.

Antakelsen om at vitensentre virker motiverende på de besøkende og øker forståelsen av vitenskap og teknologi, får også støtte fra forskning omkring besøkendes opplevelser i vitensentre og endringer i holdninger og naturfaglig forståelse etter et slikt besøk. Det finnes etter hvert en rik forskningslitteratur på området, der det bl.a. er dokumentert at interaktive utstillinger kan gi økt forståelse av naturvitenskapelige begreper og prosesser og økt motivasjon hos skoleelever.



Figur 1. Skisse til Nasjonalt Science Center på Grorud i Oslo.

Nasjonalt Science Center i Oslo

Som eksempel på arbeidet som er i gang med planlegging av vitensentre i Norge, kan vi ta for oss målsetningene som er satt opp for det planlagte Nasjonalt Science Center i Oslo. Dette senteret vil – hvis det realiseres – bli stammen i det nasjonale nettverket av vitensentre. Sentrale mål for aktiviteten ved Nasjonalt Science Center er:

- å være et sosialt og kulturelt samlingssted der samspillet mellom menneske, natur og teknologi står sentralt
- å la barn og voksne komme i kontakt med naturvitenskap og teknologi på en måte som stimulerer nysgjerrighet og fantasi
- å gi publikum grunnlag for selvstendig å ta stilling til forvaltningen av natur og teknologi
- å motivere skoleelever, spesielt jenter, til interesse for vitenskap og teknologi
- å være et senter for inspirasjon og kompetanseutvikling for lærere, og et laboratorium der nye formidlingsmåter utvikles
- å etablere en kontaktflate mellom befolkningen på den ene siden og norsk forskning og næringsliv på den andre siden

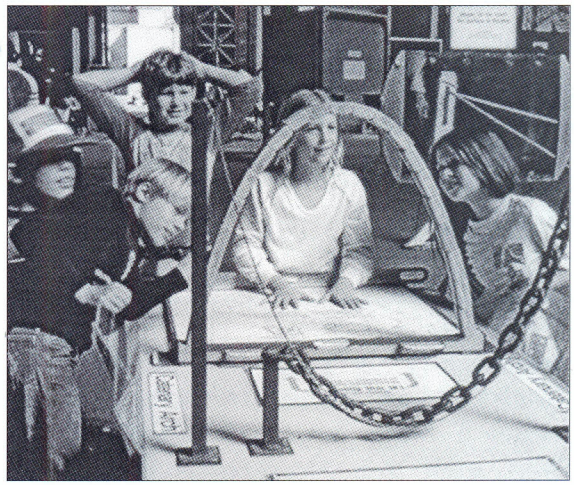
- å bygge opp kompetanse på utvikling av interaktive utstillingselementer til beste for egne utstillinger og andre museer og vitensentre i Norge

Nasjonalt Science Center vil syde av liv og av en rekke lystbetonte aktiviteter knyttet til naturvitenskap og teknologi. Det skal ikke formidle en ukritisk bejubling av vitenskap og teknologi, men stimulere til selvstendig tenkning og gi et nyansert bilde av vekselvirkningen mellom naturvitenskap, teknologi og samfunn. Utformingen av forsøk og utstillingselementer skal invitere til samarbeid og aktiv utforskning blant de besøkende. Et besøk på Nasjonalt Science Center skal oppleves som underholdende, fornøyelig, overraskende og lærerikt. Det skal gi opplevelser som kan hentes fram ved senere anledninger og kobles til teoretisk kunnskap og praktisk erfaring. En sentral utfordring for Nasjonalt Science Center er å appellere til et bredere publikum enn de tradisjonelle museene gjør ved å skape en atmosfære der alle kjenner seg velkomne, og ved å gi publikum tro på at de kan lære gjennom å prøve selv. Innhold og tilbud i senteret vil være i stadig utvikling, både for å reflektere tendenser i tiden og som resultat av erfaringer med driften.

Forprosjektet for Nasjonalt Science Center har vært i gang siden 1998 med støtte fra bl.a. Norges forskningsråd, NITO og Oslo kommune. Det er utarbeidet et grunnlagsdokument og en brosjyre (fås ved henvendelse til Teknoteket eller til artikkelforfatteren), og møter pågår med stortings- og Oslo-politikere, flere departementer og sponsorer innen næringsliv. En opsjonsavtale er inngått med NSB Eiendom om kjøp av en tomt ved Grorud stasjon. Etableringskostnadene for senteret er stipulert til ca. 140 millioner kroner. Nasjonalt Science Center forventer et besøkstall på omkring 200 000 i året. Senteret vil få omkring 35 faste medarbeidere.

Felles løft

Vitensentrene er avhengig av samarbeid med en rekke aktører, bl.a. offentlig forvaltning og myndigheter, skoleverket, norske og utenlandske museer og vitensentre, næringslivet, universiteter og høyskoler, og organisasjoner som NIF, NITO og lærerorganisasjonene. En rekke av disse aktørene er allerede engasjert i planene for vitensentre, men alle parter med interesse i naturvitenskapens og teknologiens stilling må ta et felles løft for at vitensenter-prosjektene skal lykkes. Etablering av



Figur 2. Fra Exploratorium, San Fransisco.

vitensentre kan vise seg å bli en nødvendig investering i framtiden dersom vi ønsker et blomstrende næringsliv, en ansvarlig forvaltning og en befolkning som kan forholde seg kritisk til hvordan vitenskap og teknologi skal utnyttes til alles beste. Vitensentre i Norge må betraktes som en investering i kunnskap, kultur og konkurranseevne.

Artikkelen er basert på tidligere utarbeidet materiale der følgende personer har bidratt: Jan Alfred Andersson (Teknoteket), Merethe Frøyland (Norsk museumsutvikling), Inger Hagen (Norges forskningsråd), Anders Isnes (Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling) med flere.

Litteratur

1. *Teknoteket på Grorud – Nasjonalt Science Center.* Bakgrunnsdokument. Teknoteket 1999.
2. E.K. Henriksen og M. Frøyland: *Hva vet vi om læring i museer?* Norsk museumsutviklings skriftserie 7–1998.
3. D.H Kjelldahl: *Hva er egentlig science center? De nye, interaktive museene for vitenskap og teknologi i historiens lys.* Teknoteket 1999.
4. Teknoteket i Oslo: *http://www.teknoteket.no*
5. Eksperimentarium i København: *http://www.eksperimentarium.dk/*
6. Tom Tits Experiment i Södertälje: *http://www.tomtit.se/*
7. Exploratorium i San Francisco: *http://www.exploratorium.edu*
8. Lawrence Hall of Science i Berkeley: *http://www.lhs.berkeley.edu/*

∞

Elevers forståelse av kvantefysikk

Rolf V. Olsen *

Undersøkelser de siste tiårene har vist at fysikkelever kan ha en forståelse av sentrale begreper i faget som helt eller delvis er i konflikt med den aksepterte vitenskapelige fortolkning. Denne forskningen har først og fremst vært fokusert på elevenes forståelse av begreper innen mekanikk, varmelære og elektromagnetisme. Det har vært sparsomt med undersøkelser for å kartlegge deres forståelse av emner innen moderne fysikk, og da spesielt kvantefysikk. I denne artikkelen gis det en kort presentasjon av en slik undersøkelse som er blitt gjennomført i et utvalg av norske 3FY-elever. I neste nummer følges dette opp med en analyse av kvantefysikkens status i den videregående skolen. Begge artiklene har bakgrunn i en hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk ved UiO.[1]

Presentasjon av undersøkelsen

Problemstillingen for undersøkelsen var å beskrive elevers forståelse av kvantefysikk. Undersøkelsen ble gjennomført våren 1999, og bestod mest av faglige oppgaver. Noen av disse var flervalgsoppgaver, noen var åpne oppgaver hvor elevene selv skulle skrive svar, og noen var en kombinasjon av begge typene. I tillegg ble elevene stilt noen enkle spørsmål om sin bakgrunn, og noen spørsmål knyttet til deres meninger om kvantefysikken sammenlignet med andre emner i fysikken.

Lærerne ble stilt noen få spørsmål knyttet til gjennomføringen av undersøkelsen. De ble videre spurt om hvor mye undervisningstid de hadde brukt på kvantefysikken, og hvorvidt de hadde brukt tid på elevøvelser/lærerdemonstrasjoner knyttet til emnet. Det var 236 elever fra 20 klasser som deltok. Svarprosenten var gledelig høy (over 90 %) med tanke på at undersøkelsen ble gjennomført i den aller travleste perioden like før eksamen i faget.

*Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling, UiO.

For en grundigere presentasjon av utvalget, oppgaveutvikling og analysemetodene, viser jeg til nevnte hovedfagsoppgave og en kortversjon av denne.[2] Jeg refererer videre til denne undersøkelsen som RVO99.

Fotoelektrisk effekt

Det var i RVO99 med tre oppgaver som dreide seg om fotoelektrisk effekt. Alle disse var også med i TIMSS-undersøkelsen (The Third International Mathematics and Science Study) som ble gjennomført våren 1995.[3] Dette var også hovedbegrunnelsen for å ta med disse oppgavene. Eventuelle endringer i elevers svar fra 1995 til 1999 kan indikere at noe har skjedd med undervisningen i dette emnet i tiden mellom de to undersøkelsene. Oppgavene ble analysert både langs en riktig/galt-dimensjon og langs en innholdsdimensjon, altså hva slags type resonnement (riktige og feilaktige) svaret inneholdt. Jeg presenterer ikke disse oppgavene i sin helhet her, og gir kun en oppsummering av de viktigste funnene:

- De norske og svenske elevene svarer betydelig bedre på oppgavene om den fotoelektriske effekt enn elever fra andre land som var med i TIMSS. Det vil imidlertid være noe forhastet å trekke den konklusjonen at norske elever har en god forståelse av fotoelektrisk effekt. I en av oppgavene fikk elevene oppgitt løsrivingsarbeidet for tre metaller. De skulle så ved regning avgjøre om noen av disse ville avgi elektroner når de ble bestrålt med lys med en bestemt bølgelengde. Denne oppgaven er et typisk eksempel på et delspørsmål til oppgave 1 ved en eksamen i 3FY. Angell og Lie har tidligere vist at slike oppgaver normalt blir besvart riktig av mer enn 60 % av elevene.[4] For denne oppgaven var det imidlertid kun i overkant av 40 % av elevene som hadde svart riktig. Det er vanskelig å trekke andre kon-

klusjoner av dette enn at fotoelektrisk effekt er et mer sentralt emne i den norske skolefysikken enn i tilsvarende kurs i andre land.

- I en mer detaljert analyse av feilsvarene på denne oppgaven, ser vi at flere klarer å beregne en verdi for energien til et foton av det innkommende lyset, men de klarer ikke å bruke denne verdien til å resonnere seg fram til hvilke metaller som vil avgi elektroner. Dette er en bekreftelse på det man har funnet i andre undersøkelser: Elever kan være regneteknisk dyktige uten at de har en dypere forståelse av de kvalitative sidene ved problemstillingen.
- Funnene i RVO99 er sammenfallende med resultatene fra TIMSS. Dette er i seg selv ikke overraskende fordi fotoelektrisk effekt er like sentral i den nye læreplanen som i den gamle, som var gjeldende for elevene som deltok i TIMSS.

Heisenbergs usikkerhetsrelasjon

En oppgave som testet elevenes forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon ble gitt i forsøkstesten til TIMSS som ble gjennomført i Sverige og Norge i 1993. Den var ikke med i den endelige TIMSS-testen, men den var med i RVO99.

Denne oppgaven er interessant fordi elevene som deltok i forsøkstesten i 1993 hadde fulgt et fysikkurs hvor relasjonene for posisjon-bevegelsesmengde og energi-tid var nevnt som pensum i læreplanen som da gjaldt. I den nye planen er imidlertid denne relasjonen ikke nevnt eksplisitt. Hensikten med å gi denne oppgaven var derfor todelt: I tillegg til å få kartlagt elevers forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon, ønsket jeg å se om det var store forskjeller i svarene til elever som hadde fulgt læreplaner med ulik vektlegging av denne. Oppgaven var:

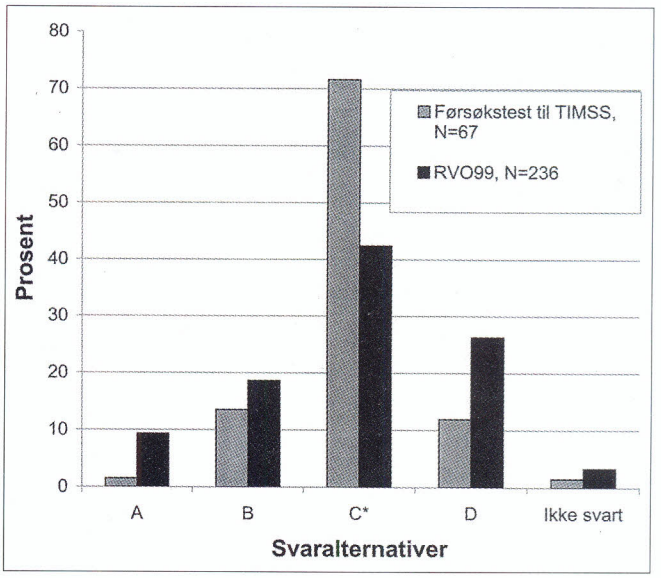
I en klasse ble elevene bedt om å formulere Heisenbergs usikkerhetsrelasjon (uskarphetsrelasjon). Hvilket av disse forslagene synes du er det beste? Sett en ring rundt én bokstav.

A. *Alt i naturen er usikkert.*

B. *Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, vil resultatene aldri bli helt nøyaktige.*

C. *For noen par av fysiske størrelser er det en nedre grense for hvor nøyaktig vi kan måle begge størrelser samtidig.*

D. *Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, må vi alltid ta i betraktning den usikkerhet som skyldes de instrumentene (den apparaturen) vi bruker.*



Figur 1. Prosentvis fordeling av svar på de ulike alternativene i oppgaven om Heisenbergs usikkerhetsrelasjon i forsøkstest 93 og RVO99. Det korrekte alternativet er C.

Figur 1 viser resultatene av henholdsvis forsøkstesten i TIMSS og av min egen undersøkelse. Vi ser at andelen som svarer riktig på dette spørsmålet har sunket mye fra 1993 til 1999. Det må imidlertid sies at utvalget til forsøkstesten i 1993 ikke var et tilfeldig utvalg. Dette gjør at en sammenlikning for å avgjøre om disse forskjellene er signifikante, er meningsløs.

Ordet *usikkerhet* er problematisk i denne sammenhengen. I fysikkfaget snakker vi også om usikkerhet i forbindelse med data som er samlet eksperimentelt, altså *måleusikkerhet*. Det er en slik forståelse av usikkerhet som ligger bak alternativ *B* og *D*.

A er et alternativ hvor man ukritisk overfører konklusjoner fra fenomener i kvanteverdenen til den makroskopiske verden. I sin ytterste konsekvens kan et slikt syn lede til en relativistisk holdning til kunnskap om naturen: Alt er usikkert, derfor er ingen "teorier" bedre enn andre.

Alle de feilaktige alternativene velges av langt flere i RVO99 enn i TIMSS, noe som kan tyde på mer gjetning. Dette kan vi kanskje tolke som at elevene er mer usikre på innholdet i denne viktige relasjonen. Dette er et interessant funn som kan indikere at det ikke legges like stor vekt på Heisen-

bergs usikkerhetsrelasjon i dagens fysikkurs til tross for at den nevnes i to av læreverkene og blir behandlet relativt grundig i ett av dem. I forbindelse med høringen av den nye læreplanen i fysikk, uttrykte noen misnøye med at presisjonsnivået var blitt svakere. Denne oppgaven indikerer at en slik bekymring kan være berettiget. Faren er at når en eksamen skal lages, vil disse uklare målene bli definert av læreverkene. Et emne som ikke dekkes av alle læreverk vil dermed gradvis kunne forsvinne ut av faget.

Usikkerhetsrelasjonen er etter min mening en fin måte å vise fundamentale sider ved kvantefysikken på. Den er en enkel matematisk formulering, men den gir samtidig rom for mange gode kvalitative drøftinger. Med utgangspunkt i denne relasjonen kan man drøfte kvantefysikkens prinsipielt statistiske natur. I tillegg kan man ved hjelp av denne relasjonen diskutere mange fenomener i naturen (radioaktivitet, fusjon og atomers stabilitet) og teknologiske anvendelser (tunnelmikroskopet, halvlederteknologi).

Bølge–partikkel-dualisme

Nedenfor presenteres to oppgaver fra RVO99 som hadde til hensikt å kartlegge elevenes syn på hva lys og elektroner "egentlig" er. Oppgaven ble gitt for lys og elektroner hver for seg, og den lød:

Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig. Sett en ring rundt én bokstav.

A. *Lys/elektroner er både bølger og partikler.*
B. *Lys/elektroner er partikler.*
C. *Lys/elektroner er enten bølger eller partikler.*
D. *Lys/elektroner er bølger.*
E. *Lys/elektroner er verken bølger eller partikler.*

Begrunn svaret ditt.

Vi ser at det er vanskelig å si at det er ett klart riktig svar og fire som er feil. Min vurdering er at alternativ *E er det beste.* Det er viktig å merke seg at elevene gis mulighet til å begrunne sine svar på de to oppgavene. Det er disse begrunnelsene jeg har lagt mest arbeid i å analysere. Oppgavene ble valgt fordi lærebøkene i behandlingen av bølge–partikkel-dualismen, både tidligere og i dag, formidler argumenter om lys og elektroner som kan kalles for "symmetriargumenter". Et eksempel er deBroglies hypotese om at siden lys er en partikkel med bølgeegenskaper, kan vi tenke oss at alle partikler har bølgenatur. Dessuten vektlegges dobbeltspalteforsøk med henholdsvis lys og elektroner, noe som også formidler en symmetri mellom lys og elektroner.

Oppgave / Alternativ	Lys	Elektroner
A: B og P	77	36
B: P	2	59
C: B eller P	5	4
D: B	9	0
E: Verken B eller P	8	1

Tabell 1. Prosentvis fordeling av svar på de ulike alternativene i oppgavene om lysets og elektronets natur. B = bølger og P = partikler

Resultatene av flervalgsdelen i oppgaven vises i tabell 1. Tabellen viser klart at elevene ikke har en forestilling om lys og elektroner som samsvarer med det symmetriske synet de har møtt i læreverkene. Vi ser at elevene i stor grad beskriver elektroner som partikler, mens lys oppfattes å ha en tosidig natur. Nedenfor gis en punktvis oppsummering av hva elevenes begrunnelser forteller oss:

- De fleste av elevene som valgte alternativ *A* for lys (59 %), klarte ikke å gi en god begrunnelse for hvorfor lys er både bølger og partikler. Mange elever nevnte at enkelte forsøk kan best forstås dersom vi ser på lys som partikler, mens andre forsøk viser at lys kan ses på som bølger. Dette argumentet kan imidlertid føres videre til en konklusjon som svarer til både *A*, *C* og *E*. Det filologiske/filosofiske problemet om hvorvidt det er *både/og, enten/eller* eller *verken/eller,* ble altså ikke drøftet av mange elever. Likevel må det være en årsak til at så mange velger alternativet *både/og* i stedet for *enten/eller.* Denne gruppen kan karakteriseres som elever med "løs/overfladisk forståelse av dualisme". Det kan imidlertid tenkes at de har mer spesifikke forestillinger knyttet til dualismen, men at oppgaven slik den er gitt, ikke "trigger" disse forestillingene godt nok. Når denne gruppen er så stor, gir det seg selv at andre kategorier som analysen benytter,

blir tilsvarende små. Det er imidlertid grunn til å tro at en del av elevene i denne store gruppen ville havnet i andre kategorier dersom oppgaven hadde vært mer eksplisitt. Det ble til sammen brukt tolv ulike kategorier i analysen som gjenspeiler de ulike argumenter som ble brukt i svarene.

- Av de elevene som svarer at elektroner er partikler (28 %), sier mange at disse partiklene har enkelte bølgeegenskaper. Hva disse består i, er ikke alltid så eksplisitt som i figur 2.

Figur 2. Her ser vi hvordan en elev har tolket bølge-partikkel-dualismen: Partikler (i dette tilfellet elektroner) som beveger seg langs et bølgeformet spor.

- Det er imidlertid en liten gruppe (6–8 %) som gir et svar som klart uttrykker at fotoner/elektroner er partikler som *beveger seg i bølger*. Jeg tillegger denne gruppen betydning til tross for at den er så liten, jfr. diskusjonen ovenfor.
- Selv om alternativene i denne oppgaven inneholder ordet 'er', viser noen elever en mer nyansert holdning i sine svar. Det snakkes om 'natur', 'tendens' eller 'egenskaper'. Særlig beskrives lys som bestående av tenkte eller hypotetiske objekter. Elektronene oppfattes imidlertid i større grad som reelle partikler som eksisterer i form av en liten klump med masse og eventuelt ladning. Dette viser at elevene har et klassisk partikkelsyn på elektroner.

I en annen oppgave ba jeg elevene om å forklare hva en bølge generelt er, og hva bølgelengden til elektroner forteller oss. Denne oppgaven ble nok oppfattet som vanskelig. Mange elever svarte ikke. Av de som svarte, fokuserte de fleste på den første delen av oppgaven, det å forklare hva en bølge er. Det er ikke rom her for å gi en grundigere presentasjon av denne analysen, men det kan nevnes at av 236 elever er det kun én som gir et svar hvor bølgelengden blir gitt en sannsynlighetsfortolkning.

Videre kan det nevnes at TIMSS hadde med en oppgave hvor elevene skulle beregne materiebølgelengden til et elektron som hadde en viss fart. Dette mestret mer enn 70 % av de norske elevene. Med andre ord kan mange regne ut slike bølgelengder, men RVO99 viser at det er svært få som har et rimelig meningsinnhold knyttet til elektronets bølgelengde. Kan hende er det vanskelig å gi begrepet en dypere mening for en elev på dette nivået. Men da må vi også akseptere at det å regne ut elektronets bølgelengde ved hjelp av deBroglie relasjonen, bokstavelig talt er *meningsløst* for eleven.

Dette viser at bølge–partikkel-dualismen oppfattes på en overfladisk måte. Det fører ikke til at mange elever endrer sin forståelse av elektroner og fotoner. Resultatene antyder heller at det er grunn til å tro at bølge–partikkel-dualismen gjør det mulig for en elev å beholde, og muligens forsterke, sine klassiske forestillinger.

Atommodeller

I RVO99 var det også et par oppgaver knyttet til elevenes forestillinger om atommodeller.

Den ene oppgaven var en flervalgsoppgave hvor elevene fikk seks svaralternativer i form av visuelle modeller av et hydrogenatom med en kort beskrivelse av hver. De fikk så spørsmål om hvilken modell som passet best med hvordan de selv så for seg et slikt atom. En tredjedel av elevene valgte en skymodell, mens over halvparten foretrakk modeller som visualiserte elektronet som et punkt i en eller flere lukkede sirkelbaner rundt atomkjernen.

I en annen oppgave ble elevene bedt om drøfte påstanden: "Atomets oppbygging kan sammenliknes med hvordan solsystemet ser ut." 70 % poengterte likheter og konkluderte med at dette var en god sammenlikning. Av disse nevnte ca. halvparten at analogien med solsystemet brøt sammen på enkelte punkter, som f.eks. ved at elektroner kan hoppe fra en bane til en annen. Men svært få elever fokuserte på dypere problemer med en slik analogi.

Det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner fra dette. Resultatene samsvarer imidlertid godt med andre undersøkelser som viser at de fleste fysikkelever på dette nivået har et syn på atomet som ikke inkluderer kvantefysiske aspekter. Mange elever kan sies å ha forestillinger om atomet som kan betegnes som en *"naiv" Bohr-modell.*

Oppsummering

Denne undersøkelsen kan sies å være et pilotprosjekt som gir oss like mange spørsmål som klare

svar. Analysen viser f.eks. at noen av oppgavene burde vært omformulert slik at elevenes forestillinger kunne blitt "trigget" mer effektivt.

Det vi kan si er at en mekanistisk forståelse hvor elektroner og fotoner oppfattes som partikler som beveger seg langs bestemte *spor*, synes å være utbredt. I atomet er elektronets spor en sirkelbane, mens fotoner og frie elektroner (i alle fall de som har passert en dobbeltspalte) beveger seg langs et sinusformet spor. Mange elever klarer å beregne deBroglie-bølgelengden til elektroner uten at de knytter dette til noe dypere meningsinnhold.

Elevenes kunnskaper innen kvantefysikk etter endt undervisning i emnet, kan derfor beskrives som fragmentarisk og løst integrert i deres totale nettverk av kunnskaper. Svært få klarer å gi uttrykk for at kvantefysikken innebærer en helt ny måte å beskrive fenomener på kvantenivå på.

Kvantefysikkens iboende formidlingsproblem

Når vi vurderer disse resultatene, må vi ikke glemme at kvantefysikken er vanskelig å forstå. Litt avhengig av hva vi legger i begrepet 'å forstå', kan vi kanskje også si at kvantefysikken er umulig å forstå. Niels Bohr skal selv ha sagt en gang at sannhet og klarhet er komplementære størrelser.

Problemet med å formidle kvantefysikken skyldes flere forhold, hvor noen er nevnt nedenfor:

- "Kvanteverden" kan ikke begripes av vår intuisjon. Newtonsk mekanikk er også på flere områder ikke-intuitiv, men den beskriver en verden hvor objektene prinsipielt kan ses, berøres og manipuleres på en kontrollert måte. Dette gir en beskrivelse av en fysisk verden hvor sammenhengen mellom årsak og virkning tilsynelatende er entydig. I motsetning til dette står kvantefysikken som beskriver en verden som er prinsipielt statistisk.
- Avstanden mellom forskningsfront og skolefysikk er stor, noe som i seg selv kan medføre et formidlingsproblem.
- Kvantefysikken er en sterkt matematisert teori. Selv en enkel tilnærming ved hjelp av en stående-bølge-analogi vil være tung å fordøye for våre elever med den matematikkbakgrunnen de har.
- Vi må derfor utvikle mer visuelle modeller, og uttrykke disse i et forståelig språk. Dette medfører at en tvinges til å bruke begreper fra klassisk fysikk som f.eks. 'bølge' og 'partikkel'. Dette vil ytterligere forverre kommunikasjonen av det 'genuint kvantemekaniske'.

Det vil som sagt innledningsvis, bli presentert en analyse av hvor kvantefysikken står i dagens videregående skole i et senere nummer av FFV, med drøfting av noen konsekvenser for undervisningen.

Referanser

1. Olsen, R.V.: *Kvantefysikk i skolen – En undersøkelse av fysikkelevers forståelse av kvantefysikk og en analyse av dette emnets status i skolefysikken.* Hovedfagsoppgave ved UiO (1999)
2. Olsen, R.V.: *Kvantefysikk i skolen.* Rapport nr. 35 i TIMSS-rapportserie, UiO (1999)
3. Internett: *http://www.ils.uio.no/timss2/*
4. Angell, C. og S. Lie: *Er eksamen rettferdig?* Skrifter for realfagundervisning, nr. 10, UiO (1993)

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Forskere, media og samfunnet

Sunniva Siem *

Forskningsinformasjon til allmennheten er både viktig og vanskelig. Populariserte fremstillinger kan lett misforstås, og misforståelsene kan nå uante høyder dersom media hjelper til. Følgende historie er et eksempel på det.

Ved Brookhaven National Laboratory (BRNL) i USA, var for kort tid siden en ny akselerator, RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider), klar for de første eksperimentene. Entusiastiske forskere hadde forklart at her skulle det for første gang, om enn i miniatyr, kunne observeres tilstander som fantes rett etter Big Bang. Ved å la gullkjerner med hastigheter nær lyshastigheten kollidere, ville den tetteste og varmeste materie kunne observeres. Temperaturen ville bli ca. 10 000 ganger høyere enn i solens indre. Fra boken "Nuclear Physics, the core of matter, the fuel of stars",[1] en oversikt over nyvinninger innen kjernefysikken de siste 10 årene, står det om disse eksperimentene at "...there is a possibility that complete surprises await. The energy regime is totally new, and the potential for unexpected discoveries is exiting."

Big Bang fremkaller bilder av en enorm eksplosjon. Dette skapte imidlertid bekymring. Det startet med et leserinnlegg i Scientific American i juli 1999, der en fysiker spurte om noen hadde regnet på muligheten for at et sort hull ville bli laget. Kan vi egentlig vite hva som kan skje med disse enorme energimengder og tettheter? Er det mulig å lage et sort hull? Forskerne har tidligere forklart at sorte hull blir dannet etter supernovaeksplosjoner. Er det da mulig å produsere et lite sort hull i laboratoriet? Og siden sorte hull tiltrekker seg alt mulig, vil det da ikke vokse seg større og større og til slutt absorbere hele jordkloden?

I løpet av sommeren og høsten 1999, var det mye oppstyr i avisene omkring de planlagte eksperimentene. Advarende røster var veldig aktive med føre var-prinsippet som argument. Det var også fysikere blant dem som stilte kritiske spørsmål. I den mest ekstreme varianten var verdens undergang nær, og de "gale" forskerne som ville produsere små sorte hull i laboratoriet, måtte stanses. Noen av overskriftene i avisene lød: "Big Bang machine could destroy Earth".[2] "Strange Matter Physicists May Bring About the End of the Universe, But Probably Not."[3] Til og med her hjemme kom det en artikkel i Aftenposten i desember: "Når mennesket leker Gud."[4] Fantasien var nærmest grenseløs. Et nyhetsteam kontaktet BRNL og spurte om det var mulig at flyet hvor John F. Kennedy jr. var pilot kunne ha blitt absorbert av et lite sort hull på avveie fra laboratoriet![5] Det ble også foretatt en avstemning på ABSNEWS' nettside, der man kunne stemme over om eksperimentene skulle få starte. Hysteriet gikk så langt at saken ble diskutert i Kongressen, og 22. september ble USAs president orientert. Skulle eksperimentene stanses?

Hvordan kan så en leg person skille mellom vitenskap, pseudovitenskap og direkte sprøyt? BRNL fikk et panel av uavhengige eksperter til å lage en rapport som på en grundig måte tok for seg dommedagscenariene. Panelet presiserte at betingelsene ikke var oppfylt for at eksperimentene med RHIC skulle føre til katastrofe.[6] Myndighetene fikk rapporten og ble overbevist om at det var trygt å fortsette.

Vil forskerne tilintetgjøre kloden?

Dommedagsprofetier har alltid florert, og fysikken har opplevd mer enn sin kvote. Det er tre forskjellige skrekkscenarier som er blitt debattert i pressen i forbindelse med oppstart av eksperimenter ved RHIC. Disse er grundig beskrevet i rapporten "Rewiew of Speculative Disaster Scenarios at RHIC,[6] der man ser på hvilke betingelser som må være oppfylt i hvert tilfelle, og om det er mulig å oppfylle disse betingelsene i et eksperiment.

*Fysisk institutt, UiO.

Et lite, sort hull?

Ideen om at man kunne lage et lite sort hull har kanskje fått mest oppmerksomhet i media. Et sort hull er en kule med så stor massetetthet at unnslipningshastigheten på kulens overflate er lik eller større enn lysets hastighet. Alt som kommer innenfor en kritisk avstand til et sort hull blir absorbert. Siden heller ikke lyset kan unnslippe, vil kulen oppfattes som sort. Små sorte hull vil imidlertid ikke være stabile, de fordamper raskt ved en kvantemekanisk mekanisme som gjør at unnslipningshastigheten for stråling kan overvinnes.[6] To gullatomer som kolliderer i et eksperiment ved RHIC, må komprimeres til et ekstremt lite volum (all massen må være innenfor den kritiske Schwartzschild-radiusen, $R = \frac{2GM}{c^2}$) for å produsere et sort hull. Hvis all massen i kollisjonen blir komprimert til størrelsen av et proton eller nøytron (hvert gullatom har 197 av dem), vil unnslipningshastigheten likevel være 11 størrelsesordener mindre enn lyshastigheten. Det finnes ingen mekanisme som kan presse massen sammen til denne størrelsen. Et sort hull er aldri observert i noe laboratorium.

Overgang til en lavere vakuumtilstand?

Det andre skrekkscenariet er at en overgang til en lavere vakuumtilstand kan initieres. Dette er imidlertid basert på en spekulativ teori. Teorien sier at det tomme rom, som vi kaller vakuum, er strukturert og kan eksiteres. Det er ingen ting i vår viten om naturen som tyder på at dette er riktig. Spekulasjonene går ut på at vakuumtilstanden kanskje er metastabil og ikke befinner seg i den lavest mulige energitilstand, men er uforandret så lenge det ikke tilføres tilstrekkelig energi. En overgang til stabil tilstand ville imidlertid blitt initiert for lenge siden av den voldsomme aktiviteten i verdensrommet.

Strangelets overtar

Det tredje scenariet er at stabile 'strangelets' som kan overta for vanlig materie, kan dannes. Vanlig materie består av protoner og nøytroner, som igjen består av kvarker som kalles opp- og ned-kvarker. Strangelets er materie som inneholder en annen kvarktype som kalles sær. Denne materien må være stabil, og den må ha negativ ladning for at den skal være "farlig". Man kan tenke seg at den kan bli trukket inn i en vanlig kjerne og frigjøre energi ved å omdanne noen opp- og ned-kvarker. Hvis produktet også har negativ ladning, kan prosessen fortsette i det uendelige til all materie er omgjort til strange-materie.

I en kollisjon i RHIC vil det dannes tyngre, uvanlige kvarker som kalles top-, bunn-, sjarm- og sær-kvarker. Alle hittil observerte partikler som inneholder sær-kvarker er meget ustabile. Selv om det skulle være mulig å produsere stranglets som er mer stabile, viser beregninger at de ville være positivt ladet, og dermed være ufarlige.

For alle tre scenarier gjelder et enkelt argument uten vanskelige formler og beregninger. Jorden er alltid blitt bombardert av kosmisk stråling med energier mye høyere enn dem vi kan produsere i et laboratorium. Når partiklene i den kosmiske strålingen treffer atmosfæren, får man kjernereaksjoner lik dem man kan produsere i en akselerator. For å sammenligne med RHIC-eksperimentene, må man først finne ut hvor mange gull mot gull-kollisjoner det har vært. En har funnet ut at på månen må det ha skjedd $5 \cdot 10^{16}$ ganger så mange slike kollisjoner som det vil kunne produseres i et laboratorium i løpet av 10 års sammenhengende kjøring. Det skjer faktisk 100 ganger så mange slike kollisjoner pr. dag på månen. Det er ingen tegn til at noen av de tre skrekkscenariene har intruffet der.

Diskusjon

Hvordan reagerte pressen, forskere og andre på dommedagsprofetiene? En artikkel ble lagt ut på ABSNEWS' web-side,[7] der det ble oppfordret til å stanse de "gale" forskerne som ville lage sorte hull og ødelegge hele jordkloden. Artikkelen sirkulerte blant fysikere som en slags vits: "Se hva denne skrullingen her har funnet på." Var fysikerne kanskje litt for arrogante? Senere fikk mange fysikere e-post fra S. Steadman, som er Program Manager for Heavy Ion Nuclear Physics, DOE, med oppfordring til å besøke ABCNEWS' nettside og stemme 'ja' til RHIC. Mange var skeptiske til dette: Det kunne umulig være så ille at et så viktig spørsmål ville bli avgjort på bakgrunn av en avstemning på en nyhetsredaksjons nettside.

Det er skrevet mange artikler av fysikere i aviser og tidskrifter der det forklares at dommedagscenariene er umulige. Men folk blir ikke beroliget av at en fysiker sier at alt er under kontroll. Slike dementier har nesten motsatt effekt; hvis noen sier at det er ingen grunn til panikk, vil panikken spre seg.

Rapporten med alle beregningene var tilgjengelig på en preprintserver, der man vanligvis finner fagartikler. Problemet er at ingen andre enn

fagfysikere finner informasjon på denne serveren. Språket i artikkelen var mer populært enn i en vanlig fagartikkel, men likevel ikke lett tilgjengelig for media og legfolk, som er de mest bekymrede og som trenger saklig opplysning på et forståelig språk.

Forskernes forhold til media

Ved første øyekast er konklusjonen enkel: Forskerne må bli bedre til å formidle på en forståelig måte hva de gjør, hvorfor de gjør det, og om mulige konsekvenser. Men i eksemplet med RHIC-eksperimentet var faktisk forskerne aktive formidlere i såvel faglige som populære media. Problemet blir derved mer nyansert, og flere faktorer er viktige.

En faktor er medias forkjærlighet for katastrofer. Det blir en lett interessekonflikt mellom pressens sensasjonsjakt og forskernes forsøk på nøktern opplysning. Det at pressen er økonomistyrt og ikke alltid like saklig, gjør det vanskelig å nå frem med nøktern opplysning. Pressen er ikke nødvendigvis en nøytral kilde til informasjon.

Fysikere ved RHIC forsøkte på en populær måte å fortelle hva eksperimentene gikk ut på. Men noen av forklaringene ble for svulstige. Utsagn som "Gjenskapelse av Big Bang", skapte blest om eksperimentene, men ikke slik det var tenkt.

Forskere er ofte på etterskudd med formidling. Når de er ute i media er det ofte for å forsvare seg eller korrigere feilaktige påstander, og de kan da redde situasjonen ved f.eks. ekspertrapporter. Men det er langt viktigere å være klar over i forkant hva mottakerne av informasjonen faktisk kan oppfatte. Manglende forståelse skaper mistenksomhet.

De fleste har respekt for det skrevne ord. I avisene er det fortsatt en viss kvalitet. På Internett derimot, er det ingen kvalitetskontroll. Det man finner der er altfor ofte direkte galt. Men samtidig, Internett gir en unik mulighet for å drive aktiv formidling uten at det som skrives først blir vinklet av journalister.

Brookhavens forhold til lokalbefolkningen

Denne situasjonen oppstod på et maksimalt uheldig tidspunkt. I tillegg til den generelle dommedagsfrykten i forbindelse med årtusenskiftet, hadde lokalbefolkningen lenge vært skeptiske til laboratoriet. BRNL har to forskningsreaktorer som er plassert rett over Long Islands grunnvann. For snart 3 år siden ble det oppdaget at det hadde vært sluppet ut tritium i elven som renner gjennom laboratoriets område.[8] Og hvis utslippene kunne nå elven, mente mange med rette at det ikke var noen garanti for at også grunnvannet kunne være blitt forurenset. Lokalbefolkningen ga BRNL skylden for at det i nærområdet var registrert 19 tilfeller av en sjelden krefttype. Det hjalp ikke at et uavhengig panel utnevnt av "The Suffolk County Legislature", og ledet av en eminent epidemiolog, ikke fant det bevist at utslippene fra laboratoriet kunne være årsak til opphopning av kreft. Ingen økning i antall krefttilfeller nær BRNL ble funnet, heller ikke noen økning i den sjeldne krefttypen. Men rundt lab-en spredte rykter seg om sammensvergelser. Da hjalp det ikke at dr. Hallmann med 11 andre vitenskapsmenn ved prosjektet, var opplært i kunsten å kommunisere. De hevdet at alt var trygt, og "stol på oss", men folk bare fnyste. Dette hadde de hørt før, og det hadde vist seg å være feil. "De sier at dette monsteret er trygt. Men hva sier de om 20 år?" spør en skeptisk nabo.[8] Med slike sterke motforestillinger og frykt til stede rundt laboratoriet, blandet med en liten porsjon generell mistillit til vitenskap, hadde BRNL et problem allerede før skrekkscenariene med sorte hull oppstod. Storm rundt gamle og ubetydelige utslipp er heller ikke ukjent i Norge.

Da det ble funnet radioaktive stoffer i elven, ble hele BRNLs ledelse sparket. Universitetene som hadde drevet laboratoriet siden det åpnet for 50 år siden, ble byttet ut med nye universiteter. Sikkerheten ble skjerpet, og institusjonen lever nå med trusselen om stengning. Eksperimentene med RHIC er imidlertid ikke avhengige av reaktorene, og er derfor mindre utsatt.

Generell mistillit til forskere?

I dette tilfellet ga de tidligere utslippene av radioaktivitet grobunn for mistillit til laboratoriets forskere. Men mistillit til forskere kan være irrasjonell og uberettiget. Skillet mellom vitenskap og anvendelse av vitenskap overses. Forskning skaper muligheter, mens utnyttelsen av mulighetene ofte er styrt av økonomiske og politiske interesser. Det finnes mange eksempler på at advarsler fra forskere ikke er blitt hørt, eller at føre var-prinsippet er blitt tilsidesatt; men allikevel har slike hendelser gitt grobunn for mistillit.

For å bygge opp tillit til forskerne hos befolkningen, er det viktig ikke bare å formidle. Det er også viktig å velge den rette tid for informasjon. Når informasjon fremtvinges på etterskudd styrkes mistanken om hemmelighetskremmeri.

Habiliteten til dem som uttaler seg er også vik-

tig. En får større tillit til en forsker eller institusjon som ikke har økonomiske interresser eller prestisje i et prosjekt. Tillit styrkes dersom man benytter uavhengig, høy faglig kompetanse til å vurdere en eventuell risiko og de skrekkscenarier som måtte dukke opp. Man må likevel ikke gå for langt og definere forskere som inhabile fordi de er forskere.

Referanser

1. *Nuclear Physics, the core of matter, the fuel of stars.* National Academic Press, Washington D.C., 1999
2. Leake, Jonathan, Science Editor: *Big Bang machine could destroy Earth.* The sunday times of London, July 18, 1999
3. Onion, Amanda: *Strange matter Physicists May Bring About the End of the Univers, But Probably Not.* Fox News Online, August 23, 1999
4. Herbjørnsrud, Dag: *Når mennesket leker Gud.* Aftenposten 15. desember 1999
5. Suplee, Curt: *Scare Stories and Mysteries of Quarky Behavior.* Washington Post, September 13, 1999
6. Busza, W., R.L. Jaffe, J. Sandweiss, and F. Wilczek: *Rewiew of Speculative Disaster Scenarios at RHIC.* Preprint hep-ph/9910333 September 28, 1999. http://rhip.phys.utk.edu /rhip/RHICNews/BNL-rhicreport.pdf
7. Moody, Fred: *Atlas Shrugs.* ABCNEWS internettside http://abcnews.go.com/sections/tech/FredMoody/moody.current.html
8. LeDuff, Charlie: *Brookhaven tries to Allay Concerns About Research.* New York Times Metro section, April 8, 1999

∞

Fysikk i Skolen

Fysikk i Norge og i noen EU-land

Læreplaner oppfatter vi vanligvis som de dokumentene som forteller oss hva elever eller studenter skal lære. I læreplanteori, og i større internasjonale komparative undersøkelser, deles ofte læreplaner inn i tre nivåer:(1)

- *den intenderte læreplanen* som vi finner i de skriftlige dokumentene som myndighetene utarbeider og som uttrykker målene for undervisningen
- *den implementerte læreplanen* som vi finner i lærebøker, lærernes undervisning – kort sagt det som foregår i klasserommet
- *den oppnådde eller resulterte læreplanen* er det som elevene sitter igjen med etter å ha vært utsatt for lærebøker og lærere, m.a.o. elevenes utbytte av undervisningen

I denne artikkelen vil vi kort referere en komparativ undersøkelse som er foretatt innenfor noen EU-land i 1998/99. Vi kommer til å konsentrere oss om den intenderte læreplanen og prøve å plassere skolefysikken i Norge (2FY og 3FY) inn i denne undersøkelsen, og gjøre oss noen refleksjoner omkring den intenderte læreplanen. De resultatene som foreløpig er kommet fram i massemedia omkring TIMSS-undersøkelsen (The Third International Mathematics and Science Study) tar for seg den oppnådde læreplanen, selv om denne undersøkelsen også inneholder de andre nivåene i læreplanene. På TIMSS-testen skåret norske fysikkelever høyest av alle de 16 landene som deltok. Imidlertid viste undersøkelsen også at forholdsvis få elever velger fysikk på høyeste nivå, og at jenteandelen blant fysikkelevene i Norge er spesielt lav.(2)

Alle land gir en mer eller mindre detaljert beskrivelse av den intenderte læreplanen, i hvert fall når det gjelder innholdskomponentene, men det viser seg å være ganske store forskjeller i måten fysikkinnholdet *beskrives* på. Poul V. Thomsen har laget en sammenligning av målene for fysikkundervisningen i videregående skole i noen EU-land.(3)

Vi har vurdert de overordnete målene i den intenderte læreplanen i Norge og plassert disse resultatene inn i tabellen for å plassere norsk skolefysikk i dette perspektivet. Analysen har tatt utgangspunkt i temaer/områder som er framhevet i de enkelte lands intenderte planer for fysikkfaget.

	DK	EN	FI	FR	NL	SC	NO
Lære fysikk	+	+	+	+	+	+	+
Utvikle egne evner		+		(+)	+	(+)	(+)
Fremme interesse		+			+	+	(+)
Samfunnsaspekter	+	+	+	+	+		+
Dagliglivet	+		+	+	+		+
Kultur	+		+	+			+
Fremtidig jobb				+	+		
STS	+	+	+	(+)	+		+
Historisk/filosofisk fysikk	+		(+)	+	(+)		+
Fysikk og miljø	+	+	+				+
Tverrfaglighet			(+)	+			
IKT	+	(+)	(+)	(+)	+		+

Tabell 1. Sammenligning av mål i intenderte læreplaner: + = klart formulert, (+) = vagt formulert (DK = Danmark, EN = England, FI = Finland, FR = Frankrike, NL = Nederland, SK = Skottland, NO = Norge, STS = Science Technology Society).

Ikke uventet er det å lære fysikk et sentralt mål i alle land. I Norge er f.eks. det første felles mål for skolefysikken: Elevene skal kunne bruke sentrale lover i fysikken og kunne forstå fagets eksperimentelle natur. Men når det gjelder andre aspekter ved fysikkfaget i skolen, er det ganske store variasjoner. Dessuten er læreplanene svært forskjellig formulert. I Danmark f.eks., er bare emnene listet opp uten at det er angitt noe om læringsmetoder eller hva elevene skal kunne etter kurset. Norge, England, Nederland og Skottland er eksempler på land med målformulerte læreplaner. Her blir det lagt vekt på hva elevene skal kunne etter å ha gjennomgått kurset.

Norge framstår i denne sammenligningen som et land med et ganske vidt perspektiv på fysikkfaget. Skottland representer den andre ytterligheten med liten vekt på andre aspekter enn de rent fysikkfaglige. Nå skal vi imidlertid være klar over at formuleringer i en læreplan ikke er det samme som at det faktisk blir lagt vekt på dette i undervisningen (den implementerte læreplanen). For eksempel er det ikke sikkert at et vidt perspektiv på faget i læreplanen gjenspeiles i oppgaver som gis til eksamen. Eksamenstradisjonen vil i mange tilfeller være mer styrende for et fag enn den intenderte læreplanen.

Det nevnte dokumentet om fysikkfaget i noen EU-land, oppsummerer resultatene av undersøkelsen med noen anbefalinger for videre utvikling av faget i skolen. To av anbefalingene refereres nedenfor, fordi de sier noe som har konsekvenser for utformingen av faget og fysikkplanene i skoleverket.

- *Lowering the standards of the intended curriculum in physics may lead to increasing standards on the attained curriculum, i.e. if physics syllabuses are reduced somewhat in content and level, students' attainment levels may rise.*
- *A variety of physics courses is required in upper secondary school. The physics curriculum should be not only an education "in physics" but also an education "about physics".*

Det er et viktig spørsmål om ikke vi i Norge også bør vurdere om fysikkplanen i videregående skole er for overlesset. Det blir liten tid til fordypning og til å arbeide eksperimentelt på en måte som gir mening. Elevene og lærerne opplever tidspresset for å komme gjennom læreplanen (les: læreboka). Men vi vet fra tidligere undersøkelser at lærere har problemer med å foreslå noe fjernet fra læreplanen, men at det er lett å føye emner til. Ved neste revisjon vil disse problemstillingene sikkert være sentrale.

Skolefysikken i Norge har i følge læreplanen en vid målsetting. På den ene siden skal fysikken være et "hardt" realfag der evnen til presise matematiske formuleringer av fysiske problemstillinger er viktig, og på den andre siden et fag av mer kvalitativ karakter som skal gi grunnlag for naturvitenskapelige oppfatninger og meninger for delaktighet i samfunnet. Sagt på en litt annen måte, så har vi med to kryssende oppfatninger av hva som er viktig i en moderne allmennutdanning i fysikk å gjøre. Den ene oppfatningen legger vekt på at fysikk er et orienteringsfag som formidler kunnskaper av stor samfunnsmessig og kulturell betydning. Et slikt synspunkt fører til sterk vektlegging av sammensatte og kompliserte temaer som f.eks. energiproblematikk, stråling og helse, og kosmologi. Med en slik vinkling blir faget i stor grad et deskriptivt fag.

Den andre oppfatningen er at skolefysikken skal gi en innføring i fysikk som fagdisiplin og som et metodefag. Med et slikt utgangspunkt er det naturlig å legge større vekt på de grunnleggende deler av fysikken som mekanikk, termodynamikk og elektromagnetisme, og fysikkens eksperimentelle grunnlag. Dette er viktig for dem som får bruk for fysikk seinere i sin utdanning. Imidlertid er det også viktig som en del av en allmenndannelse.

Et fysikkfag som ensidig legger vekt på presise matematiske formuleringer, mister lett viktige sider som er betont i læreplanen, som det historiske perspektivet, hverdagsrelevansen og undringsaspektet. Fysikkfaget bør stimulere elevenes evne til å undre seg over ting de ser. Elevene bør også få øvelse i å formulere problemstillinger og hypoteser som så kan testes ut eksperimentelt eller teoretisk. Men det er en tidkrevende undervisningsform. En instrumentell forståelse i fysikk knyttet til formelapparatet, er ikke tilstrekkelig verken til å forstå eller ha glede av fysikk.

Referanser

1. Robitaille et al.: *TIMSS Monograph no 1: Curriculum frameworks for Mathematics and Science.* (1993)
2. Carl Angell m.fl.: *Hva i all verden skjer i realfagene i videregående skole?* Universitetsforlaget (1999)
3. *Attainment in Physics.* Proceedings of the Colloquium on Attainment in Physics at 16+, University College Cork, Ireland (1998)

Carl Angell og Anders Isnes
Fysisk institutt og ILS, UiO

∞

Bokkronikk

Olav Njølstad: Strålende forskning. Institutt for energiteknikk 1948–1998. Tano Aschehoug, 1999 (587 sider), 248 kr.

Jubileumsbok og forskningshistorie

Dette er ikke bare et festskrift. Det er en omhyggelig presentasjon av virksomheten ved IFA, Institutt for atomenergi eller, fra 1980, IFE, Institutt for energiteknikk. Det er også en beretning om utviklingen i anvendt fysisk forskning generelt i tiden etter 2. verdenskrig. IFE er antagelig det forskningsinstitutt som best viser forandringene innen anvendt forskning i de siste 55 årene. Derfor har boka interesse for andre enn dem som har vært knyttet til instituttet. Beretningen om hvorledes det ble til og har fornyet seg, er nesten utrolig.

IFA var et samarbeidsprosjekt som Forsvarsdepartementet, NTNF, Chr. Michelsens Institutt og Norsk Hydro startet 1. jan. 1948. Boka har heldigvis også med seg forhistorien, som – sett med det tidsperspektiv vi i dag har på planlegging og oppstart av nye prosjekter – var utrolig kort. Sommeren 1945 ble Gunnar Randers formann i Forsvarets overkommandos atomutvalg og fikk Odd Dahl med seg i utvalget. Da Randers presenterte sine vyer om atomenergiens og atomvåpnenes betydning i framtida for daværende forsvarsminister Jens Chr. Hauge, begynte hjulene å rulle. Disse dynamiske personene tilpasset sine planer og påvirket eller manipulerte sine motstandere slik at planene ble realisert. Om det viktigste målet var å trygge Norges fremtid ved hjelp av atomvåpen eller å delta i byggingen av fremtidens viktigste energikilde, er usikkert. Fra begynnelsen ser hovedargumentet ut til å ha vært våpenproduksjon, og Forsvarsdepartementet ble den første oppdragsgiveren. Senere ble det klart at argumentet om kjerneenergi hadde større gjennomslagskraft.

Særlig fra universitetshold ble det reist atskillig kritikk mot prosjektet fordi det ville gi grunnlag for produksjon av kjernevåpen, men også fordi det syntes for krevende for et land med så små resurser som Norge, og at det ville føre til at grunnforskningen ble skadelidende.

Men de dynamiske personene lot seg ikke stanse av akademiske diskusjoner. For å skaffe seg nødvendig støtte, gav Randers, som var blitt sjef for fysikkavdelingen ved Forsvarets forskningsinstitutt, etter hvert avkall på tilknytningen til forsvaret. For å dempe motstanden fra universitetshold, foreslo Jens Chr. Hauge å overføre atomprosjektet fra sitt departement til det nyopprettede NTNF. Dette nedsatte sitt eget atomutvalg med sterk representasjon av universitetsfolk. Selv om Randers ikke var glad for utviklingen, forsto han å utnytte situasjonen og overkjørte til en viss grad utvalgsmedlemmene. I løpet av tre år fikk han godkjent et prosjekt om et institutt for atomenergi med en prisramme på 5 Mkr og en tidsramme på 4–5 år, uten at det var på langt nær så ferdig utredet som motstanderne hadde krevd.

Det ble nedsatt en byggekomité med Randers som formann. Odd Dahl, som var medlem av Chr. Michelsens Institutt og nøt stor anseelse for sin evne til å utvikle nye apparater og instrumenter, ble nestformann med ansvar for konstruksjonen. Også skeptikerne, professorene H. Wergeland og R. Tangen, ble medlemmer av komiteen.

Når en sammenlikner med hva det i vår tid kreves av utredningsarbeid og dokumentasjon, er det utrolig at prosjektet ble godkjent. Hverken reaktortype eller beliggenhet var fastlagt, og tilgang på uranbrensel var ikke sikret. Byggeårene ble for Randers en ukuelig kamp for å nå fram. Beliggenheten på Kjeller ble bestemt da Wergeland og Tangen, som begge ønsket at et eventuelt anlegg skulle ha så nær tilknytning til Universitetet som mulig, var på en studietur til USA. Forsøk på norsk uranproduksjon mislyktes. Det samme gjorde forsøk på å få uran ved internasjonal hjelp. Først i mars 1951 ble avtalen om å samarbeide med Nederland og å få uran derfra, undertegnet. Åtte måneder senere ble reaktoren åpnet. Det var en teknisk bragd, den første forskningsreaktor bygget utenfor atommaktenes område og med minimal bistand fra disse.

Randers var før åpningen tilsatt som direktør for IFA, og hans lederstil kom til å prege de neste årene. Han fikk etablert avdelingene for utnyttelse av reaktoren til isotopproduksjon og grunnforskning, og så fram mot at Norge skulle få sine første kjerneenergiverk. Et første ledd i den utviklingen var planleggingen av skipsreaktorer. I 1958 ble A/S Rederiatom med eiere fra shippingkretser, stiftet. Da regnet man med å ha konkurransedyktige reaktordrevne skip i løpet av 10–12 år. I 1961 ble prosjektet skrinlagt. Det ble gjort forsøk på å etablere et skandinavisk samarbeid med betegnelsen Scanatom, og spesielt med henblikk på å hjelpe u-land med å ta i bruk kjernekraft, en av Randers' store visjoner.

Men forsøk på avtaler med Pakistan og Egypt om bygging av reaktorer, måtte stanses på grunn av manglende støtte fra både svensk og norsk utenriksdepartement. Hele Scanatomprosjektet strandet. Det samme gjorde noen år senere et forsøk på samarbeid med svenskene om bygging av kjerneenergiverk. Som ved de fleste slike forsøk, krevde svenskene å dominere, og det passet ikke Randers.

IFAs mest vellykkede foretagende i denne perioden var byggingen av Haldenreaktoren, Norges eneste forsøk på å bygge energiproduserende reaktorer. Den energiproduksjonen som var forespeilet, ble bagatellmessig, men det ble utviklet viktig ekspertise i forbindelse både med reaktorsikkerhet og drift, senere også med generell kontroll- og styringsteknikk, og det ble et betydelig internasjonalt samarbeidsforetagende med økonomisk støtte fra en rekke land. Også to andre reaktorer ble bygget. Forskningsreaktoren NORA hadde begrenset betydning i forbindelse med det internasjonale samarbeidet om reaktorutvikling, og ble nedlagt i 1967 etter seks års drift. Den første reaktoren JEEP I, hadde tjent sin tid ut og ble i 1966 erstattet med JEEP II etter en planleggings- og byggeperiode på 6 år.

Spørsmålet om sikkerhet og strålevern ble tidlig aktualisert ved IFA. Den generelle holdningen var at dette var instituttets eget ansvar, og at det var der den største ekspertisen på feltet fantes. Instituttet investerte betydelige mengder både av personell og utstyr, og forberedte seg på å få ansvaret for sikkerhet ved fremtidens kjernekraftverk. Da regjeringen i 1955 oppnevnte et utvalg som skulle utarbeide et forslag til norsk atomlov, mente formannen for utvalget, J. Chr. Hauge, at det var et arbeid som ikke hastet fordi det kunne gripe inn i Randers' kreative arbeid. Han hadde full tillit til de sikkerhetsprosedyrene som foregikk på IFA. Først i 1966 kom det en innstilling hvor det ble foreslått et eget statlig atomtilsyn for planlegging, oppføring og drift av kjernekraftverk. Flertallet av utvalget mente at IFA skulle fungere som sekretariat for utvalget. Mindretallet ønsket ikke noe eget utvalg. Departementet kunne innhente uttalelser fra eksisterende organer. IFA måtte ikke bli en bukk som skulle passe havresekken. IFA støttet flertallet, men i 1970 foreslo industriminister Finn Lied, som ellers vanligvis opptrådte som en av Randers' beste støttespillere, at det skulle opprettes et eget utvalg uten tilknytning til IFA, noe som Stortinget sluttet seg til. IFA mistet dermed noe av den innflytelsen Randers hadde ønsket instituttet skulle ha.

I midten av 1960-årene var den ekspansive perioden for IFA over. Vel var troen på kjerneenergi som energien for fremtiden, fremdeles til stede, og det var stor forståelse for at Norge måtte ha en viss ekspertise på området selv om man ikke regnet med norskbygde energiverk. Dessuten var radioisotopproduksjonen viktig for medisinsk diagnose. Det var også kommet igang en betydelig forskningsaktivitet i grunnforskning innen faststoffysikk, mens forsøkene på å få et kjernefysisk forskningsmiljø tidlig hadde stoppet opp. Kjernefysikerne som var ansatt i den tidligste perioden, hadde etter hvert sluttet eller gått over i annen virksomhet ved instituttet.

Inntil da var instituttet i det vesentlige drevet ved bevilgninger fra staten gjennom NTNF. Men NTNF så det som sin oppgave å støtte forskningsvirksomheter som etter hvert ville bli selvfinansierende, og inntjeningen ved IFA i de årene som var gått, hadde vært minimal. Det ble vanskelig for IFA å få godkjent sine budsjetter. Randers' interesser rettet seg samtidig mot internasjonale forhold. Han ble i 1968 engasjert for en toårsperiode som visegeneralsekretær i NATO. Viking Olver Eriksen, som hadde vært assisterende direktør siden 1965, ble konstituert som administrerende direktør. Da Randers to år senere søkte om forlenget permisjon, ble dette ikke innvilget. Tiden for ekspansiv dynamisk ledelse var over. Randers sa opp stillingen, og Eriksen ble tilsatt. Han var på mange måter Randers' motpol: reflektert, vurderende og forsiktig. Han satte i gang en vurdering av hvilke virksomheter som kunne utvikles til å bli økonomisk lønnsomme, og foreslo nedleggelse av de øvrige. Helsevesenet var avhengig av radioisotopene, og produksjon var lønnsom når en så bort fra kostnadene til reaktordrift. Grunnforskningen innen faststoffysikk gav ingen inntekter, men var fra store deler av det norske fysikkmiljøet regnet å være av slik kvalitet at det ville være meningsløst å nedlegge den, og den hadde sin basis i eksperimenter ved reaktoren på Kjeller. Reaksjonen mot forslag fra styret om nedleggelse førte til at Olje- og energidepartementet i en årrekke støttet denne virksomheten ved egne bevilgninger etter forgjeves å ha forsøkt å overføre ansvaret til Kultur og vitenskapsdepartementet. Miljøet rundt Haldenreaktoren hadde vist sin levedyktighet ved i økt utstrekning å samarbeide med industrien om datateknikk og prosesskontroll. Kjemisk utstyr for rensing og viderebehandling av reaktormateriale ble tatt i bruk for annen metallurgisk virksomhet. Da det i 1975 ble fattet vedtak om at bygging av kjerneenergiverk ikke var realistisk i Norge i over-

skuelig fremtid, var IFA langt på vei til økonomisk å stå på egne ben. I 1980 ble omleggingen stadfestet ved at Regjeringen godkjente nytt navn og nye statutter.

Omstillingen førte likevel til problemer ved IFE. Eriksen hadde tatt konsekvensene av vedtaket om at Norge ikke skulle basere seg på bruk av kjerneenergi, og hadde ikke markert seg som noen aktiv motstander mot vedtaket. Hans lederstil var uvant og ble av noen oppfattet som for passiv, til tross for at institutt hadde kommet vellykket gjennom en alvorlig krise. Kritikken fra de ansatte ble etter hvert så frustrerende for direktøren at han i 1982 sa opp sin stilling. Alt før han sluttet, hadde nok kritikken dempet seg. Den nye direktøren N.G. Aamodt, og J.O. Berg, som alt var tilsatt som teknisk direktør, utgjorde et lederteam som førte omstillingen videre. IFE fremstod som et institutt med stor ekspertise på en rekke områder.

Også i de siste 15–20 årene er det funnet sted omstruktureringer og nyorienteringer ved IFE. Men spørsmålet om dets plass i norsk industriell forskning er ikke lenger diskutert. Tilpassingen gir IFE grunn til å se på framtida med optimisme. Likevel må vel instituttet, etter at det har hevdet hvor nødvendig Haldenreaktoren er for å holde virksomheten der i gang og har fått konsesjonen til å drive den i nye 10 år, snart innse at også den har tjent sin tid ut.

Boka gir en detaljert fremstilling av IFEs historie. Den behandler utførlig både kriser, kritikk og konflikter. Den gir ikke noe idealisert bilde verken av instituttet eller omverdenen. Forfatteren tar for seg forholdet omkring ulykker som har forekommet og den kritikk som har vært reist mot instituttet for manglende sikkerhetsprosedyrer. Han forsvarer stort sett IFEs politikk, også bruken av Haldenreaktoren. Oppslagene i fjor om utslipp og lekkasjer av radioaktivt avfall, er kommet etter at boka var ferdig. Det kan bli interessant å se resultatene av de undersøkelser som nå pågår, men det er neppe grunn til å tro at disse utslippene representerer vesentlig større fare enn de som det er redegjort for i boka. Kritikken kommer vel nå som tidligere fra hold som ikke har kunnskaper nok eller er uvillige til å godta de faktiske forhold.

Kan en trekke noen lærdom av boka? Den viser at det før som nå med list, lempe og tilstrekkelig entusiasme, er mulig å nå fram med sine planer, selv om demokratiske spilleregler kan gjøre det vanskelig. Den viser hvor vanskelig det er å endre planer og mål og få allmenn konsens for det, selv om det er tydelig at den opprinnelige planen leder mot et stup. Den viser hvor forskjellig framtiden blir fra det man tror den vil bli, og hvor viktig det er å tilpasse seg en ny tid og nye forhold. En absolutt lesverdig bok.

Trygve Holtebekk

∞

Hva skjer

Nytt realfagbygg i Trondheim

Universitetsfysikken i Trondheim samles nå i NTNUs nye realfagbygg. Dette ligger på sørsiden av Gløshaugen, på det platået der det som før het NTH, ligger. Bygget dekker en flate på 100 x 170 m, og er i opptil 9 etasjer. Det er med sine ca. 60 000 kvadratmeter brutto det største enkeltbygg i Midt-Norge. Det inneholder ca. 2000 rom, og over halvdelen av arealet er laboratorier. Her vil ca. 2500 studenter og 400 ansatte få sin arbeidsplass. Prisen er ca. 1300 millioner kroner.

Innflyttingen startet i januar i år, og dermed er det satt punktum for en lang og tidvis kontroversiell diskusjon om realfagenes plassering. Delingen startet da de frie realfagstudiene ble opprettet ved Norges Lærerhøgskole tidlig i 60-årene, og toppet seg i 70-årene ved planer om en omfattende realfagsutbygging på Dragvoll. Senere kom en på bedre tanker, og i dag er de aller fleste glade for at fagene blir samlet både organisatorisk og geografisk. Fysikerne kan nå ta i bruk nye og gode lokaler, og det betyr at de kan ønske både sivilingeniør- og cand.scient.-studenter velkommen til et bredt

fagmiljø i trivelige omgivelser. Hovedtyngden av NTNUs teknisk-naturvitenskapelige miljø er nå samlet på en kompakt og sentralt beliggende campus, med de fordeler som nærkontakt med kolleger både i egne og andre fag kan gi.

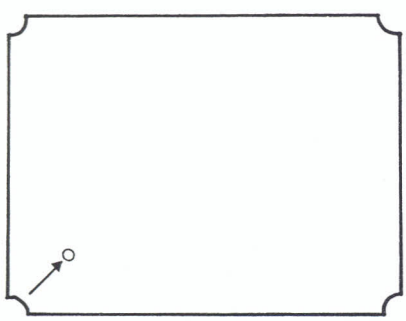
Kjell Mork

∞

Trim i FFV

FFVT 2/00

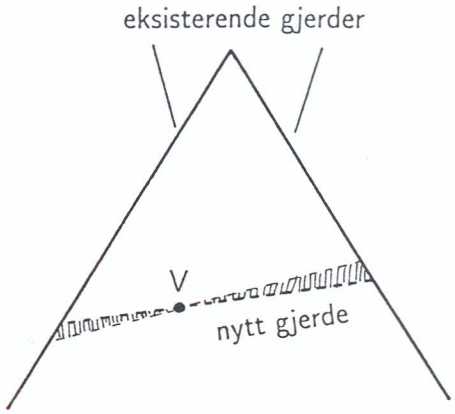
Et noe ukonvensjonelt biljardbord med lengde 3,60 og bredde 2,80 m, har et lite hull i hvert hjørne. En biljardball startes som figuren viser nær det nederste venstre hullet under 45° med sidene. Bordet antas å være fullstendig friksjonsløst, og kollisjonene med vantet er fullstendig elastiske. Vil ballen fortsette i all evighet, eller vil den havne i et av hullene? Og i så fall i hvilket hull?



Løsning FFVT 1/00

a) Bonden Kark skulle sette opp et rettlinjet gjerde G gjennom vanningstedet V slik at naboen Tormod med beiterett i det indre trekantede arealet, skulle kunne benytte *minst mulig* av jorda.

Dersom avstandene fra vanningstedet langs G ut til de eksisterende gjerdene er ulike lange, kan en alltid minske det indre arealet ved å dreie gjerdet G en liten vinkel (se figur), for arealet som tapes ved den lange delen av G er større enn arealøkningen ved den korte delen av G. Altså blir arealet som blir tilgjengelig for Tormod minimalt når Kark setter opp gjerdet slik at vanningstedet V blir liggende *midt på* gjerdet G.



b) Tre personer som spiller tre omganger av et spill vinner alle like mange ganger. I hver omgang er det én taper og to vinnere, og spillereglene tilsier at taperen må fordoble hver vinners pengebeholdning. Etter tredje omgang har alle spillerne 8 kr hver, og det ble spurt etter startbeløpene.

Det er hele tiden 24 kr i omløp, og det er enkelt å resonnere bakover: Etter andre omgang må to av spillerne sitte igjen med 4 kr hver, og den tredje (taperen av tredje omgang) derfor med 16 kr. Vinnerne av andre omgang må på forhånd ha sittet med 8 kr og 2 kr, og tredjemann derfor med 14 kr. Vinnerne av første omgang må ha startet med 4 kr og 7 kr, og taperen av første omgang derfor med 13 kr. Startbeløpene var altså 4, 7 og 13 kr. (Og den mest kapitalsterke taper i hver omgang.)

∞

Sommernøtter

Mange tar turen til kysten eller til et innlandsvann i ferien, og hvorfor da ikke kose seg litt med fysikk på gamlemåten, uten PC og kostbare instrumenter. Her kommer et par små "nøtter" som går ut på å bestemme jordradien med enkle midler. Oppgavene presenteres etter å ha blitt inspirert av boka "Atomet og eplet" av Michael Baziljevich (omtalt i FFV 3/99), der en liknende oppgave er presentert.

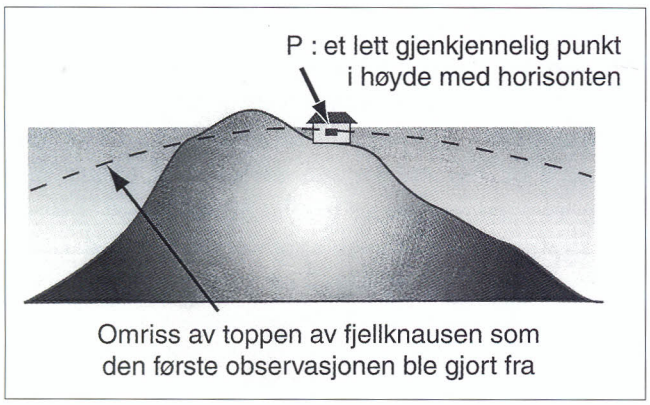
1. Stille innlandsvann

Jeg bader årlig i Kilevann nær Skien og nyter omgivelsene. En hvit pram ligger vanligvis på motsatt side av vannet, om lag en kilometer borte. Der oppdaget jeg at båten ble borte når jeg dukket så langt ned i vannet at øynene bare var noen få millimeter over vannspeilet. Ved å bruke en liten linjal med millimeterskala for å bestemme øyenhøyden over

vannet idet prammen forsvant, og ved å bestemme hvor høyt øvre del av prammen lå over vannflaten, og dertil måle avstanden mellom meg og prammen ut fra et vanlig kart, kunne jeg beregne radius til jordkloden! *Gjør eksperimentet selv, og finn fram til hvordan du kan regne ut jordradien.*

2. Fjelltopper nær havets horisont

Tidlig i vår vanket jeg på de ytterste steinknausene på Eigerøy utenfor Egersund, der havet utgjør over 200 grader av horisonten. En dag jeg var oppom en liten fjellknaus, om lag 50 meter over havet, så jeg over et sund til en annen liten fjellknaus. Den stakk litt over havets horisont, som vist på figuren. Jeg la merke til et spesielt punkt P som lå akkurat i horisonten når jeg hadde øynene i flukt med det høyeste punktet på knausen jeg stod på.



Neste dag gikk jeg til den andre knausen og kikket tilbake på den første, og ble overrasket! Jeg spaserte litt rundt omkring på fjellknausen slik at øynene kom opp til 3 m høyere og ned til 3 m lavere enn punktet P. Ut fra enkle observasjoner av den andre fjellknausen i forhold til horisonten, samt en måling av øyenhøyden i forhold til punktet P, kunne jeg bestemme jordradien.

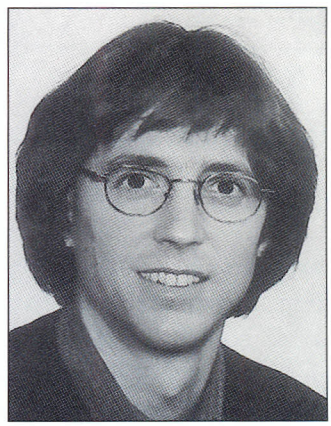
Det hører med til historien at jeg ut fra observasjoner av Eigerøy fyr like ved, og data om denne, kunne bestemme at punktet P er om lag 54 ± 5 m over havet. Avstanden mellom de to knausene er 700 ± 50 m (lest av et kart). *Hvorfor tror du jeg ble overrasket? Kan du vise hvordan utregningen blir?*

Send svar på oppgavene før 20. august til: Arnt Inge Vistnes, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo (evt. *a.i.vistnes@fys.uio.no*). Det blir trukket ut en vinner blant dem som har skissert minst én korrekt fremgangsmåte, og vinneren får en liten overraskelse i posten. Løsning kommer på mine websider *(www.fys.uio.no/~arntvi)* og i FFV 3/00. Lykke til!

∞

Nye Doktorer

Eyvind Aker



Cand.scient. Eyvind Aker disputerte 26. februar for graden dr.ing. ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *A numerical study of capillary and viscous drainage in porous media.*

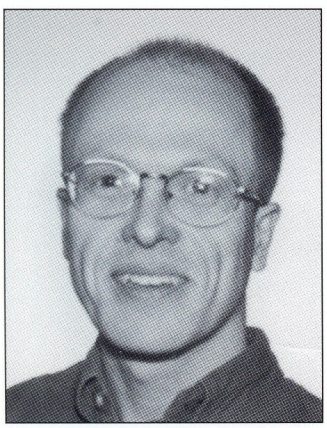
Et porøst medium kan bestå av sand og jord som væske kan strømme igjennom. Aker har sett på strømningsegenskapene til væsker i liten skala der hver enkelt pore og kanal inngår i beskrivelsen. Han har utviklet et program som simulerer fortrengning av f.eks. vann med olje i et todimensjonalt gitter av porer og kanaler. Programmet beregner væsketrykket i hver enkelt pore, og dette har gitt ny forståelse av hvordan trykket i væskene oppfører seg under fortrengningen. Resultatene har ført til at dagens beskrivelse av væsketrykkene må revurderes. Resultatet av simuleringene samsvarer godt med tilsvarende som er gjort ved Fysisk insitutt, Universitetet i Oslo.

Akers doktorgradsarbeid vil bedre forståelsen av de grunnleggende fysiske mekanismene som styrer væskestrømmen gjennom porer og kanaler i porøse medier. I en større sammenheng vil arbeidet øke bevisstheten om at væskers strømningsegenskaper gjennom porer og kanaler kan være avgjørende for hvordan væsker oppfører seg i store porøse medier som olje- og grunnvannsreservoarer.

Arbeidet er hovedsakelig utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Alex Hansen som hovedveileder, og delvis ved Fysisk institutt, UiO, med professor Knut Jørgen Måløy som medveileder. Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd.

∞

Gunnar Arisholm



Cand.scient. Gunnar Arisholm forsvarte 5. april avhandlingen *Numerical modelling of optical parametric frequency conversion and self-focusing* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

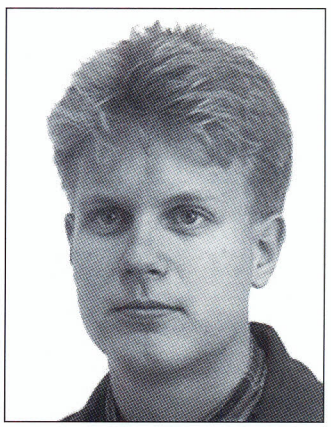
Optiske parametriske oscillatorer (OPOer) kan konvertere laserstråling fra en bølgelengde til en annen. De har anvendelser i militære systemer, miljøovervåkning og forskning der det er behov for lys med bølgelengder som ikke kan genereres direkte.

Gunnar Arisholm har utviklet en simuleringsmodell for OPOer og testet den ved laboratorieforsøk. Det har vist seg at modellen både kan være et verktøy for å konstruere OPOer med bedre ytelse og et hjelpemiddel til å forstå den grunnleggende fysikken bedre. Modellen er blitt brukt til å vise at i OPOer som arbeider med korte pulser, kan kvantemekaniske støyeffekter forårsake store variasjoner i strålingen. Modellen er også blitt brukt til å studere hvordan noen OPOer kan generere stråling med ulike bølgelengder i forskjellige deler av strålen, og flere mulige løsninger på dette er funnet.

I lasersystemer er det ofte et problem at de intense strålene kan skade de optiske komponentene. Faren for skader økes av såkalt selvfokusering, som innebærer at en intens laserstråle påvirker mediet den passerer gjennom slik at mediet virker som en linse som gjør strålen enda mer intens. Arisholms modell har bidratt til å finne en ny mekanisme for selvfokusering i OPOer som kan tas hensyn til ved konstruksjonen. En modell for selvfokusering i lasere er blitt utviklet, og denne er også blitt testet ved laboratorieforsøk. Arisholm er ansatt ved Forsvarets forskningsinstitutt, Avd. for elektronikk, og arbeidet er utført som en del av instituttets prosjekter innenfor laserfysikk.

∞

Jostein Dahle



Sivilingeniør Jostein Dahle forsvarte 27. mars sin avhandling *Cell-to-cell Interactions in Photosensitized Inactivation of cells* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

Cellekommunikasjon er involvert ved inaktivering av celler med fotosensitiviserende stoffer i kombinasjon med lys eller langbølget ultrafiolett stråling (UVA). I doktorgradsarbeidet ble fotosensitiviserende stoffer i kombinasjon med lys (fotodynamisk behandling) brukt for å inaktivere eller skade celler via produksjon av reaktive oksygenforbindelser. Det ble vist at cellekommunikasjon har større betydning enn tidligere antatt ved fotodynamisk behandling. Cellene ble inaktivert både som en direkte effekt av behandlingen og som følge av cellekommunikasjon. UVA-stråling skader også celler via reaktive oksygenforbindelser og ga lignende resultater som fotodynamisk behandling. Doktorandens funn at kommunikasjon mellom celler er involvert i strålingsindusert celledød, er i konflikt med klassiske modeller, og har store konsekvenser for fotodynamisk behandling av kreft og for studier av cellers respons på ultrafiolett stråling.

Forsøk og matematiske modeller ble brukt for å evaluere betydningen av cellekommunikasjon ved fotodynamisk behandling og UVA-stråling. Den di-

rekte effekten av slik behandling hadde større betydning når cellene døde ved apoptose enn når de døde ved nekrose. Kommunikasjon viste seg ikke å være involvert ved fotodynamisk celleinaktivering.

Arbeidet er utført ved Avd. for biofysikk, Institutt for kreftforskning, Det Norske Radiumhospital. Johan Moan og Harald B. Steen var veiledere. Prosjektet ble finansiert av NFR. Dahle fortsetter sin forskning ved Avdeling for biofysikk.

∞

Kåre Langaas

Sivilingeniør Kåre Langaas forsvarte 17. januar 2000 sin avhandling *Modelling of immiscible two-phase flow in porous media with the binary fluid lattice Boltzmann method*, for graden dr.scient. ved Universitetet i Bergen.

Målsettingen med arbeidet har vært å øke forståelsen for samtidig strøm av to ikke-blandbare faser (f.eks. olje og vann) gjennom porøse bergarter. Slik strøm finner en bl.a. i olje- og gass-reservoarene. En forbedret forståelse gjør at en kan få mer olje og gass ut av reservoarene.

En relativt ny numerisk metode gjør det mulig å simulere ikke-blandbar tofasestrøm i poregangene i porøse bergarter. Beregningene, som er utført på en parallell superdatamaskin, viser at den midlere strømmen gjennom slike bergarter er mer komplisert enn den beskrivelsen som vanligvis benyttes.

Metoden er også blitt anvendt i et studium av selektive geler, som er et stoff som sprøytes inn og stivner i den porøse bergarten. Slike geler brukes ved oljeproduksjon for å hindre innstrømning av vann i brønnen. Studiet har gitt ny informasjon om hvordan gelen fordeler seg i poregangene og om hvordan dette påvirker olje/vann-strømmen etter en gelbehandling.

Arbeidet er utført ved RF-Rogalandsforskning, Høgskolen i Stavanger og Universitetet i Oxford. Veileder har vært prof. Paul Papatzacos, Høgskolen i Stavanger. Prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd. Kåre Langaas har vært ansatt som forsker ved RF-Rogalandsforskning siden 1993.

∞

Odd Magne Øgreid

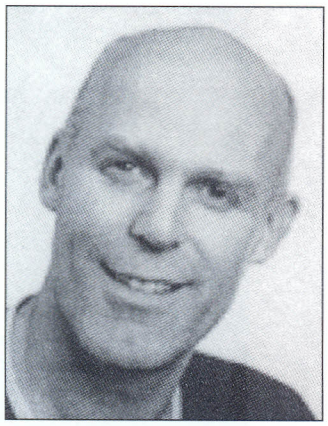
Cand.scient. Odd Magne Øgreid disputerte 8. november 1999 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlinga *Mellin Transform Approach to Double-Box Diagrams.*

For å kunne gjere nøyaktige målingar av kollisjonstverrsnitt ved LEP-akseleratoren i CERN, må ein ha god teoretisk kjennskap til spreiingstverrsnittet av elastiske elektron–positron-kollisjonar (Bhabha spreiing). Leiande bidrag og fyrsteordens korreksjonar til spreiingstverrsnittet er kjende frå før, medan andreordens korreksjonar byr på store matematiske utfordringar knytta til integral som kjem frå to-loop-diagram i kvantefeltteori. I avhandlinga er det presentert ein metode basert på matematiske Mellin-transformasjonar som gjer det mogeleg å gjennomføre desse utrekningane med høg presisjon. Ved å Mellin-transformere integrala vert det lettare å ekstrahere leiande bidrag til tverrsnittet. Den inverse Mellin-transformasjonen består deretter av kompleks konturintegrasjon som ein kan utføre ved å nytte residy-rekning. Innanfor konturen kan det i prinsippet vere uendeleg mange polar, noko som resulterer i uendelege rekkjer. Multiple integrasjonar har leia til multidimensjonale rekkjer som alle har vorte evaluerte analytisk. I arbeidet har det vorte utvikla resultat knytta til Euler-summar.

Professor Per Osland har vore rettleiar for arbeidet. Øgreid er for tida tilsett i undervisningsstilling ved Sjøkrigsskolen i Bergen.

∞

Nikolai Østgaard



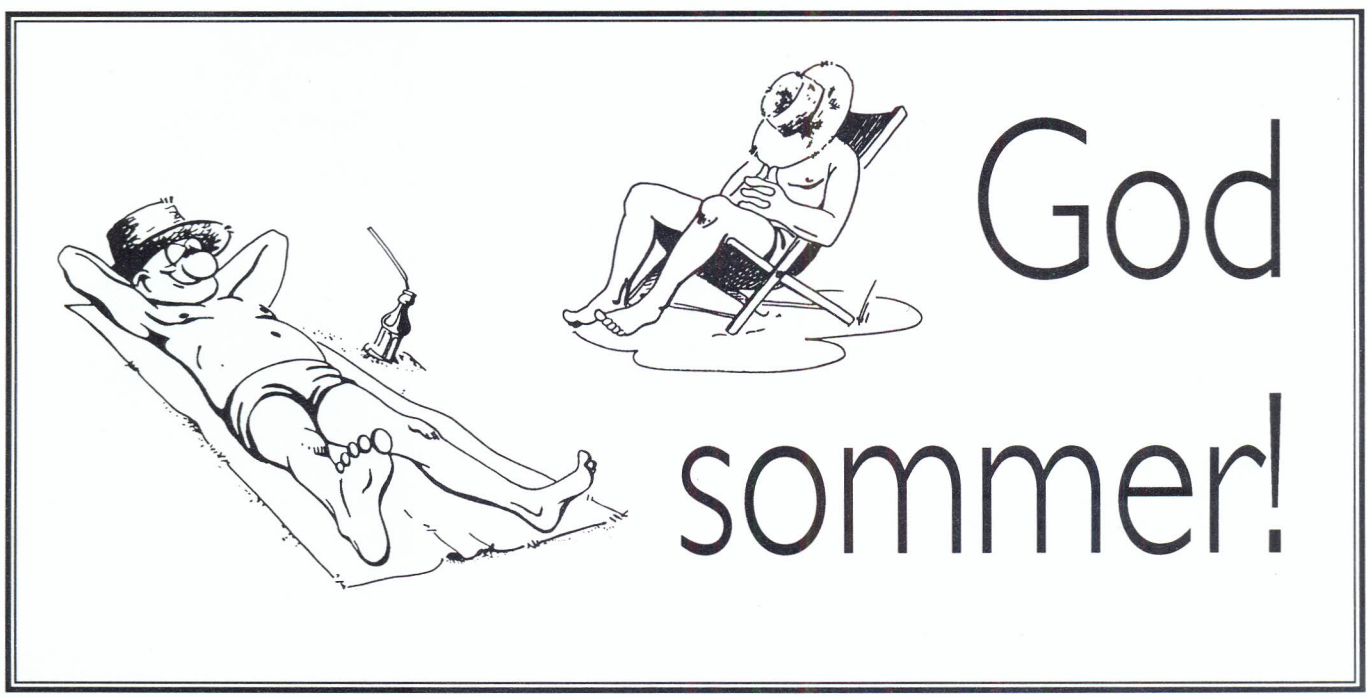
Cand.scient. Nikolai Østgaard forsvarte 3. desember 1999 sin avhandling *The dynamics of energetic electron precipitation during substorms. Utilization of the remote sensing technique of X-rays*, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen.

Avhandlingen er viet studiet av røntgennordlyset som dannes i tillegg til synlig og ultrafiolett lys i forbindelse med nordlysutbrudd. Røntgenstrålingen blir absorbert i atmosfæren og når ikke ned til jordens overflate. Fra satellitter derimot, kan røntgennordlyset avbildes og studeres. Romfysikkgruppen ved Fysisk institutt, UiB, har deltatt i utviklingen av et røntgenkamera kalt PIXIE, som flyr på NASA-satellitten Polar. PIXIE kan for første gang gi oss globale bilder av røntgenstrålingen som dannes ved nordlysutbrudd.

Nordlyset forårsakes av elektroner og protoner som bombarderer atmosfæren. Disse partiklene transporteres fra solen som 'solvind' og aksellereres i nærheten av jorden før de kolliderer med atomer og molekyler i atmosfæren. I disse kollisjonene overfører de sin energi til bl.a. fotoner med forskjellige bølgelengder. Mens synlig og ultrafiolett nordlys i hovedsak dannes av elektroner med alle slags energier, blir røntgennordlys mest effektivt dannet av elektroner med høy energi, dvs. med hastigheter fra 40 000 km/s og helt opp mot lysets hastighet. Derfor kan studiet av røntgennordlysets dynamikk gi kunnskap om de prosessene som forårsaker og styrer elektronenes aksellerasjonsprosesser i jordens nære verdensrom.

Arbeidet ble utført ved Fysisk inst., UiB, under veiledning av førsteamanuensis Johan Stadsnes, og var finansiert av Norges forskningsråd. Østgaard har nå postdoktorstipend fra forskningsrådet.

∞



C-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

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

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

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

Fra Fysikkens Verden

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

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

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

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

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