Fra Fysikkens Verden

Nr. 3 – 1999
61. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øyvind Grøn:
Universets ekspansjon 73
Arnt Inge Vistnes:
Er fysikerne fysikkens fiender? 81
Fra Redaktørene 70
In Memoriam 70
Tor Fredrik Thorsteinsen
Truls S. Ringnes
FFV Gratulerer 72
Jon Thomas Kringlebotn
Nils Fløttre
Ove Havnes
Fysikk i skolen 87
Fysikk i videregående skole
EPS prioriterer utdanning
Konferanse 89
ICPS '99
Bokomtaler 91
Nye Doktorer 95
Dr.scient. Øystein Elgarøy
Dr.scient. Lars T. F. Evensen
Dr.scient. Alv-Arne Grimstad
Dr.scient. Anette Eleonora Gunnæs
Dr.scient. Daya Jiang
Dr.scient. Ib-Rune Johansen
Dr.scient. Heidi Kjønsberg
Dr.scient. Bjørn Magne Sundal
Dr.scient. Knut Øvsthus
Trim i FFV 100
Nytt fra NFS 100
Fysikermøtet 1999
Årsmøtet 1999
Nye medlemmer

Dei norske deltakarane på ICPS '99

Bak f.v.: Erlend Nygård, Jon Egil Eriksen, Henrik Lindgaard, Knut Olav Helleseng. *Midten:* Karl Idar Gjerstad, Hans Christian Nenseth, Kjetil Kjernsmo, Amund Bjerve, Sigrid Sagevik, Arve Grønnevik. *Fremst:* Pål David Blakely. *(Sjå referat)*

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Vi nærmer oss tiden da norsk fysikk skal evalueres. Fra vårt institutt er det gjort klar en dokumenthaug på ca. en meters tykkelse. Foruten oversikter over investeringer og bevilgninger, samt detaljert beskrivelse av nasjonale og internasjonale samarbeidspartnere, forskningsgruppenes årsrapporter og mye annet, er det lagt ved CV fra samtlige vitenskapelige ansatte. Når dette så gjelder all norsk fysikk, fra universitetene, høyskolene og fra forskningsinstituttene, vil vi anta at papirmengden vil tilsvare et middels godt papirinnsamlingslass.

Dette er materialet en liten ekspertgruppe vil få for å evaluere norsk fysikk. Hver ekspert skal dekke flere fagområder, inkludert områder der han eller hun høyst sannsynlig ikke har forskningserfaring fra. Ekspertgruppen har vår aller største sympati. Og så langt vi har observert, har de aller fleste lagt mye arbeid i å lage oversiktlig og greitt bakgrunnsmateriale – om enn voluminøst.

Spørsmålet er så om det er noen som har forventninger til evalueringen. Fysikerne har det neppe – de er da også blitt dratt med ganske motvillig. Årsaken til det er enkel: Alle er evaluert minst en gang i løpet av de siste årene (enkelte er evaluert to ganger), og de tidligere evalueringene har ikke ført til merkbare tiltak. Hvilke forventninger forskningsrådet og andre autoriteter har, er vi ikke sikre på. Og denne usikkerheten er i utgangspunktet uheldig og lite tillitskapende.

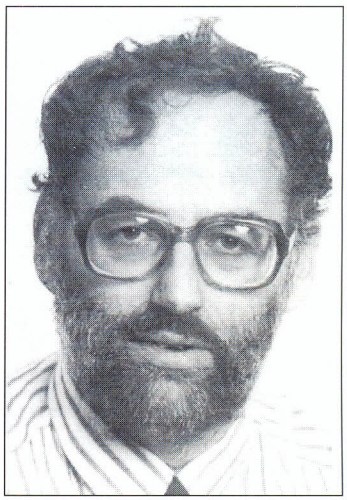
Samtidig er det en åpenbar uenighet mellom fysikkmiljøene og forskningsrådet når det gjelder kriteriene for *relevance of the scientific research.* Her dreier tre av fire punkter seg om forskningsgruppenes kontakt med industri, om industri- og samfunnsrelevans, og om de er i stand til å løse morgendagens problem, såvel nasjonalt som internasjonalt.

Vi ser fram til å se hvem som har denne profetiske gave, hvem som vet hva morgendagens problem er, og hvem som vet hva som trengs for å løse dem. Vi minner om at fysikk først og fremst er et basisfag, der den vitenskapelige erkjennelse står i sentrum. Vi hørte nylig en spissformulert definisjon av grunnforskning. Etter å ha overhørt en rekke diskusjoner blant industrirepresentanter (som faktisk kan være hoderystende uenige om hva relevant forskning er), kan vi også si at – grunnforskning er den forskning som ikke er nyttig for norsk industri.

∞

In Memoriam

Tor Fredrik Thorsteinsen (1944–1999)



Professor Tor Fredrik Thorsteinsen, født i Bergen den 23. oktober 1944, døde 12. juli 1999 etter vel et års sykdom. Han ble cand.real. med kjernefysikk hovedfag 1968 ved Universitetet i Bergen. Fra 1968 til 1970 var han stipendiat ved Niels Bohr Institutet i København. Etter førstegangstjenesten i marinen var han stipendiat ved Universitetet i Bergen før han et år var ansatt ved lærerskolen i Stavanger 1974–75. Han arbeidet som konsulent ved Universitetet i Bergen fra 1975 til 1988. Under konsulentperioden beskjeftiget han seg også med vitenskapelige problemstillinger innenfor kjernefysikken. Han ble førsteamanuensis i fysikk ved Universitetet i Bergen i 1989. I perioden 1989–1990 hadde han et års forskningsopphold ved det europeiske kjerneforskningssenteret CERN. I 1993 ble han professor i fysikk ved Universitetet i Bergen. Han hadde også engasjement som professor II i energifysikk ved Landbrukshøgskolen på Ås.

Thorsteinsen var en internasjonalt respektert og anerkjent fysiker med en usedvanlig bred forskningserfaring innenfor kjernefysikken. Han har studert reaksjoner mellom ladde kjernepartikler innenfor hele det tilgjengelige energiområdet. Dette er dokumentert gjennom ca. 100 vitenskapelige avhandlinger. Han startet sin karriere med kjernepartikkelspektroskopi i van de Graff laboratorier ved Niels Bohr Institutet i København, ved McMaster universitetet i Canada og i Los Alamos i USA. Disse studiene ga et rikt tilfang til den informasjon vi i

dag har om atomkjerner i de sjeldne jordartene.

Thorsteinsen var blant dem som fra begynnelsen av åttiårene fattet interesse for såkalte oktupoldeformasjoner i deformerte kjerner, dvs. kjerner som er pæreformede og som ikke har et symmetriplan loddrett på kjernens symmetriakse. Denne spesielle struktur finnes mest utpreget i nøytronrike isotoper av radium. Et omfattende arbeid om ^{227}Ra kombinerer data fra tandemakseleratorer, nøytroninnfanging studert med reaktoren i Grenoble og β-henfall målt ved CERN's ISOLDE-anlegg. I alt 11 laboratorier har bidratt til denne forskningen og artikkelen gir et godt inntrykk av den arbeidsinnsats, motivasjon og koordinering som er nødvendig for å drive spektroskopiske studier på verdensplan.

I samarbeid med forskergruppen rundt Oslosyklotronen, har Thorsteinsen også studert strukturen hos tilstander med lave spinn og høy eksitasjonsenergi hos atomkjerner i sjeldne jordarter.

Thorsteinsens vilje til fornyelse viste seg i hans åpenhet og interesse for nye forskningsfelt. Han kom tidlig til å interessere seg for det nye forskningsfeltet som ble beskrevet som tungionereaksjoner i mellomenergiområdet som ble åpnet med at tungionestrålen fra synkrosyklotronen SC på CERN ble tilgjengelig i 1980. Feltet ble siden stadig utvidet, og Thorsteinsen og hans medarbeidere deltok i flere eksperimenter ved akseleratorer i Frankrike, Tyskland og Sverige. Forskningen var i hovedsak innrettet mot partikkelkorrelasjoner, fragmentering og produksjon av kaoner under den kinematiske terskelen. Uten å gi opp sin interesse for kjernestruktur ved lav energi, hadde Thorsteinsen i de senere år i stigende grad orientert seg mot tungionefysikk ved relativistiske energier. Siktemålet med denne fysikken er først og fremst å identifisere en ny tilstandsform, det såkalte kvark–gluon plasma, som består av frie kvarker og gluoner. Denne tilstanden forventes å oppstå hos kjernestoff under høye trykk og temperaturer. Disse studiene har også stor kosmologisk interesse siden man antar at universet besto av kvark–gluon plasma i det første mikrosekund av dets historie.

Ved sin bortgang var Thorsteinsen dypt engasjert i ultrarelativistiske kjernekollisjoner ved eksisterende og planlagte akseleratorer på CERN der formålet er å søke etter det urstoff som universet ble bygget opp av.

Thorsteinsens forskningsinnsats har hovedsakelig skjedd i internasjonale samarbeidsprosjekter knyttet til de mest anerkjente laboratorier. I disse prosjektene har han vært en skattet og høyt respektert medarbeider som har vist stor kreativitet i unnfangelse av nye forskningsideer og ytt vesentlige bidrag til analyse og prosjektenes gjennomførelse. Det kan trygt sies at det for en stor del kan tilskrives hans personlige innsats at det har vært mulig for kjernefysikkgruppen ved Universitetet i Bergen å arbeide med prosjekter i den internasjonale forskningsfronten. Og mange er de hovedfagstudenter som har fått sin utdannelse innenfor disse prosjektene.

Som en påskjønnelse for sin forskningsinnsats fikk Thorsteinsen Norsk Datas Fysikkpris i 1985.

Thorsteinsen tok også på seg arbeidskrevende administrative oppgaver der hans dype faglige innsikt og arbeidskraft førte til gode resultater. Han var visestyrer og styrer ved Fysisk institutt, og leder av kjernefysikkgruppen ved instituttet. På det nasjonale plan fungerte han som leder av Nasjonalt utvalg for kjerneforskning, NUK, og han var medlem av KJERNPAR-komiteen under Norges Forskningsråd, der han vurderte prosjektsøknader innenfor kjerne- og partikkelfysikk. Han hadde også oppgaver på det nordiske og det internasjonale plan, og han var medlem av Nordisk akseleratorkomite og av ISOLDE-komiteen ved CERN.

Thorsteinsen var opptatt av formidling og undervisning. Han var glad i studentene og og svært interessert i deres ve og vel. Han underviste i begynnerkurs for nye studenter og ga også undervisning på hovedfagsnivå. Han veiledet studenter til cand.scient.- og dr.scient.-eksamen, og de hadde alltid nytte og glede av Thorsteinsens store fysikkunnskaper og omtanke for sine studenter. Hans store evne til å stille inspirerende og tankevekkende spørsmål var høyt verdsatt blant studenter og kolleger.

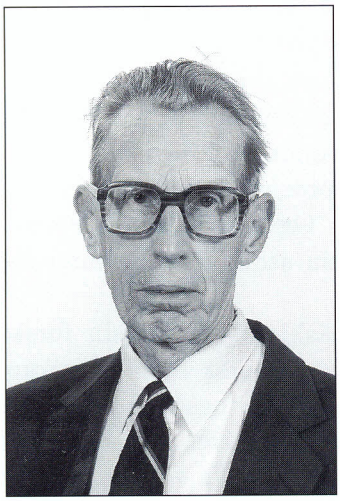
Thorsteinsen var en høyt skattet kollega. Vi som var så heldige å ha ham som kollega satte særlig pris på hans omtenksomhet og lune ro under alle forhold. Han hadde store kunnskaper, ikke bare i fysikk, men også i historie, politikk og musikk – han interesserte seg for alt som opptok menneskene. Uten å være belærende var han en samtalenes mester og en kilde til berikelse for alle oss som kjente ham.

Tor Fredrik Thorsteinsen er dypt savnet.

Jan R. Lien
Gunnar Løvhøiden
Karl Nybø

∞

Truls S. Ringnes (1917–1999)



Universitetslektor Truls Strand Ringnes, født i Krødsherad den 15. april 1917, døde 9. august 1999. Ringnes hadde opprinnelig planer om å bli forstmann og tok eksamen ved Evenstad Skogskole. Han ønsket også å studere astronomi og ble cand.real. ved Universitetet i Oslo i 1949. I mai 1965 forsvarte han sin dr.philos.-avhandling om "Sekulære varisjoner i solflekkaktiviteten". Dette grunnleggende arbeidet innen solflekkstatistikk bygget på observasjoner fra i alt 6 solflekkperioder. Det høstet betydelig internasjonal anerkjennelse og blir fremdeles sitert i faglitteraturen. Han ble tidlig i sin karriere innvalgt som medlem av den Internasjonale Astronomiske Union. Ringnes var vitenskapelig assistent og vikarierte tidvis som observator ved Institutt for teoretisk astrofysikk fra 1949 til 1960. Fra 1961 til han gikk av for aldersgrensen i 1987, var han universitetslektor og senere førstelektor.

Ringnes var en høyt skattet kollega. Han var meget stillferdig og beskjeden. Vi som var så heldige å ha ham som kollega satte spesielt stor pris på hans lune og hjertevarme humor. Han var ualminnelig hjelpsom og påtok seg mange og arbeidskrevende oppgaver hvor hans dype faglige innsikt, entusiasme og grundighet alltid førte til de beste resultater. I flere år, mens instituttets grunnlegger og bestyrer professor Svein Rosseland kunne være opptatt med viktige oppgaver utenfor instituttet, ble Truls Ringnes pålagt ekstra, krevende arbeidsoppgaver. Ringnes fikk et spesielt ansvar for vårt bibliotek, som er av internasjonal toppklasse takket være hans uvurderlige innsats. I mange år var han undervisningsleder ved instituttet, et verv han også skjøttet meget samvittighetsfullt.

Hans interesse for astronomien ble tidlig vakt, og allerede i 1937 var han med å stifte Norsk Astronomisk Selskap. Som popularisator var Ringnes en ener. Hans foredrag i NRK og hans mange artikler i pressen, bidro sterkt til øket interesse og respekt for astronomien blant alle aldersgrupper. Han vant stor respekt som medredaktør i tidsskriftet Naturen i årene fra 1954 til 1970, og han er til nå den fremste forfatter av artikler om astronomi i norske leksika. Han var medarbeider i Norsk Nautisk Almanakk og Sjøfartskalender fra 1959 til sin død.

Ringnes skrev lærebøker og undervisningshefter om astronomi og astrofysikk for bruk ved universitetet og i gymnasiet. Etter at han gikk av som universitetslektor, skrev han et imponerende kompendium om astronomiens historie. Ringnes holdt jevnlig kontakt med instituttet, til stor glede og faglig inspirasjon for alle hans venner og kolleger.

Oddbjørn Engvold *Øivind Hauge* *Per Maltby*

∞

FFV Gratulerer

Simradprisen til Jon Thomas Kringlebotn

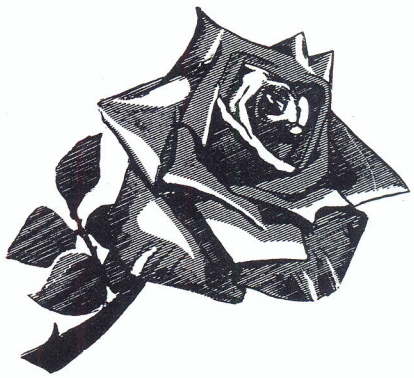
Forsker Jon Thomas Kringlebotn, Optoplan AS, har fått Simrad Optronics ASAs fagpris i elektrooptikk 1999. Kringlebotn har gjort banebrytende arbeid innen fiberoptiske sensorer og fiberlasere. Spesielt har han laget den første fiberoptiske Distributed FeedBack-laseren. *Vi gratulerer!*

∞

NFSs undervisningspris til Nils Fløttre

Cand.real. Nils Fløttre (t.v.), lektor ved Nøtterøy vgs., ble på fysikermøtet tildelt Norsk Fysisk Selskaps undervisningspris. Fløttre har skrevet flere bøker til bruk i fysikkundervisningen i den videregående skole. Spesielt har han laget en serie hefter om romfart, i samarbeid med Norsk Romsenter. *FFV gratulerer!*

∞



Norsk Hydros pris til Ove Havnes

Norsk Hydros Birkelandpris ble delt ut på fysikermøtet i år for første gang, og professor Ove Havnes, Universitetet i Tromsø, fikk denne prisen for fremragende forskning på støvplasma. Støvplasma, som består av støvpartikler med elektrisk ladning, er en viktig bestanddel av planetenes øvre atmosfærer. *FFV gratulerer!*

∞

Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?

Øyvind Grøn *

Relativistisk kosmologi ble innledet med at Einstein presenterte en statisk universmodell i 1917. Her introduserte han den såkalte kosmologiske konstanten Λ. Den representerte en ad hoc frastøtende kraft som gjorde det mulig å konstruere en statisk universmodell. Einstein omtalte senere innføringen av konstanten Λ som sitt livs største tabbe. Men nå er faktisk Λ kommet til heder og verdighet og er blitt tolket som uttrykk for tettheten til vakuumenergi. Med introduksjonen av inflasjonsmodellene for universet i 1981, fikk Λ en sentral plass i kosmologien. Eksistensen av en slik vakuumdominert periode ga svar på spørsmål som: Hvorfor er universet isotropt og homogent? Hvorfor har det så nær kritisk massetetthet? Hvorfor ekspanderer det?

I dag spekuleres det på om det fortsatt er en betydelig vakuumenergi i universet. Svaret må søkes hos dem som observerer universets egenskaper. Det gjøres nå en betydelig innsats for å frembringe utvetydige resultater.

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

Relativistisk gravitasjon

I en samtale med Werner Heisenberg i 1926, der temaet var å forstå atomære fenomener ut fra den nye kvantemekanikken, sa Einstein: "Det er teorien som forteller oss hva vi observerer." Dette inspirerte

Heisenberg i arbeidet med å komme frem til usikkerhetsrelasjonen.

Også når det dreier seg om å forstå astronomiske observasjoner, trenger vi teori. Moderne kosmologi startet med et teoretisk arbeid som var uhyre inspirerende selv om det slett ikke var korrekt. Den første universmodellen laget ved hjelp av Einsteins generelle relativitetsteori – teorien for tid, rom og gravitasjon – ble konstruert av Albert Einstein i 1917. På den tiden mente nesten alle at 'fikstjernene' sto fast i rommet. Derfor laget Einstein en statisk universmodell, dvs. en modell der rommets egenskaper og avstanden mellom stjernene er uforandret i tiden.

Einsteins statiske universmodell har endelig utstrekning, men ingen grenser. Rommet er krumt akkurat som en kuleflate. Siden gravitasjon er tiltrekkende, skulle man vente at et slikt univers ville falle sammen. Ifølge Newtons gravitasjonsteori vil det også skje. Men relativitetsteorien åpner for en ny og spennende mulighet.

Ifølge relativitetsteorien har ikke bare masse, men også trykk og strekk en gravitasjonsvirkning. Hvis den vanlige massetettheten er ρ og trykket eller strekket er p (trykk: $p > 0$, strekk: $p < 0$), så er gravitasjonen bestemt av *den gravitasjonelle massetettheten*[1]

$$\rho_G = \rho + 3p/c^2$$

der c er lyshastigheten. Uten det relativistiske leddet $3p/c^2$, hadde ikke svarte hull eksistert! Den Newtonske grensen til generell relativitetsteori kan fås ved å la $c \to \infty$. I denne grensen har verken trykk eller strekk noen gravitasjonsvirkning. Ifølge Newtonsk teori kan alltid et stort nok trykk hindre gravitasjonskollaps. Men det relativistiske uttrykket for ρ_G viser at et stort trykk som dannes i en massiv stjerne, bidrar til å øke den gravitasjonelle tiltrekning. En tilstrekkelig stor masse vil derfor kollapse til et sort hull.

Hvis vi aksepterer at vanlig masse alltid er positiv, $\rho > 0$, følger det at frastøtende gravitasjon ikke kan eksistere ut fra Newtons gravitasjonsteori.

Rommet i Einsteins statiske universmodell er fylt med vanlig materie og vakuumenergi. (Historisk er dette ikke helt korrekt. Einstein introduserte en såkalt 'kosmologisk konstant' i gravitasjonslikningene. I de siste 20 årene er det blitt vanlig å oppfatte denne som et mål for tettheten til vakuumenergi (se boks 2).) Det ble imidlertid snart vist at Einsteins modell er ustabil. Hvis modellens radius minskes i forhold til likevektsradien, vil universet kollapse, og økes radien får modellen en akselerert ekspansjon.

I 1922 konstruerte den russiske meteorolog og fysiker Alexander Friedmann en klasse relativistiske universmodeller som er mer fleksible enn Einsteins. Friedmanns modeller kan settes i sammenheng med en mengde forskjellige observasjoner av universets egenskaper. Arbeidet med å fremskaffe observasjoner for å finne frem til den best mulige modellen av vårt univers, foregår i dag med større ressurser enn noen gang tidligere.

Boks 1. Vakuumenergi

Ifølge vårt århundres kvantefeltteorier er det ikke mulig å tømme et område helt for energi. Det vil alltid være en 'vakuumenergi' til stede som ikke kan fjernes. Det kan for eksempel dreie seg om vakuumfluktuasjoner, og om vakuumfelter, de såkalte Higgsfelter, som gir masse til opprinnelig masseløse elementærpartikler.

I slutten av forrige århundre kalte man vakuumet for 'eter', og man tenkte seg at eteren var et medium som elektromagnetiske bølger, f.eks. lys, kunne utbre seg i. I 1887 forsøkte Michelson og Morley å bestemme jordens hastighet gjennom eteren, men de fant ingen slik hastighet.

I dag mener man at 'eteren' ikke eksisterer, men at det er en vakuumenergi i rommet. Og det aksepteres at man ikke kan måle hastighet i forhold til vakuumenergien. Alle vakuumets egenskaper er like enten de måles av en observatør som beveger seg, eller av en observatør i ro. Sagt på en mer teknisk måte: Alle egenskapene til vakuum er Lorentz-invariante. Når dette resultatet puttes inn i relativitetsteorien, og man i tillegg antar at vakuum kan oppfattes som en perfekt væske, finner man at vakuum er i en tilstand av strekk, $p = -\rho c^2$. Setter vi dette inn i formelen for ρ_G, finner vi at vakuumets gravitasjonelle massetetthet er $\rho_G = -2\rho < 0$. Vakuum virker på seg selv med frastøtende gravitasjon! Et område dominert av vakuumenergi vil derfor få en akselerert ekspansjon.

Hubbles lov

I kosmologien har observasjoner av spektrallinjer i lyset fra fjerne objekter stor betydning. På grunn av dopplereffekten avhenger den observerte bølgelengden av kildens bevegelse. Dersom bølgelengden er λ_1 når kilden er i ro, og λ_0 når den beveger seg vekk fra oss, defineres *rødforskyvningen* som

$$z = (\lambda_0 - \lambda_1)/\lambda_1$$

Boks 2. Einsteins største tabbe?

Einsteins feltlikninger, som er den relativistiske generalisering av Newtons gravitasjonslov, har formen

$$E_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

der $E_{\mu\nu}$ er komponentene til Einsteins krumningstensor som beskriver geometrien til tidrommet, κ er Einsteins gravitasjonskonstant og $T_{\mu\nu}$ er komponentene til impuls-energitensoren som inneholder informasjon om materiens og energiens tetthet, spenningstilstand (f.eks. trykket i en gass) og bevegelse. J. A. Wheeler har gitt følgende formulering av likningens innhold: "Materien forteller tidrommet hvordan det skal krumme."

Da Einstein skulle lage en statisk universmodell, fant han ingen passende løsning av feltlikningene. På grunn av tiltrekkende gravitasjon kollapset modellene, så han endte opp med å forandre feltlikningene slik at de fikk formen

$$E_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

Her er Λ den kosmologiske konstanten og $g_{\mu\nu}$ den metriske tensoren for tidrommet. Konstanten Λ representerer en frastøtende kraft som holder likevekt med den gravitasjonelle tiltrekning. Konstanten ble innført i likningen uten noen dyp fysisk begrunnelse. Hensikten var bare å lage en statisk universmodell. Einstein likte det nok ikke, men han følte vel at det ikke var noen vei utenom. Først etter at universets ekspansjon var oppdaget i slutten av 1920-årene, innså Einstein at han hadde gått glipp av alle tiders forutsigelse.

Utover i 1970-årene ble det oppdaget at det finnes en fysisk tolkning av den kosmologiske konstanten. Man begynte å undersøke ulike former for vakuumenergi. Ett var klart: Det synes ikke å være mulig å måle hastighet i forhold til vakuum. Det første alvorlige forsøket ble gjort av Michelson og Morley i 1887. Liksom alle deres etterfølgere, mislyktes de. Hvis det aksepteres at man ikke kan måle hastighet i forhold til vakuum, må alle vakuumets egenskaper være Lorentz-invariante. Ved å Lorentz-transformere alle komponentene til en vilkårlig impuls-energitensor, og kreve at de transformerte komponentene skal være lik de opprinnelige, finner vi at impuls-energitensoren til vakuum må være proporsjonal med den metriske tensoren,

$$T^{vak}_{\mu\nu} = (\Lambda/\kappa) g_{\mu\nu}$$

Dermed kan likningen ovenfor skrives

$$E_{\mu\nu} = \kappa(T_{\mu\nu} + T^{vak}_{\mu\nu})$$

Dette er den opprinnelige formen av Einsteins feltlikninger uten noen kosmologisk konstant, men med en total impuls-energitensor som er summen av impuls-energitensoren til materien og vakuumenergien.

For små hastigheter i forhold til lyshastigheten er rødforskyvningen

$$z = v/c$$

der v er kildens hastighet og c er lyshastigheten.

Omkring 1910 ble et kosmisk observasjonsprogram påbegynt som fortsatt foregår for fullt. Vesto M. Slipher målte frekvensforskyvningen av spektrallinjer fra 41 spiralgalakser, og fant at 36 av dem hadde en rødforskyvning på opp til $z = 0,006$, som svarer til en hastighet på 1800 km/s vekk fra oss. Av de fem med blåforskyvning, hadde vår nabogalakse Andromeda-galaksen, den største verdien, $z = -0,001$, dvs. den beveger seg med en hastighet på omtrent 300 km/s mot oss.

Edwin Hubble og Milton L. Humason observerte sammenhørende verdier av kosmisk rødforskyvning og avstand for mange kosmiske objekter. I 1929 annonserte Hubble at hastighetene til objekter som ikke er for nær oss, er proporsjonale med deres avstander,

$$v = Hd$$

der H kalles Hubble-parameteren. Senere observasjoner har bekreftet denne sammenhengen, som nå kalles *Hubbles lov*. (Stjernene har tilfeldige bevegelser med typisk hastighet 400 km/s. For avstander under 20 millioner lysår dominerer disse bevegelsene over hastigheten som skyldes universets ekspansjon.)

Den fysiske tolkningen av den kosmiske rødforskyvningen ble raskt gjenstand for debatt. Sliphers tidlige observasjoner ble først tolket som et resultat av solsystemets bevegelse, siden man oppfattet universet som statisk. Senere ble det mer naturlig å tolke observasjonene slik at rødforskyvningen skyldes stjernenes bevegelse bort fra oss. I dag tolkes Hubbles lov med utgangspunkt i Friedmanns universmodeller. Den kosmiske rødforsyvningen er ikke en dopplereffekt i den newtonske forstand at stjernene og galaksene beveger seg vekk fra oss gjennom et uforandret rom. Budskapet i Friedmanns likninger er at det er rommet selv som utvider seg. Hvis vi for enkelthets skyld antar at universet er positivt krummet slik at rommet er en tredimensjonal analogi til en kuleflate, en ballong, så svarer universets ekspansjon til at ballongen blåses opp. Galaksene er som prikker tegnet inn på ballongen, og avstandene mellom dem vokser når ballongen blir større. Den kosmiske rødforskyvingen kan skrives

$$z = [R(t_0) - R(t_1)]/R(t_1)$$

der $R(t_1)$ er universets radius når lyset sendes ut, og $R(t_0)$ er universets radius når lyset observeres. Den generelle tolkningen av R, som også gjelder om universet er flatt eller negativt krummet (tre-

dimensjonal analogi til sadelflate), er at $R(t)$ er en 'ekspansjonsfaktor' som forteller hvordan avstanden mellom galaksene endres med tiden.

Universets ekspansjon kan beskrives matematisk ved å fastlegge hvordan ekspansjonsfaktoren endres med tiden. Denne funksjonen kan finnes ved å løse Friedmanns likninger. Løsningene indikerer at universet startet med en voldsom ekspansjon for ca. 15 milliarder år siden (se nedenfor). Jo større Hubble-parameteren er, desto raskere ekspanderer universet, og desto yngre er det. Hvis universet hadde ekspandert med konstant hastighet, ville dets alder ha vært

$$t_H = 1/H$$

som kalles universets *Hubble-alder*. Siden gravitasjonen bremser på universets ekspansjon, må hastigheten ha vært større før enn nå. Derfor er universet yngre enn Hubble-alderen.

Hvor raskt ekspanderer universet?

I 70 år har mange astronomer arbeidet med å bestemme verdien til Hubble-parameteren. Ved å kombinere Hubbles lov, $v = Hd$, med dopplereffekt-formelen, $z = v/c$, fås

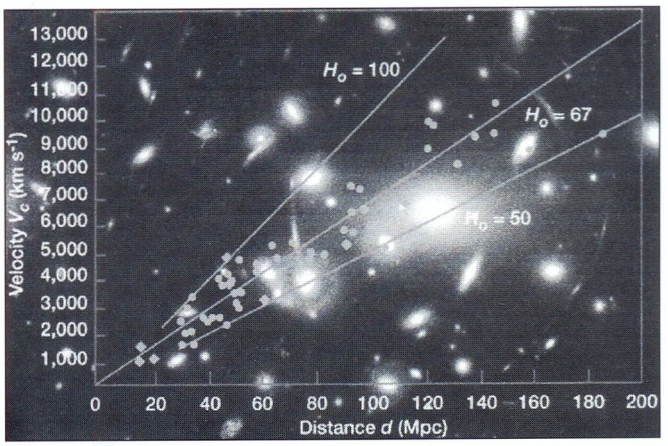
$$(H/c)d = z$$

Dette er en formel som bare gjelder for små avstander, slik at $z \ll 1$. For å bestemme H, må rødforskyvningen z og avstanden d måles for fjerne objekter. Det er enkelt å måle rødforskyvningen. Men avstandene til fjerne objekter er vanskelige å bestemme nøyaktig. Derfor er det fortsatt en ganske stor usikkerhet i verdien til H. De nyeste måleresultatene ble publisert i mai 1999.[2] Resultatet var: $H = 21,5 \pm 2$ km/s pr. millioner lysår. Det vil si at dersom en galakse som er en million lysår fra oss ikke har noen annen bevegelse enn den som skyldes universets ekspansjon, vil den bevege seg med en hastighet på 21,5 km/s vekk fra oss.

Samlet kan resultatet av målingene opp til i dag oppgis som $H = hH_0$, der $H_0 = 20$ km/s per million lysår, og faktoren h har en verdi på $0,8 < h < 1,2$ (se figur 1). Størrelsen av intervallet representerer usikkerheten i verdien av H.

Vil universet alltid utvide seg?

En typisk Friedmann-universmodell kan sammenliknes med en galaksehop som utvider seg. Det



Figur 1. Hubble-diagram med de nyeste observasjonene plottet inn (fra ref. 2).

virker en tiltrekkende gravitasjonskraft mellom galaksene som bremser på ekspansjonen. Jo større masse det er i hopen, desto sterkere er gravitasjonskraften. Man kan regne ut hvor stor nedbremsingen blir ved å tenke seg at massen i hopen er jevnt fordelt. Setter man opp bevegelseslikningene for hopens ekspansjon ut fra Newtons gravitasjonsteori, viser det seg, merkelig nok, at de har akkurat samme form som Friedmanns relativistiske likninger. Dersom hastigheten er stor og tettheten er liten, vil universet ekspandere i all evighet. En universmodell med så stor massetetthet at universets ekspansjon akkurat vil stoppe opp i en uendelig fjern fremtid, sies å ha *kritisk massetetthet.*

Jo raskere universet utvider seg, desto større må tettheten være for at gravitasjonen skal kunne stoppe ekspansjonen. Verdien av Hubble-parameteren forteller hvor raskt universet ekspanderer. Den kritiske massetettheten, $\rho_{kritisk}$, firedobles når Hubble-parameteren dobles,

$$\rho_{kritisk} = (3/8\pi G)H^2$$

der G er Newtons gravitasjonskonstant. Hvis tettheten av jevnt fordelt kosmisk materie er mindre enn den kritiske tettheten, vil universet utvide seg i all evighet. Er tettheten større, vil universet kollapse en gang i fremtiden. Det er universets tetthet og ekspansjonshastighet som avgjør dets fremtidige skjebne. Hvis vi setter $H = hH_0$ inn i formelen for den kritiske tettheten, får vi

$$\rho_{kritisk} = h^2\rho_0, \quad \rho_0 = 3H_0^2/8\pi G = 7,9{\cdot}10^{-27}\ \mathrm{kg/m^3}$$

som svarer til ca. 4 hydrogenatomer pr. kubikkmeter.

Rødforskyvningsrelasjonen, $(H/c)d = z$, som vi brukte ovenfor, gjelder bare for $z \ll 1$. En mer nøyaktig formel som kan brukes opp til ca. $z = 1$, er

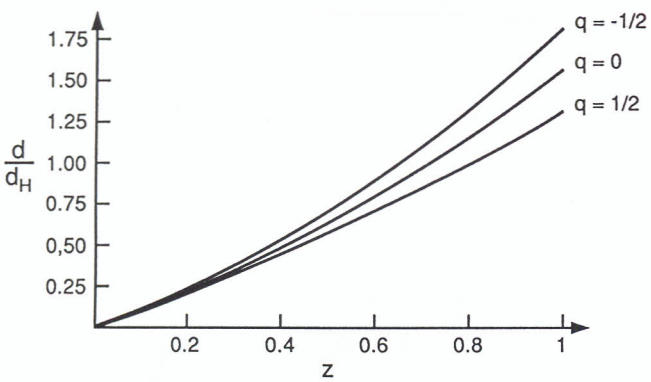
$$(H/c)d = z + (1/2)(1 - q)z^2$$

der q kalles *bremseparameteren*. Det er en størrelse som er positiv ved nedbremsing, negativ når ekspansjonsfarten øker, og har verdien null når farten er konstant. Verdien av bremseparameteren er gitt ved

$$q = ad/v^2$$

der a, d og v er henholdsvis akselerasjonen, avstanden og hastigheten til et *referanseobjekt*, dvs. et objekt med en bevegelse dominert av den kosmiske ekspansjonen.

Hvis vi plotter $(H/c)d$ som funksjon av z for ulike verdier av q, får vi kurvene som er vist i figur 2.



Figur 2. Avstand til galakser som funksjon av deres kosmiske rødforskyvning for ulike verdier av den kosmiske bremseparameteren.

Av Friedmanns likninger følger at i et univers fylt av materie med neglisjerbart trykk og med kritisk tetthet, varierer avstanden til et referanseobjekt med tiden som $d(t) \propto t^{2/3}$. For et slikt objekt har bremseparameteren verdien $q = 1/2$. Hvis tettheten er større enn den kritiske, blir $q > 1/2$. Ved å måle sammenhørende verdier av avstand og rødforskyvning for flere objekter og plotte resultatene i et avstand–rødforskyvningsdiagram, kan man se hvilken av kurvene med ulike verdier av q som passer best. Resultatene heller i retning av at $q < 1/2$, dvs. at universet har mindre tetthet enn den kritiske, og vil derfor komme til å ekspandere i all evighet.

Hvor gammelt er universet?

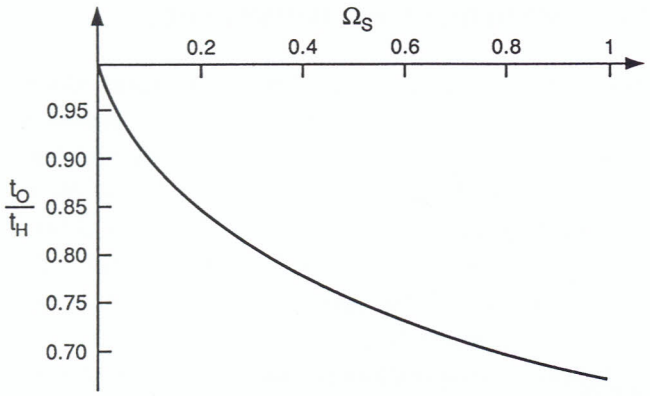
Tiden fra Big Bang til nå kalles *universets alder*. Hvis universet hadde ekspandert med konstant hastighet, ville universets alder ha vært lik Hubble-alderen, $t_H = 1/H$. Innsetting av verdien $H = h \cdot 20$ km/s pr. millioner lysår, gir $t_H = (1,5/h) \cdot 10^{10}$ år. For eksempel gir $h = 1$ en Hubble-alder på 15 milliarder år. Men universet er yngre fordi det ekspanderte raskere før.

Hvordan ekspansjonen varierer med tiden, avhenger av hva slags og hvor mye, materie og energi som fyller universet. Det er vanlig å skjelne mellom tre typer kosmisk energi og materie: vakuumenergi, stråling og støv. Støv er en gass av partikler som beveger seg så langsomt at trykket i gassen kan neglisjeres. Ifølge 'standardmodellen' har universets ekspansjon vært dominert av støv helt siden en halv million år etter Big Bang. I denne perioden sies universet å være *materiedominert*. Før dette var universet *strålingsdominert* helt fra brøkdelen av et sekund etter starten. Helt i starten har universet antagelig vært *vakuumdominert*.

Når vi skal estimere universets alder, er det nok å ta i betraktning den materiedominerte perioden. Ved å bruke Friedmanns likninger, finner man at i et materiedominert univers med kritisk tetthet er universets alder $t_0 = (2/3)t_H$. Innsetting av Hubble-alderen ovenfor gir universets alder $t_0 = (1/h) \cdot 10^{10}$ år. For $h = 1$ vil alderen til et materiedominert univers med kritisk tetthet, være $t_0 = 10$ milliarder år. Tar vi hensyn til usikkerhetsintervallet for h, finner vi at alderen til denne typen univers er mellom 8 og 12 milliarder år.

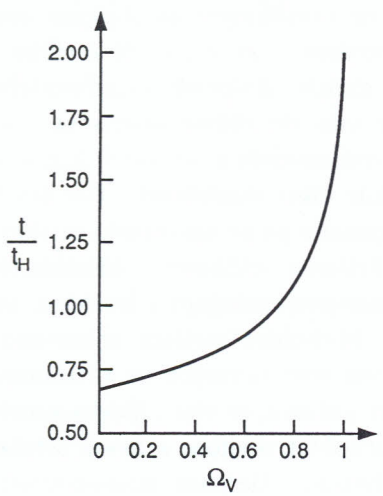
Teorien for utviklingen av stjerner indikerer at de eldste stjernene i universet er mellom 12 og 15 milliarder år gamle. Ifølge standardmodellen er universet yngre enn de eldste stjernene. Det er to egenskaper ved modellen vi hittil har snakket om som særlig har vært modifisert. For det første tyder observasjonene på at universets tetthet er mindre enn den kritiske tettheten. Mindre tetthet gir mindre ekspansjonshastighet i fortiden, og dermed større alder. Forholdet mellom universets alder og Hubble-alderen som funksjon av tettheten i et materiedominert univers, er vist i diagrammet i figur 3, der Ω_S er forholdet mellom støvets tetthet og den kritiske tettheten. Dersom massetettheten er en femtedel av den kritiske tettheten, er universets alder mellom 10 og 15 milliarder år.

Den andre muligheten som har vært diskutert de siste fem årene, er at universet ikke er støvdominert,



Figur 3. Forholdet mellom universets alder og dets Hubble-alder i en massedominert universmodell, som funksjon av den gjennomsnittlige tettheten til det kosmiske støvet.

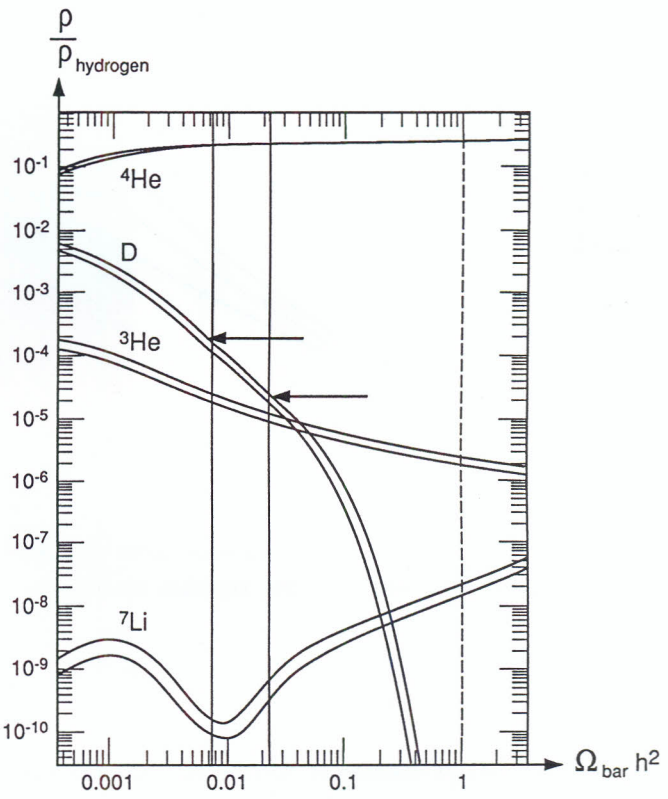
men at det er vakuumenergi og støv i universet, og at summen av tettheten til vakuumenergien og støvet er lik den kritiske tettheten. Forholdet mellom universets alder og Hubble-alderen som funksjon av tettheten til vakuumenergien – dvs. av hvor stor del vakuumenergien utgjør av den kritiske massetettheten – er vist grafisk i figur 4. Vi ser at universets alder øker med voksende andel av vakuumenergi. Det skyldes vakuumenergiens frastøtende gravitasjon, som innebærer at mer vakuumenergi gir mindre ekspansjonshastighet i fortiden, for en gitt verdi av Hubble-parameteren. En modell som har vært diskutert de siste par årene, har 70 % vakuumenergi og 30 % støv. Alderen til et slikt univers er mellom 12 og 18 milliarder år.



Figur 4. Forholdet mellom universets alder og dets Hubble-alder i et univers med vakuumenergi og støv, der den totale tettheten er lik den kritiske tettheten.

Mørk materie i universet

Bevegelsene til galakser og hoper av galakser viser at galaksene inneholder mer enn 10 ganger den samlede massen til stjernene. Observasjoner av universet i stor skala, over avstander på minst hundre millioner lysår, viser at det trolig er over 100 ganger så mye masse i universet som den vi ser. Den 'gravitasjonelle massen' i universet synes å ha en tetthet mellom 10 og 50 % av den kritiske tettheten. Observasjoner av mengdeforholdene til de letteste grunnstoffene i universet kombinert med teorien for den kosmiske nukleosyntesen, viser at tettheten av baryonisk materie i universet er mellom 1 og 5 % av den kritiske tettheten (se figur 5). Størsteparten av universets materie er mørk og ikke-baryonisk.



Figur 5. Mengdeforholdet mellom de letteste grunnstoffene, produsert ved kosmisk nukleosyntese i universets første kvarter, som funksjon av tettheten til baryonisk materie i universet.

Hvordan kan tettheten av masse i universet være så nær den kritiske?

I kosmologien betegnes *relativ massetetthet* med Ω, og er definert som forholdet mellom massetetthet og kritisk tetthet

$$\Omega = \rho/\rho_{kritisk}$$

Observasjonene av gravitasjonell masse indikerer at jo større skala man observerer over, desto større er massetettheten. Observasjonene går ut til ca. 1 milliard lysår og har gitt som resultat at den gjennomsnittlige tettheten av materie innenfor dette området er $\Omega \approx 0,2$, dvs. at den samlede tettheten av lys og mørk materie er ca. 20 % av den kritiske tettheten. Dersom dette er tettheten av all masse og energi i universet, har man et problem: Hvordan kan den kosmiske massetettheten nå, over 10 milliarder år etter Big Bang, være så nær den kritiske tettheten? Ifølge standard Friedmann-kosmologi, vil tettheten i et univers med $\Omega < 1$ utvikle seg mot $\Omega = 0$. Verdien $\Omega = 0,2$ nå, krever en utrolig nøyaktig fininnstilling i starten. Dette vil her bli omtalt som 'det første kosmiske tetthetsproblemet'.

Kosmisk inflasjon

En løsning på det første kosmiske tetthetsproblemet kommer fra de forente teoriene for de fundamentale kreftene kombinert med generell relativitetsteori. Siden det ifølge kvanteteorien ikke er mulig å fjerne all energi fra et område, vil det alltid være en form for vakuumenergi igjen. Denne energien kan opptre i ulike former, f.eks. som kvantefluktuasjoner av partikkel–antipartikkelpar, og som en vakuum-feltenergi (Higgs-energi) som er med på å gi bosonene som formidler kjernekreftene, masse.

De forente teoriene for elektromagnetisme og kjernekrefter har som konsekvens at når et område avkjøles fra en meget høy temperatur, vil det kunne oppstå en tilstand der vakuumenergien er større enn alle andre energier. Ifølge de relativistiske universmodellene skjedde nettopp en slik avkjøling fra nesten uendelig høy temperatur umiddelbart etter universets begynnelse, og det oppsto en fase helt i starten av universets historie, før det var 10^{-33} s gammelt, dominert av vakuumenergi som har negativ gravitasjonell masse og virker på seg selv med frastøtende gravitasjon. Denne korte perioden med voldsom akselerert ekspansjon er den såkalte inflasjonsæraen.[3]

Eksistensen av en slik periode kan forklare en del egenskaper ved universet, som måtte puttes inn som ad hoc begynnelsesbetingelser i de tradisjonelle universmodellene.

I. Over avstander på mer enn en milliard lysår er universet likt i alle retninger. Dette kan nå oppfattes som et resultat av utviklingen i inflasjonsperioden.

II. Universet ser også ut til å være likt overalt over store avstander, dvs. det ser ut til at universet er homogent. Her pågår det riktignok en diskusjon. Det hevdes av noen grupper at dette er et synsbedrag som fremkommer når vi summerer alle observerte objekter i ulike avstander, og at tredimensjonale plot viser at universet har en hierarkisk massefordeling der det ikke er noen ende på hvor store strukturer, hoper av hoper osv., som finnes. Hvis inflasjonsmodellene er korrekte, er ujevnhetene i stor skala flatet ut, og universet er homogent over områder med utstrekning på over en milliard lysår.

III. Inflasjonsmodellene gir også en mekanisme for dannelsen av et spekter av tetthetsfluktuasjoner som utvikler seg mot de tetthetsvariasjonene over mindre skala, hoper av galakser, galakser, stjerner osv., som man observerer i universet.

IV. Videre gir inflasjonsmodellene også en forklaring på hvorfor universet utvider seg. Ekspansjonen skyldes en eksplosiv gravitasjonell frastøtning i den første brøkdelen av et sekund i universets historie.

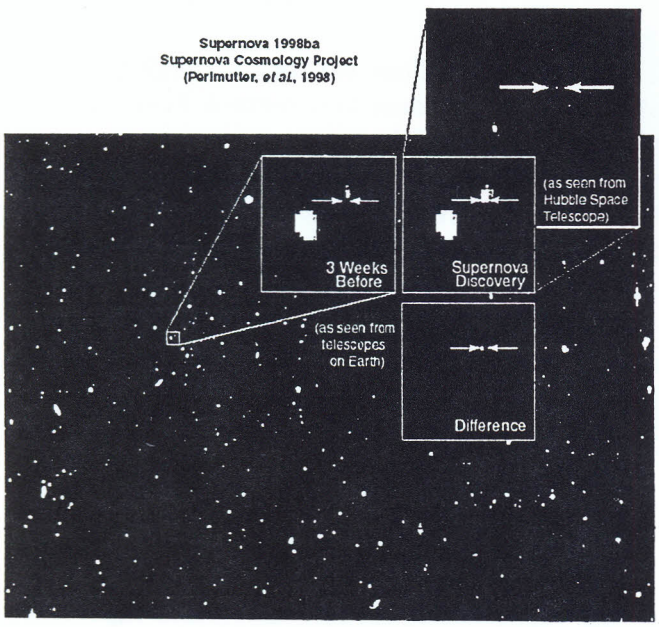
Inflasjonsmodellene har også betydning for hvor stor massetetthet man kan vente å finne i universet. I inflasjonsperioden nærmet massetettheten seg eksponentielt mot den kritiske verdien med halveringstid 10^{-35} s. Ifølge denne teorien skulle universet fortsatt ha kritisk massetetthet, $\Omega = 1$. Her dukker det opp et nytt problem: Den gjennomsnittlige tettheten innenfor et område med utstrekning på $l = 10^9$ lysår, bestemt ut fra den kosmiske massens gravitasjonelle virkninger, ser ut til å være under halvparten av den kritiske tettheten. Hvis fremtidige observasjoner viser at dette virkelig er tilfelle, er inflasjonskosmologien i vanskeligheter. Dette er 'det andre kosmiske tetthetsproblemet'.

Men kanskje finnes det en annen løsning på problemet enn å forkaste inflasjonskosmologien. For lokale gravitasjonseffekter observert i systemer med utstrekning l er ikke påvirket av energitettheter som er uniforme over avstander vesentlig større enn l. Hvis universet inneholder en slik uniform energitetthet, vil den ikke bli detektert i registreringene av mørk materie basert på gravitasjonelle effekter innenfor avstanden l. Det er altså mulig at en slik jevnt fordelt energi kan bidra med en vesentlig del av universets masse, slik at universets massetetthet er $\Omega = 1$, uten at dette er i konflikt med det observerte resultatet $\Omega_{OBS} = 0,2$.

Supernovaer og vakuumenergi

For tiden er det to grupper av astronomer, "High-z Supernova Team" og "Supernova Cosmology Project", som arbeider med å bestemme hvor raskt universet ekspanderer, og hvordan ekspansjonen endres med tiden, ved å observere supernovaer av type Ia. Slike supernovaer er eksploderende hvite dvergstjerner i dobbeltstjernesystemer. Teorien for disse supenovaene viser at de alle har omtrent samme absolutte lysstyrke og kan oppfattes som "standard lyskilder".

Gruppene har til hensikt å bestemme både Hubble-parameteren, H_0, og bremseparameteren, q. Da er det om å gjøre å bestemme avstanden til supernovaer med størst mulig rødforskyvning, z. For et par år siden hadde man bare observert supernovaer med rødforskyvning opp til $z = 0,1$. Man utviklet derfor en strategi for å oppdage nye supernovaer (se figur 6). Like etter nymåne ob-



Figur 6. Strategi for å oppdage nye supernovaer (fra hjemmesiden til Supernova Cosmology Project. Internettadresse: http://www.supernova.lbl.gov/

serverte man 50 til 100 områder på himmelen som hvert inneholder ca. 1000 galakser med stor rødforskyvning ($z > 0,2$). De samme områdene ble observert 3 uker senere, og bildene fra de to observasjonsperiodene ble subtrahert. På denne måten ble det oppdaget ca. 20 supernovaer av type Ia rett før nymåne, og disse kunne observeres videre under gunstige forhold.

Frem til november 1998 ble det i alt observert ca. 80 supernovaer av type Ia, den fjerneste med rødforskyvning $z = 0,83$. Begge gruppene fant at universets ekspansjon ikke avtar merkbart, og den ene gruppen fant til og med at ekspansjonshastigheten synes å øke. En slik akselerert ekspansjon finner sted i et univers dominert av vakuumenergi. Begge gruppene konkluderer med at observasjonsmaterialet tyder på at størsteparten av universets energi eksisterer i form av vakuumenergi. I et møte på Chicago-universitet 29–31. oktober 1998, kompletterte gruppene sine observasjoner av type Ia supernovaer. De nye observasjonene styrket den opprinnelige konklusjonen: Ekspansjonen til universet har økt siden supernovaene eksploderte for flere milliarder år siden, med en akselerasjon som innebærer at 70 % av universets energi er vakuumenergi. (Dette resultatet ble kåret til "årets gjennombrudd" i 1998,[4] og i *Scientific American* for januar 1999, finnes en spesialrapport på 23 sider med 3 artikler om dette temaet.[5] Se også ref. 6.)

Men heller ikke introduksjon av vakuumenergi i universmodellene er uten problemer. Estimater av vakuumenergi ut fra kvantefeltteori gir en tetthet for vakuumenergien som er 10^{120} ganger større enn den øvre grensen som er forenelig med universets dynamikk. En artikkel i *Nature* fra 1995,[7] der det argumenteres for en universmodell med 65 % vakuumenergi og 35 % materieenergi, avsluttes med bemerkningen: "En ny utfordring er oppstått: hvordan kan vi forklare eksistensen av en massetetthet for vakuum $\rho_V = 10^{-29}$ g/cm^3 som en konsekvens av våre fysiske teorier?"

Referanser

1. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller.* Fra Fysikkens Verden, **56** Nr. 3, 75–83 (1994)
2. NASA Space Science News: *Lifting the Veil on Hubble's Constant.* 25. mai (1999)
3. A.H. Guth: *The Inflationary Universe.* Jonathan Cape (1997)
4. J. Glanz: *Cosmic Motion Revealed.* Science, **282,** 2156–57 (1998)
5. Special Report: *Revolution in Cosmology.* Scientific American, 27–49 (1999)
6. N.A. Bahcall, J.P. Ostriker, S. Perlmutter, P.J. Steinhardt: *The Cosmic Triangle: Revealing the State of the Universe.* Science, **284,** 1481 (1999)
7. J.P. Ostriker og P.J. Steinhardt. *The observational case for a low-density Universae with a non-zero cosmological constant.* Nature, **377,** 600 (1995)

∞

Er fysikerne fysikkens verste fiender?
Noen refleksjoner om fysikkundervisning

Arnt Inge Vistnes *

Jeg ble bedt om å holde et innlegg om fysikkundervisning på fysikermøtet på Geilo 18. juni i år. I en innledning til en paneldebatt skulle jeg gi uttrykk for hva vi på universitetshold kunne ønske oss av fysikkundervisningen i den videregående skole. Det ble et morsomt oppdrag og jeg plukket i forberedelsene opp artige synspunkter om fysikkundervisning som jeg i denne artikkelen håper å kunne dele videre med andre.

Det er mange tanker en kan gjøre seg når en snakker om studentene som universiteter og høgskoler får fra den videregående skole. Vanligvis er vi mer opptatt av å klage enn av å rose, og skal vi følge den tradisjonen, kan vi si: Vi får alt for få studenter med fysikkbakgrunn fra den videregående skole, og de er ikke gode nok, spesielt ikke til å gjøre beregninger. De er lite engasjerte, og en del emner, f.eks. rotasjon, kan de jo ingenting om, fordi det ikke er med i pensum. Men prøver vi å ha en litt videre horisont, kan det være nyttig å se på spørsmålet: Hva er egentlig *hensikten* med å undervise i fysikk i den videregående skolen?

Argumenter for fysikk

Svein Sjøberg har i sin bok "Naturfag som almenndannelse – en kritisk fagdidaktikk"[1] satt opp fire typer argumenter for at det bør undervises i fysikk (oppdelingen er allerede diskutert internasjonalt i noen år):

1. **Økonomi:** Fysikk er nyttig for fortsatt utvikling av høyteknologisamfunnet
2. **Nytte:** Fysikk er nyttig for hver enkelt, for å forstå verden og for å kunne angripe og analysere hverdagslige problemer
3. **Demokrati:** Fysikk er nødvendig for informert meningsdannelse og ansvarlig deltaking i et demokrati
4. **Kultur:** Fysikk er en viktig del av vår kultur og danner grunnlag for mye av filosofien

Selv klarer jeg ikke å forkaste et eneste ett av disse argumentene. Dersom en imidlertid ser hvordan undervisningen i videregående skole drives, heller jeg til, i likhet med mange andre, at argumentene 3 og 4 må være de viktigste. Argumenter av typen 2, og til dels 1, kommer kanskje mer til sin rett på høgskole- og universitetsnivå. Jeg kan gi følgende begrunnelse for den første del av denne påstanden:

- Det er nå ca. 6000 som tar 2FY og ca. 4000 som tar 3FY i Norge pr år. (Dette er ca 7 % av årskullet, mens andelen var om lag 10 % for ca 10 år siden.)
- De som starter på fysikkstudier på universitetene er noen få hundre pr år – en del flere dersom vi tar med de tekniske høgskolene. Selv mange av disse vil bare ha bruk for en liten del av den fysikken (i betydning faktakunnskap) de lærte i den videregående skolen *for deres kommende yrke.*

Fra de to punktene ovenfor, kan vi konkludere med at det er langt flere som tar 2FY og 3FY i den videregående skolen enn de som kommer til å bidra med utvikling av høyteknologi/forskning/undervisning i fysikk senere i livet; og hovedparten av faktakunnskapen i fysikken de lærer i den videregående skolen vil ikke bli brukt aktivt i den jobben de kommer i.

Vi som får elevene fra den videregående skolen til universitetene, vil kunne hevde at de får jo bruk for all den fysikken de har lært, som bakgrunn for de kursene vi gir dem. Men dette er etter min mening bare å forflytte problemet ett nivå opp, uten at det *egentlige* innholdet har endret seg. Vi må nok selv innrømme at hovedparten av faktakunnskapen og de spesielle regneferdighetene vi lærer våre studenter i

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

grunnutdanningen i fysikk, vil de heller ikke få bruk for i sitt videre virke. Så, hva er det som til syvende og sist betyr noe?

Et lite sidesprang kan være illustrativt: Vi hadde ved Fysisk institutt, UiO, for en tid siden besøk av professor Britt-Marie Drottz Sjøberg fra Psykologisk institutt, NTNU, som fortalte om "Risiko-oppfatning, miljø og radioaktivitet". I foredraget skisserte hun bl.a. hvordan grunnlaget for politiske beslutninger bygges opp. Som vi alle kjenner til, bidrar både synspunkter fra eksperter og fra folk flest; og det er interessant å se hvor forskjellig disse to gruppene håndterer kontroversielle emner. Jeg har omarbeidet et lite skjema hun presenterte, men hovedideen tror jeg er i behold:

	Ekspertene:	*Folk flest:*
Beslutnings-underlag:	Informasjon, data	Oppfatninger
Type argument:	Logiske	Verdi- og følelsesladde
Arbeids-metode:	Systematisk utvikling, testing	Prat over en kopp kaffe, overtaling

Det har gjentatte ganger vist seg at politiske beslutninger i vel så stor grad baserer seg på folkeoppfatninger som på ekspertenes utsagn, og vi må iblant innrømme at *det* faktisk ikke er så dumt. Skal demokratiet leve, og skal samfunnet kunne utvikle seg i en rimelig god retning, kan vi ikke bare satse på ekspertene. Men da må også en viss forståelse for fysikk kunne reflekteres i praten over en kopp kaffe på en veikro, eller for den saks skyld i stortingskantina. For å oppnå dette, må vi bruke fysikkundervisningen i den videregående skole! Hva bør da undervisningen inneholde?

Vi burde velge stoff som er direkte relatert til de områdene der vi synes det er størst behov for 'input' til samfunnet, slik at demokratiet og våre levevilkår i det minste ikke skal bli styrt av direkte misforståelser av hvordan naturen og teknikken fungerer. Noen emner som da kunne være aktuelle er: Energibegrepet, kinetisk energi (bl.a. i biler), strøm/spenning/resistans/effekt/tap, lavfrekvente elektriske og magnetiske felt, radiobølger (mobiltelefon), radioaktivitet o.l.

Hovedvekten i denne sammenhengen må kanskje ligge på å gi faglig korrekt informasjon (faktakunnskap) og vise hvordan vi som fysikere analyserer denne type emner. Holdningene vi forsøker å formidle må være vel gjennomtenkte (reflekterte lærere). Men også andre aspekter i undervisningen kan være nyttige (se senere).

Undervisningsform

Når fysikkundervisningen vurderes, er det ikke nok å se hva som står i lærebøkene. I høyeste grad er *undervisningsformen* viktig. I videregående skole synes jeg generelt at det er altfor mye oppmerksomhet rettet mot lærebøkene og altfor lite fokus på gruppearbeid og prosjektoppgaver der elevene kan få litt friere tøyler til å utforske ting på egen hånd. Jeg kunne ønske større mulighet for diskusjon. Men min kritikk vil selvfølgelig ikke være like berettiget for enhver skole; noen lærere har eksperimentert mye allerede. Jeg er også blitt informert om at det er nesten umulig å drive gruppearbeid/prosjektoppgaver på enkelte skoler siden 3FY-elevene kommer fra ulike klasser. En klasse er kanskje på utenlandstur i en uke, uka etter er en annen klasse på reise, en tredje uke er noen på biologiekskursjon osv. Gruppen som har 3FY møtes da så sjelden fulltallig at gruppearbeid blir vanskelig å gjennomføre. I slike tilfeller må hverdagen bli svært frustrerende for lærerne; men dette vitner vel om en mangelfull koordinering og planlegging sentralt på skolen?

Jeg er skeptisk til laboratorieundervisning av typen: "Kjøp et labsett fra et eller annet læremiddelfirma og kjør en ferdig komponert oppgave på laben." Måleutstyr trengs, ingen tvil om det, men hadde det ikke vært en idé å gjøre flere av eksperimentene med gjenstander som vi *faktisk* omgir oss med til daglig, og ikke bare med ferdig innkjøpt labutstyr? For eksempel kunne vi gjennomføre et eksperiment som viser kinetisk energi ved å ta utgangspunkt i hvordan bremselengden for en bil endrer seg med hastigheten, i stedet for å bruke klosser på et bord på laben? En kunne starte med 50 km/t, måle bremselengden i praksis, la elevene beregne forventet bremselengde ved 30 og 80 km/t, og så gjennomføre forsøket. For å få dette til, ville det antakelig være riktig å bruke gruppearbeid (med nødvendig tilsyn!).

Når det gjelder radioaktivitet, ville det ha vært interessant å måle naturlig nivå av ioniserende stråling, gjerne også bidrag fra kosmisk stråling ved flyreiser om sjansen byr seg, og dermed gjøre stråling til den naturlige delen av hverdagen som den er. Men samtidig synes jeg det ville være

riktig å gi et biologisk system (f.eks. en plante) en så kraftig stråledose at den negative effekten klart kommer fram. I et gruppearbeid kunne en så regne litt på hvordan ulike utslipp ville bidra til strålenivået og dermed få en forståelse av hvor dette nivået ville ligge i forhold til de dosene som faktisk gir merkbare ødeleggende effekter. Å oppleve selv at det praktisk talt ikke er mulig å påvise effekter av lave stråledoser, men at effektene kan være dramatiske av store doser, og litt regning rundt omkring disse spørsmålene, vil gi elevene et *totalt* annet utgangspunkt for vurdering av ioniserende stråling enn det menigmann har i dag. Eksperimenter ville da være en viktig del av innlæringen.

Jeg har selv opplevd å se forvridde, deformerte fiskefostre med pumpende hjerter etter at vi bestrålte dem med et tannlegerøntgenapparat der vi hadde fjernet filteret på utgangen. Dette er en av de opplevelsene innen forskning som har satt dypest spor i meg. Jeg skulle ønske at de fleste hadde opplevd noe liknende. Boklig lærdom om energier pr nukleon, forskjeller på α-, β-og γ-stråling osv, er tekniske detaljer som spiller liten rolle i debatten i samfunnet om radioaktivitet og kjernekraftverk. Det er den biofysiske dimensjonen som må inn for at diskusjonen skal blir meningsfull.

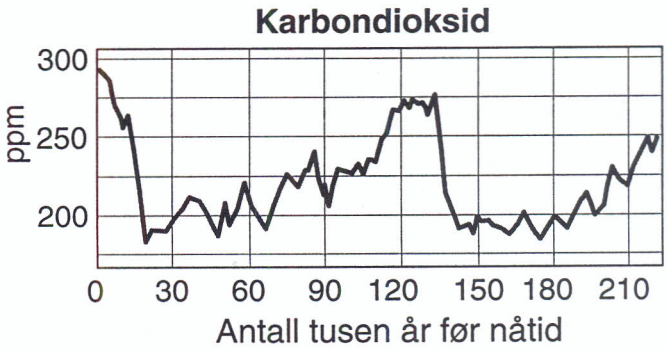
Med en endret arbeidsmåte (gruppe- og prosjektarbeid) ville en ikke kunne rekke over alt stoffet som nå presenteres. Men ville det være noen katastrofe? Vi ville gjøre det enda dårligere i de internasjonale fysikkolympiadene, og kanskje skåre litt dårligere på noen av de internasjonale testene. Men er det slike forhold som skal styre vår undervisning?

Vurdering av faktakunnskap

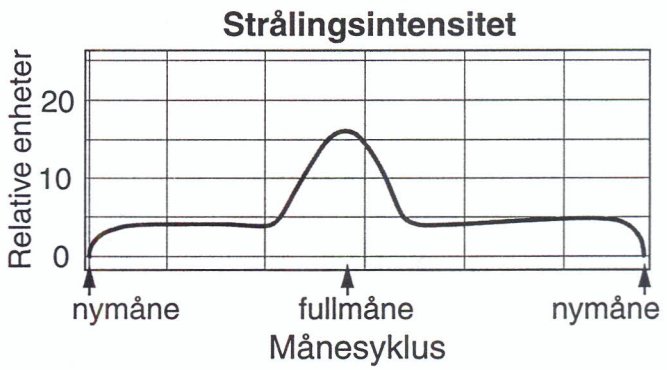
En sak til ligger meg på hjertet. Bøker av idag og hele Internett, florerer med faktakunnskap. Vi vet at det er to måner omkring Mars, og at det er rester av en atmosfære der osv. Vi har kunnskap om hvordan CO_2-innholdet i atmosfæren har endret seg de siste tusener av år (se figur 1). Og vi kjenner til hvordan strålingsintensiteten endrer seg med månefasene (se figur 2). Dette er eksempler på publiserte data. Gransk figurene!

I vår leserkrets blir det nok en viss reaksjon når jeg så forteller hva slags stråling det er snakk om i figur 2, for det er "jordstråling"!

De fleste som leser denne artikkelen skjønner forhåpentligvis nå at jeg spiller litt skuespill, for jeg vet like mye som dere at denne kurven over jordstrålingens intensitet som funksjon av månefasen, er mindre verd enn det papiret den er skrevet på. Ja, vi har kanskje til og med en sterk mistanke om at kurven er et rent falsum? Men poenget er: Hvordan skal folk flest skjønne dette?



Figur 1. Karbondioksid i atmosfæren de siste 210 000 år (kilde: Jerstad og Sletbak, 1998).[5]



Figur 2. Stråleintensitet (relative enheter) som funksjon av månefasene (kilde: Schmidt, 1986).[6]

Eksemplet jeg valgte er temmelig lett å gjennomskue for dem som har jobbet med jordstrålingsproblematikken, men vi kan finne nærmest uendelig mange eksempler i andre gråsoner der jeg skal garantere at det ikke bare er jeg som ville ha problemer med å skjelne mellom holdbar og ikkeholdbar informasjon.

I dag, da vi som sagt oversvømmes av faktakunnskap, blir det mer nødvendig enn noensinne å kunne takle usikkerheten i tilgjengelig informasjon på en sunn måte. Vi ønsker ikke at våre elever og studenter skal bli bevisstløse "trosmedlemmer" av spesielle "oppfatningssekter" i samfunnet, f.eks. godta alt som påstås å ha med jordstråling å gjøre. Jeg ønsker heller ikke at våre studenter skal bli "trosmedlemmer" av ulike foreninger som fanatisk hevder det motsatte standpunkt, f.eks. at "jord-

stråling er bare noe ordentlig vrøvl", uten at de overhodet har gått inn i problematikken på en balansert måte. Vi trenger ikke fanatikerne som bare sier: "Dette er vrøvl, basta!" Vi trenger mennesker som kan si: "Jeg synes ikke ideen om jordstråling har noen verdi, fordi ...", med en ordentlig forklaring uten altfor mye adrenalin!

For å være enda mer provoserende, kan jeg si: Jeg ønsker ikke at våre elever eller studenter skal bli bevisstløse trosmedlemmer av "salig-er-alt-som-har-med-naturvitenskap-å-gjøre-samfunnet". Vi kan med rette være stolte av å være naturvitere, og stolte av å være fysikere. Men det er viktig at vi innrømmer både overfor oss selv og andre, at vi ikke besitter den hele og fulle sannhet, og at vi faktisk rett som det er har gjort, og fortsatt gjør, feil.

For noen år siden skrev Odd Wormnæs og jeg en bok: "Kan vi stole på vitenskapen?"[2] (Omtalt i Fra Fysikkens Verden, nr 1, 1997). Denne boka tar opp de problemene jeg nå berører. Boka må være et av de mest mislykkede bokprosjektene noensinne. Den ble bare ble solgt i noen få hundre eksemplarer, og det viser hvor liten interesse det er for denne type stoff. Men betyr dette at slikt stoff også er uaktuelt i den videregående skole? Jeg tror ikke det. Jeg er tvert imot overbevist om at vi i fremtiden vil bli langt mer opptatt av å sjekke holdbarheten av informasjon enn vi er i dag. Indirekte gjør vi dette allerede, bl.a. i fysikkundervisningen, men resultatet er likevel etter min mening elendig. Jeg kjenner studiekamerater som tror på astrologi, og andre som tror på auraen osv. Og vi kjenner alle til leger, sykepleiere eller fysioterapeuter som tilbyr tjenester innen svært merkelige former for "alternativ medisin", og er helt "frelst" i sin tro. Men hvorfor skulle det ikke bli slik?

Gir vi våre elever eller studenter mulighet til å utvikle et verktøy som de kan bruke når de står overfor nye (eller gamle) oppfatninger og spør seg selv: Er det noe hold i dette, eller er det ikke?

Min hypotese for hvorfor boka til Wormnæs og meg ikke slo an, er at de fleste er så usikre på hvordan vi skal te oss på dette området at vi helst vil unngå denne type problemstilling. Det er faktisk litt nedslående å oppleve at *vi selv*, når det kommer til stykket, ofte har mangelfulle begrunnelser for de oppfatningene vi har. Vi kan fort komme til å oppdage at vår aversjon mot soneterapi egentlig er noe vi har plukket opp fra kolleger og miljøet rundt oss, uten at vi egentlig vet hva soneterapi er; og at vi har en utrolig tro på BigBang fordi det jo er vettuge fysikere som har utviklet disse teoriene, uten at vi har en nærmere begrunnelse enn som så. Disse argumentene bør så absolutt telle med. Men hvilke *andre* kriterier skal vi legge til grunn for hva vi setter vår lit til? Her er vi ofte på tynn is.

Jeg tror det ville ha vært nyttig å diskutere denne type problemer allerede i fysikkundervisningen i den videregående skolen. Om noen år ville vi da kunne prate om slike spørsmål på en langt mer meningsfull og nyansert, og mindre agressiv, måte enn vi gjør i dag.

Fasitkultur?

Jeg har lyst til å være provoserende enda en gang: Verdsetter vi våre elevers eller studenters kritiske tanker når det gjelder ulike deler av fysikken? Hvordan takler vi f.eks. elever eller studenter som betviler visse tolkninger av kvantefysikken, eller som betviler tolkningene av moderne eksperimenter med "entangled photons"?

Dan Yngve Jacobsen ga nylig en beskrivelse av fasitkultur innen ulike fag som jeg rygget tilbake for da jeg leste den.[3] Her er noen bruddstykker:

- Fasitkulturen ser på læring som informasjonsprosessering, hvor studentene forventes å finne den ferdige informasjonen i forelesninger, lærebøker og andre tekster.
- Læring i seg selv blir forstått som å tilegne seg mest mulig av denne informasjonen og lagre den for senere bruk.
- Selvstendig meningsproduksjon eller nye løsninger, blir ikke verdsatt i omgivelsene på samme måte som det å kunne gjengi fakta.
- Styring av læringsarbeidet inn i forhåndsbestemte kunnskapskategorier med liten grad av autonomi i prosessen, vil også fremme ytre motivasjon og angst for ikke å strekke til i forhold til oppsatte mål.
- En slik kultur forventes heller ikke å fremme samarbeid mellom studentene fordi problemer, lærestoff og løsninger er definert a priori.

Jeg spør meg selv: Har vi fysikere havnet i en "fasitkultur"? I så fall sier pedagogisk forskning at det automatisk går ut over engasjement og interesse blant dem som skal tilegne seg denne kulturen. Det er i denne sammenhengen det blir aktuelt å spørre: Er fysikerne fysikkens verste fiender? Svein Sjøberg gir noen syrlige bemerkninger om dette emnet i en artikkel nylig.[4] De er vel verd å lese og fundere litt på.

Jeg vil komme med enda en påstand: Fungerer fasitkulturen vi er en del av i det internasjonale fysikersamfunn på en måte som hemmer fri meningsutveksling? Mitt svar er, ja. Problemer i visse deler av fysikken er det helt legitimt å prate om, men andre sider av fysikken tør vi ikke vise at vi faktisk tviler på. Jeg har selv visse kjetteriske tanker innen fysikken, og har forsøkt å drøfte disse med noen av mine kolleger. Men det er sjelden at jeg er blitt møtt med nysgjerrighet og oppmuntring til å gå videre. Tvert om har jeg flere ganger møtt mer eller mindre øyeblikkelige halvgode forklaringer som for meg har virket som en avfeiing av problemet, og det er vist liten interesse for virkelig å lytte til mine argumenter. Holdningen er: "Dette er (eller underforstått, det må da antakelig være) et kjent fenomen. Les deg til svaret, for det er da klart at vi i fysikken har skjønt det der!" Men jeg har i ettertid skjønt at noen av de sakene jeg har lurt på, er det faktisk ingen som kan gi gode forklaringer på den dag i dag når det kommer til stykket!

Fasitkulturen er ikke bare et nasjonalt problem; det gjelder hele den vestlige verden. Jeg heller derfor til å tro at fasitkulturen kanskje er mer ansvarlig for sviktende interesse for fysikk enn forklaringsmodeller basert på lokale betraktninger av læreplaner, Reform94, spesielle lærebøker osv. Den sviktende interessen for fysikk er jo et problem i mesteparten av den vestlige verden, ikke bare i Norge.

En annen viktig faktor for manglende rekruttering til fysikk ligger kanskje rett og slett i at vi i Vesten er blitt vant til et makelig liv, både voksne og unge. Og fysikk kan neppe læres uten et visst minstemål av strev og innsats. Det er kanskje ingen tilfeldighet at rekruttering til friidrett og fysikk følger litt det samme mønsteret? Det er vel ikke så mye vi som fysikklærere kan gjøre på dette området, bortsett fra å tenke nøye gjennom hvordan vi velger å gi karakterer i fysikk i skolen. Akkurat det kan jo være viktigere enn vi iblant tror; og den diskusjonen som allerede pågår på dette området, synes jeg er helt nødvendig.

Andre argumenter

Hittil har jeg vært mest opptatt av "demokratiargumentene" for å gi fysikkundervisning i den videregående skole; men som sagt er dette bare ett av flere sett argumenter.

For å ivareta det såkalte "kulturargumentet" for å drive fysikkundervisning, burde en kanskje velge ut biter som har med vårt verdensbilde å gjøre, gjerne knyttet til viktige filosofiske spørsmål. Nærmest i stikkords form kan vi nevne følgende emner: Hva er naturen bygget opp av (atomteori, elementærpartikler, det periodiske system)? Gudsbegrep og kosmologi (du leste ikke feil!), om å oppnå erkjennelse ("Das Ding an Sich, und das Ding an Mich", gjerne belyst av spennende forsøk knyttet til syn eller hørsel), kvantefysikkens statistiske betraktningsmåte, kaotiske system og sommerfugleffekten, spørsmålet om naturen er deterministisk m.m.

For å ivareta litt av nytteargumentet (tilfredsstillelsen av å forstå naturen og tekniske innretninger bedre), kunne en f.eks. ta opp følgende emner: Lysspreding (blå himmel/rød sol ved solnedgang/regnbue), koking/vanndamp/gasslover, lyn/torden, magnetiske krefter/motor, kraftmoment, strømning i rør/aerodynamikk/flyvinge, rakettmotoren, friksjon, sentrifuge, satelitter, GPS, transformator m.m.

For at elevene skal forstå hensikten med ulike deler av pensum, kunne det være fint å si direkte fra om når vi skifter mellom f.eks. "demokratiaspekter" og "kulturaspekter" av fysikken. Dette er like mye aktuelt på universitetsnivå som i den videregående skole!

Det er én side ved fysikkfaget som jeg har dekket lite, men som antakelig er meget viktig. Jeg tenker da på frasen "å tenke som en fysiker". På en eller annen måte oppøves vi i fysikkfaget i en måte å angripe ulike problemstillinger på: Vi analyserer problemet og forenkler det slik at det faktisk kan foretas noen overslag eller beregninger. Vi gjennomfører beregningene og trekker konklusjoner tilbake til det problemet vi startet med. Det er nok av eksempler på at denne måten å tenke på slår feil, men vi kommer ikke utenom at denne evnen til å se og analysere materielle, naturvitenskapelige og tekniske problemer, er et av våre viktigste varemerker. Jeg vet ikke hvor langt det er mulig å oppøve en slik evne i 2FY og 3FY, men i alle fall må dette være en av de viktigste aspektene ved fysikkundervisningen på høgskole- og universitetsnivå.

Oppsummering

Tilbake til spørsmålet: Hvordan ønsker egentlig vi ved universitetene at studentene som vi får fra den videregående skole skal være? Svaret blir nok avhengig av hvem du spør, men *jeg selv* savner mer engasjement enn kunnskap hos de studentene jeg

får. Jeg savner begeistring og vilje til å gjøre noe spesielt. Og jeg hater oppfatningen om at undervisning i det vesentligste er overlevering av kunnskap fra lærer til elev/student. Det er mer givende å møte studenter som har skjønt måten vi angriper problemene på innen fysikk, enn studenter som bare har et vell av faktakunnskap. Det er også viktig for oss at sentrale begreper er innarbeidet, så som bevegelsesmengde, energi, felt, ladning, spenning, strøm, bølger, fotoner osv. På dette området er det min oppfatning at den videregående skolen gjør en meget god jobb. Vi kan bygge på alt det elevene har lært i den denne skolen, men uansett må vi fylle på der noe mangler. Og hull vil det alltid være. Det er derfor at jeg har valgt å sette fokus på de andre tingene ved fysikkfaget enn akkurat faktakunnskapen og det å innarbeide begreper. Utfordringen ligger kanskje nå på et annet hold; og jeg vil oppsummere mine tanker på følgende måte:

- Det er kanskje viktigere å la elevene få *oppdage* vitenskapelig tankegang brukt i noen få situasjoner, enn å gi dem en masse faktakunnskap spredt over et stort utvalg fra all fysikk.
- La elevene *bli familiære* med noen sider av fysikken som er viktige for betydningsfulle beslutninger i samfunnet.
- Bruk dagligdagse gjenstander i stedet for "labgjenstander" i forsøk.
- Stimuler til egeninnsats og egen grubling, gjerne i prosjektarbeid, og eksperimentér mer med ulike undervisningsformer.
- Gi en fremstilling av den nære forbindelsen mellom fysikk, kultur, filosofi, og verdensoppfatning.
- Ikke fremstill fysikken som om praktisk talt alle spørsmål nå er løst, men pek også på de mange hullene i vår kunnskap og på kontroversielle emner. Fortell studentene at det faktisk ikke er utenkelig at de en gang i fremtiden kan tette noen av hullene!
- Sett pris på om elevene kommer med motforestillinger til det som blir undervist. Lytt til dem! Det er ofte gjennom meningsutvekslinger at ideer og begreper modnes, både hos elev og lærer!
- Fortell elevene når vi skifter mellom "nytteaspekt", "demokratiaspekt" og "kulturaspektet" av fysikken.
- La elevene få gruble litt på hvordan vi kan skille mellom faktakunnskap som vi ønsker å bygge videre på, og faktakunnskap som vi stoler mindre på.
- Prøv selv å vise, og prøv å fremelske hos elevene, balanserte holdninger til ulike kontroversielle tema knyttet til fysikk, også etiske problem.
- Husk: Det er mer "fysisk tenkemåte" som har verdi i det lange løp enn faktakunnskap!

Indirekte følger det av disse punktene:

1. Læreboka må detroniseres for at andre undervisningsformer skal få vokse fram; men en slik løsning kan eventuelt gi større fleksibilitet.
2. Det må foretas en reduksjon i antall emner av fysikken som skal tas med. Begrunnelsene må gjøres ut fra demokrati-, kultur- og andre argumenter, og ikke ut fra hva "alle andre" har med. Valg som er gjort internasjonalt er ikke nødvendigvis de rette. Fysikkinteressen i praktisk talt alle vestlige land er jo i krise, hvilket jo sier sitt!

Takk

Karl Måseide har kommet med mange språklige tips og korreksjoner til manuskriptet, og Anders Isnes og Øivin Holter har gitt verdifulle kommentarer. Takk til dere alle!

Referanser

1. Svein Sjøberg: *Naturfag som almenndannelse – en kritisk fagdidaktikk.* Ad Notam Gyldendal, (1998)
2. Odd Wormnæs og Arnt Inge Vistnes: *Kan vi stole på vitenskapen?* Cappelen forlag (1994), 123 sider.
3. Dan Yngve Jacobsen: *Problembasert læring og kulturer for læring.* UNIPED nr 1, 6–18 (1999)

   Deler av denne artikkelen er etter min mening svært tunglest og lite givende, men beskrivelsen av "Kulturer for læring" (s 13–15) fant jeg meget tankevekkende.
4. Svein Sjøberg: *Naturvitenskapens tapte ære.* Appollon nr 2, 13–17 (1999)
5. Per Jerstad og Bjørn Sletbak: *Rom, stoff, tid, 3FY grunnbok.* Cappelen, (1998)
6. Paul Schmidt: *Jordstråling. Kan jordstråling forårsake sykdom? Hvordan beskytter man seg mot den?* Småhefte fra Rayonex Strahlentechnik GmbH, Bonn, 28 sider (1986)

∞

Fysikk i Skolen

Fysikk i videregående skole

I FFV 4/98 ber Anders Isnes om synspunkter på fysikkens stilling i norsk skole, og spesielt på hvordan faget kan gjøres attraktivt for å fremme økt rekruttering. Jeg håper punktene nedenfor kan bidra til en fruktbar diskusjon av dette tema.

Ekstrapoeng og spesiell studiekompetanse

Jeg kan med sikkerhet si at det mest virkningsfulle middel på kort sikt er å gi faget ekstrapoeng ved inntak til studier ved høgskoler og universiteter. Det er særlig viktig at enkelte sentrale studier setter krav om 3FY som inntaksgrunnlag.

For å begrunne disse påstandene, vil jeg referere til erfaringer fra egen skole. Jeg må da minne om et par hovedtrekk i strukturen på allmennfaglig studieretning ("gymnaset"). Elevene velger ca. halvparten av timene i 2. og 3. klasse. De kan velge mellom to typer fag, studieretningsfag og valgfag. Studieretningsfagene består vanligvis av en enhet for hvert av årstrinnene, f.eks. 2FY og 3FY. Elevene kan velge å avslutte faget etter 2. årstrinn. For å få vitnemål må imidlertid en elev lese *begge* enheter av *minst* ett studieretningsfag, f.eks. 2FY + 3FY. Et fag der begge enheter er lest, kalles gjerne "fordypning". Inntil to fordypninger ut over minstekravet gir tilleggspoeng (fordypningspoeng) ved inntak til videre studier.

Ved vår skole har vi hvert år ca. 200 elever i 3. klasse. Før fordypningspoengene ble innført, hadde ca. 70 % av elevene to fordypninger, 25 % hadde en og de resterende 5 % hadde tre fordypninger. Da fordypningspoengene kom, ble situasjonen radikalt endret: 47 % tok to fordypninger, bare 13 % tok en og hele 40 % tok tre fordypninger. Studieretningsfaget 3KJ fikk en særlig gunstig utvikling fordi det ble innført som inntakskrav til medisinstudiet samtidig med at fordypningspoengene kom. Antallet elever som valgte 3KJ gikk da opp fra 16 til 54 fra ett år til det neste.

Innføringen av tilleggspoeng for realfagene har til nå ikke ført til økning for fysikkens del, men andelene av elever som tar minst ett realfag har økt med ca. 10 %. Fysikk er forsatt det av realfagene som har minst oppslutning. Skal det bli øket rekruttering til fysikk, må nok tiltakene, slik jeg nevnte innledningsvis, rettes spesielt mot dette faget.

Relevans

For fagets posisjon på noe lengre sikt er det etter mitt syn absolutt nødvendig at det oppleves som relevant for videre studier. Læreplanene bør derfor gås gjennom av representanter for mottakende institusjoner for å påse at dette hensyn blir tilfredsstillende tatt vare på.

Struktur og matematikk

I de mange skolereformer vi har vært igjennom, har fysikken vært den tapende part i to viktige sammenhenger.

1. Faget er blitt nesten integrert bort i grunnkurset (1. klasse). Faget var opprinnelig (dvs. etter Steen-komiteens opplegg, gjennomført i 1975) gitt en av de fem timene i det integrerte naturfag i 1. klasse. Det var slik i flere år, og som oftest hadde elevene da lærere med kompetanse i fysikk. Ved seinere revisjoner av læreplanene er integreringsaspektet betonet sterkere, noe som har ført til at fysikkens plass er drastisk redusert. Det er derfor, naturlig nok, blitt uvanlig at lærere med fysikk-kompetanse underviser i faget. Fysikk blir dermed det eneste av realfagene der elevene ikke blir undervist av lærere med spesiell interesse for faget og får innsikt i hva faget dreier seg om. Det ville være merkelig dersom disse forhold ikke skulle ha negativ innvirkning på rekrutteringen.

2. Fysikkens gamle "tvillingbror" matematikken er, spesielt etter reform 94, i valg av emner og eksempler vridd svært langt i samfunnsfaglig og "praktisk" retning. Trening i algebra er f.eks. redusert i en grad som gamle realister knapt vil tro er mulig dersom en ikke har fulgt utviklingen på nært hold. Ganske langt opp i klassetrinnene vil nok en stor del av elevene føle det ganske problematisk å løse eksempelvis linseformelen mhp. f, eller å sjonglere fritt med symbolene i formlene for fart og veg ved konstant akselerasjon. Under slike forhold er det vel ikke rart at mange elever oppfatter fysikk som vanskelig?

"Emneflimmer"

Læreplanene i fysikk, spesielt i 2FY, omfatter mange forskjellige emner, og 2FY blir i stor utstrekning et slags "3FY light". Dette innebærer at mange elever ikke får tid til å arbeide lenge nok med de mange nye, og slett ikke alltid åpenbart fattbare,

begrepene som introduseres. Begrepene får ikke festet seg hos elevene før de er i gang med noe nytt. På denne måten blir det lett til at elevene ikke sitter igjen med litt av alt, men tvert i mot med ingenting av noe av den fysikken som har flimret forbi.

Oppsummering

Ut fra det som her er nevnt, bør følgende gjøres:

1. Det bør gis ekstrapoeng for fysikk ved inntak til høgskoler og universiteter. Fysikk, spesielt 3FY, må stilles som krav ved relevante studier (spesiell studiekompetanse).
2. Læreplanene bør gjennomgås av fysikere i videregående skole og universiteter/høgskoler for å få vurdert skolefagets studierelevans.
3. Fysikere bør arbeide for at faget må få en breiere plass i 1. klasse. Naturfag bør omfatte 6 uketimer og inneholde 2 timer fysikk.
4. Fysikere bør arbeide for å få mer innflytelse på hvordan læreplanene i matematikk utformes. Læreplanen for 1. klasse er snart ferdig revidert, mens de andre planene står for tur. Kanskje dette er en gyllen anledning for fysikere til å gjøre seg gjeldende?
5. Emnetrengselen i 2FY bør reduseres og tiden brukes til større fordypning i de emnene som er tilbake.

Notto Mykland
studieinspektør
Arendal

∞

EPS prioriterer utdanning

European Physical Society (EPS) fikk mange forslag på bordet fra arbeidsgruppene på Malvern-seminaret "Securing the Future of Physics", som ble holdt på Malvern College i forkant av EPSs 11. kongress i London i begynnelsen av september. EPS ønsker å få et bedre grep på spørsmål som angår utdanning og undervisning ved at de bl.a. søker kontakt med lærerorganisasjonene i fysikk på nasjonalt nivå. De ønsker å utvikle et interessefelleskap omkring kvalitet på utdanning, rekruttering og arbeid for å øke allmennkunskapene i fysikk og naturvitenskap. Vi har den heldige situasjonen i Norge at Fysikklærerforeningen er organisert innen NFS. Presidentene innenfor EPS ønsker å gå tungt inn for utdanning og undervisning.

Hvorfor dette seminaret?

Bakgrunnen for seminaret var at EPS gjennom sine nasjonale fysiske selskaper har registrert at

- det er avtakende interesse for fysikk i skolene
- færre studenter ønsker å studere fysikk ved universitetene
- færre studenter velger å ta hovedfag i fysikk
- færre studenter velger å bli fysikklærere
- det er en ny kultur blant unge, som heller velger utdanninger innen mer innbringende yrker
- bildet av naturvitenskapen hos folk flest oppmuntrer ikke til en karriere innen fysikk, bl.a. på grunn av manglende forståelse av fysikkens plass i samfunnet og fagets viktige bidrag til folks daglige liv.

Dette bekymrer EPS så mye at de samlet de fleste presidentene i de europeiske fysiske selskapene til dette seminaret for å diskutere hva som kan gjøres for å gjenreise fysikkfaget. Vi er med andre ord ikke alene om de problemene som jeg har tatt opp i flere sammenhenger i FFV.

Fra norsk side deltok presidenten i NFS, Steinar Stapnes, lederen av Norsk Fysikklærerforening, Anders Isnes, og medlem av The EPS's Forum on Education, Arne A. Grimnes.

Public Awareness of Science

Gjennom mange innlegg under seminaret ble det slått fast at det er en nær sammenheng mellom interessen for fysikkutdanning og naturfaglig allmenndannelse blant folk (Public Understanding of Science and Technology, PUST). Noen hevdet at begrepet "understanding" ikke er et brukbart begrep i denne sammenhengen, men at vi heller burde bruke Public Awareness of Science and Technology, PAST. Men uansett om vi kaller det PUST eller PAST, så er det en høy grad av bevissthet om at fysikkens omdømme i samfunnet og folks holdninger til naturvitenskap, vil være et viktig arbeidsområde i framtiden.

Seminaret avdekket også at det i flere land er satt i gang forskjellige aktiviteter for å framelske en større grad av forståelse for naturvitenskap i samfunnet, og tiltak er i gang for å forbedre fysikkundervisningen i utdanningssystemet. Et tiltak som var framme i flere sammenhenger, var at EPS må

legge forholdene til rette for ideutveksling mellom de landene som er medlemmer av EPS. Dette ønsker de å gjennomføre ved at presidenten i hvert land utpeker en kontaktperson som får ansvar for å spre informasjon om tiltak i sitt eget land gjennom EPS og spre informasjon i sitt eget land om tiltak i andre land. Disse kontaktpersonene bør være medlemmer av EPS's Forum on Education.

Arbeidsgrupper

I tillegg til fellesforelesninger og drøftinger, var fem arbeidsgrupper i sving for å få fram gode forslag til tiltak som EPS kan gå videre med

- Physics Education
- The Public Awareness of Physics
- Physics and the Human Conditions
- Teacher Training
- The Case for Physics Research. Physics and Wealth Creation

Det vil føre for langt å nevne alle forslagene i denne artikkelen. Jeg regner med at EPS kommer til å utfordre de nasjonale fysiske selskapene til å følge en del av forslagene. Norsk Fysisk Selskap og Norsk Fysikklærerforening står overfor en del utfordringer i nær framtid, dersom vi ønsker å bidra til en endring i det vi ser som uheldige utviklinger.

Noe å tenke over

Jeg tar med tre sitater fra sentrale personer under seminaret:

"We should resist the temptation to include too much, and so avoid ending up with a content-dominated curriculum."

"Introductory physics, as taught in most places, is based on 17th century mechanics and the 19th century electromagnetism. It does not reflect where most of the action is in physics today."

"It may be true that society needs more future scientists, but does it also offer what is needed to attract these people? Apparently many young people do not think so, and who are we to say they are wrong?"

Dette er kanskje noe å tenke over for fysikkutdannere og fysikklærere.

Anders Isnes

∞

Konferanse

ICPS'99 i Helsinki, Finland

Den XIV internasjonale konferansen for fysikkstudentar, ICPS'99, vart halden i Helsinki, Finland, 14–20. august. 11 nordmenn, ilag med 260 andre fysikkstudentar frå til saman 38 land, fekk oppleve ei veke med mykje fysikk, finsk natur, kultur og teknologi, strålande sommarver, mange nye vener og gode minne. To av oss som deltok har laga dette reisebrevet frå konferansen.

Ankomst

Deltakarane kom til Helsinki laurdag 14. august og vart innkvarterte på to ungdomsherberge midt i byen. Eit generelt pluss for konferansen var gode kommunikasjonar; Fysisk institutt, studentkantiner og studentaktivitetshus låg alle innanfor gangavstand midt blant sentrumsgoda i metropolen. Helsinki er den byen i EU som ekspanderer fortast for tida, mykje grunna god økonomisk og industriell vekst i Finland. Samstundes har byen ein staseleg arkitektur, og veit å syne seg som smeltedigel mellom austeuropeisk og vesteuropeisk kultur. Dessutan veit finnane å marknadsføre det typisk finske godt, spesielt finsk design og handverk.

Opning

Sundag morgon vart konferansen offisielt opna i den gamle universitetsbygningen ved Senatsplassen midt i Helsinki. Antti Lauri frå arrangørkomiteen, leiar Pawel Wrobel i IAPS (International Association for Physics Students) og ein professor frå Fysisk instiutt m.fl. talte. Ein fysikkstudent spelte Jean Sibelius på klaver, og deretter heldt professor Cecilia Jarlskog frå Sverige det første av tre bestilte foredrag av kjende fysikarar. Jarlskog, som m.a. er sterkt involvert i CERN og leiar for nobelkomiteen, snakka om partikkelfysikk. Etter opningsseremonien vart det teke gruppebilete av alle deltakarane på plassen utanfor, og deretter var det ulike ekskursjonar til industriområde nær Helsinki. Til sist vart deltakarane bussa til Nuuksio nasjonalpark, der opningsfesten vart halden. Ertesuppe, sauna og fotballturnering er viktige stikkord derifrå. Det norske (lands-)laget gjorde ein imponerande og uredd innsats på sletta, men trass i

høg moral og høge Flo-pasningar, laut vi gje tapt mot eit samansett europeisk lag.

Foredrag

Måndag var mesteparten av aktiviteten konsentrert på Fysisk institutt. Det var tilbod om omvisningar på ulike laboratorium på instituttet, og dei første av i alt 70(!) studentforedrag vart haldne. Til kvart foredrag var det sett av 25 minutt, og foredraga gjekk i parallellsesjonar i tre til fire auditorium. Nivået på studentforedraga hadde heva seg monaleg dei siste åra, vart det hevda, og også dei vel 45 posterane heldt jamt over høg kvalitet. Frå Noreg snakka Kjetil Kjernsmo (Astrofysisk institutt, UiO) om "X-Ray Observations of Microlensing Events", Amund Bjerve (Fysisk institutt, UiO) om "Statistical Properties of the Nucleus" og Sigrid Sagevik (Fysisk institutt, UiB) om "Measurements of Power-Frequent Electric and Magnetic Fields". Bjerve og Sagevik vart uttrekte til å delta på ICPS'99 på grunnlag av foredrag dei heldt på Fysikarmøtet på Geilo tidlegare i sommar.

Måndag heldt også professor Anton Zeilinger frå Austerrike det andre av dei inviterte foredraga. Han snakka om "Experiments and the Foundations of Quantum Physics"; mykje godt det same foredraget som han heldt på Fysikarmøtet på Geilo.

Utpå ettermiddagen heldt borgarmeisteren i Helsinki ei mottaking for ICPS i rådhuset, og deretter kunne dei som ikkje hadde fått heteslag i saunaen i nasjonalparken dagen før sveitte meir i eit stort sauna- og symjeanlegg i Helsinki sentrum.

Suomenlinna og National Party

Tysdagen var fri for foredrag og ekskursjonar, og starta med sightseeing med båt kring Helsinki i staden. Båtturen enda på ei av dei fire øyane Suomenlinna (Sveaborg), som samla husar det gamle festningsverket for byen. Etter lunsj i det grøne og bad i Austersjøen, fekk vi tid til å spasere rundt blant borger og museum, før vi returnerte til Helsinki og starta førebuingane av National Party. Det starta allereie klokka 18.00, med smaksprøver på mat og drikke frå dei ulike landa, i New Student House. Den norske delegasjonen improviserte rømmegraut m.m., noko som fall godt i smak blant dristige søreuropearar og finnar: "It's rather... different!" Klokka 20.00 heldt feiringa fram i Old Student House, med korte innslag frå alle deltakarlanda. Vi framførte "Vidvinkelstev" av Lillebjørn Nilsen og ein samisk joik. Festen heldt fram ut i dei små timar, og dei mest iherdige finnane – og nordmennene – gav seg ikkje før etter privat nachspiel med sauna utpå neste føremiddag.

Norske studentar framfører "Vidvinkelstev" (f.v. Karl Idar Gjerstad, Sigrid Sagevik og Kjetil Kjernsmo).

Foredrag og IAPS

Onsdag starta naturleg nok noko rolegare enn dei føregåande dagane. Dei som stod tidleg opp kunne delta på ulike spaserturar i Helsinki, eller vitje Heureka Science Center eller Nokia Research Center. Etter lunsj heldt foredrag- og posterseksjonane fram, og på ettermiddagen var det duka for General Meeting i IAPS. Om kvelden kunne ein m.a. vitje ein restaurant og ete typisk finsk mat, eller nyte livet i den største fornøyelsesparken i Finland.

Foredrag og avslutningscruise

Torsdag var det tid for dei siste foredraga og posterane, og den finske professoren Kari Enquist, snakka om "New Directions in Cosmology". Så snart vi hadde ete lunsj bar det til avgangsterminalen til Viking Line, og vi entra M/S Cinderella for eit 20-timars cruise i Austersjøen. Båtturen danna råma kring avslutninga av konferansen. Under avslutningsseremonien vart det m.a. delt ut prisar til beste foredrag og beste poster, og det nye, ungarske styret i IAPS presenterte seg. Alle fasilitetar gjorde cruiset til ein verdig avslutning på ei hendingsrik og inspirerande veke.

Avreise

Fredag føremiddag kom båten til Helsinki att, og deltakarane vende nasene heimover.

Summa summarum var ICPS'99 eit særs vellukka arrangement. Som deltakarar var det inspirerande å verte kjende med så mange vordande fysikarar frå heile verda, drøfte fysikk og prøve seg med fysikkforedrag for eit ukjent publikum. Mange sosiale aktivitetar gav tid til nettopp å drøfte fysikk og pleie nye venskap, og det var også tid til å vandre rundt og oppleve Helsinki på eiga hand.

Konferansen var rimeleg (120 Euro ≈ 980 NOK), og ein fekk mykje att for pengane.

Neste sommar vert ICPS halden i Zadar i Kroatia. Den bør flest mogleg av norske fysikkstudentar absolutt få med seg!

Sigrid Sagevik og Amund Bjerve

∞

Bokomtaler

John Earman: Bangs, Chrunches, Whimpers and Shrieks. Singularities and Acausalities in Relativistic Spacetimes. Oxford University Press, 1995 (257 sider), ISBN 0-19-509591-X

Fysikk for filosofer og filosofi for fysikere

Virksomheten til naturvitenskapsfolkene grunner seg på at alle typiske prosesser er styrt av "lover". De prøver å finne fram til regelmessige mønstre i mengder av observasjoner og eksperimenter. Men de prøver ikke å forklare disse fundamentale lovene. Det må i beste (verste) fall overlates til filosofer (teologer).

Einsteins teori for tyngdevirkning (den generelle relativitetsteori) er filosofisk vakker, elegant, dyp og enkel. Den er matematisk ganske komplisert. Men inneholder den sannheten om naturen? Til nå er den uten unntak triumferende eksperimentelt bekreftet. Det er derfor særdeles god grunn til å ta på ramme alvor hva denne teorien forteller oss om virkeligheten.

Naturvitenskapsfilosofen John Earman har nå skrevet en interessant bok om forskjellige merkverdige aspekter ved Einsteins gravitasjonsteori som fysikerne har avdekket. Boka har den besnærende tittel: "Bangs, Chrunches, Whimpers and Shrieks. Singularities and Acausalities in Relativistic Spacetimes." Det er Earmans uttrykte ønske at boka hans må bli opptakt til at filosofene vil begynne å interessere seg for grunnspørsmål innenfor generell relativitetsteori. Den vil ha tjent sin misjon hvis filosofene kan yte et like verdifullt bidrag til Einsteins teori som de har gjort til tolkningen av kvantemekanikken.

Det såkalte linjeelementet i generell relativitetsteori gir sammenhengen mellom hendelser i tid og rom. Allerede den første eksakte løsningen av Einsteins feltlikninger, den såkalte Schwarzschild-løsningen for linjeelementet utenfor en kulesymmetrisk materiefordeling, er det åpenbart noe skremmende og mystisk ved. En av koeffisientene i linjeelementet blir null og en annen koeffisient blir uendelig for to forskjellige verdier for radius. Singulariteter kalles slike punkter der løsningen er uten fysisk mening. For den som nå sliter med å tolke nye løsninger av Einsteins feltlikninger, er det nesten oppmuntrende å lese Earmans gjennomgang av hvordan pionérene innenfor relativitetsteori vaklet og sleit, snublet og falt i tolkningen av den enkle Schwarzschild-singulariteten.

Einstein selv var meget fortørnet over muligheten for slike punkter der geometriske eller fysiske størrelser vokser over alle grenser. I kapittel nummer 2 viser Earman at det til og med er vanskelig å gi en dekkende presis definisjon av hva singulære tid–rom-punkter virkelig skal innebære. Dette er nok det kapitlet som er mest vanskelig tilgjengelig. Det må derfor leses med megen omhu. Her presenteres nemlig mange matematiske begreper og sammenhenger som nok er helt nødvendige for at presisjonsnivået skal være solid. Men jeg tror nok at folk uten hard og skikkelig trening i matematisk tenkning skal få ofre blod, svette og tårer før de mestrer dette stoffet. Muligens bør de i første omgang lese de første omfattende kapitlene i bøker som Wald: "General Relativity" eller Hawking/Ellis: "The Large Scale Structure of Space-Time" for å befinne seg på noenlunde trygg grunn. Men mentalt hardkjør må til, for der går ingen kongeveg til matematikkens rike. Faren er kanskje at boka kan redusere seg til filosofi for matematiske fysikere.

Her presenteres også flere av de kjente singularitetsteoremene som viser at singulariteter er noe vi må lære å leve med. Noen vil anse dem for å være en trussel mot generell relativitetsteori som god teori eller i alle fall som signal om at teorien bryter sammen under spesielle omstendigheter.

Nå er det som kjent en viss forskjell på determinisme og forutsigelighet. Et deterministisk system styres av likninger som ikke gir rom for slingringsmonn i løsninger. Men den riktige løsningen for et bestemt fysisk system kan bare bestemmes når en også kjenner grense- og startbetingelser. Visse systemer er såkalt kaotiske, slik at utfallet er sterkt avhengig av initialbetingelsene. En kan bare forutsi hva som vil skje i et kort tidsrom. Men singulariteter styres i beste fall av ukjente lover. Her kan hva som helst inntreffe, og fysikkens hovedoppgave om å forutsi går tapt. Roger Penrose foreslo at det i universet skal virke et prinsipp han kaller 'kosmisk sensur'. Ingen informasjon skal da kunne bre seg fra singulære punkter. I kapittel 3 skildrer Earman mange forsøk på å etablere dette prinsippet og de forskjellige moteksemplene som er konstruert. Det er uklart hva som skal regnes som realistisk fysikk, og utfallet av kampen er langt fra avklart.

Jeg minnes selv en konferanse i Padova der grekeren Christodolou stolt la fram en modell der en sky av støvpartikler utviklet en naken singularitet ved senteret av materiefordelinga. Penrose parerte kontant med å hevde at en måtte forvente trykkrefter for så sterke gravitasjonsfelter.

Et meget interessant problem i denne forbindelse er sluttresultatet når svarte hull fordamper. Vil de forsvinne fullstendig, eller vil de etterlate seg mystiske, nakne singulariteter i universet?

Et helt kapittel er også viet problemet med horisonter i universet. Vanlig standard kosmologi viser nemlig at bakgrunnstrålingen fra ganske forskjellige retninger av verdensrommet kommer fra områder som aldri har fått tid til å utveksle informasjon. Men da er det vel forunderlig at denne strålingen er så ensartet. Såkalt inflasjonskosmologi hevder å løse gåten. Standard kosmologi må finjustere startbetingelsene til universets fødsel for å ha et slags svar. Inflasjonskosmologien hevder at universet en gang ekspanderte eksponentielt, slik at det univers vi observerer før inflasjonen hadde rikelig tid til å bli uniformt. Men Earman er skeptisk til dette inflasjonssvaret. For parametrene i inflasjonmodellen må også finjusteres. Den ene finjusteringen er vel knapt bedre enn den andre?

I dette kapitlet er det en grov trykkfeil i linjeelementet for homogene og isotrope universmodeller. Det er også feil at en negativ kosmologisk konstant vil gi rask ekspansjon (side 151). Den kosmologiske konstant må nok være positiv for å ha dem ønskede inflasjonseffekt.

Boka til Earman har også et spennende kapittel om muligheten for lukkede tidkurver i kosmos. Da vil den reisende komme tilbake til det sted, og også den tid, da han startet. Dette smaker av sciencefiction, men Kurt Gødel konstruerte de første universmodeller med slike rariteter. Siden er det framlagt flere nye modeller med disse mulighetene for paradokser.

Til sist behandler Earman sykliske universmodeller. Kosmologien til flere religioner bekjenner seg jo til slike modeller. Men Earman er avvisende. Universer som i en fjern framtid trekker seg sammen, vil til sist kollapsere katastrofalt til en singularitet. Det finnes ingen kjente fysiske prinsipper som kan vende kollapsen til en ny ekspansjon. Det er nærmest juks å påkalle hjelp fra en allmektig Gud til å mestre slutt- eller startsingulariteten. En guddom bør være virksom alle steder og til alle tider, og ikke nøye seg med å gå i dekning i singulære punkter av tid og rom.

Henning Knutsen

∞

Alan H. Guth: The Inflationary Universe. The Quest for a New Theory of Cosmic Origins. Jonathan Cape, 1997, ISBN 0-224-04448-6, (358 sider), £18.99.

Guth utvikler GUT

"Intet kan skapes av intet" skrev den romerske dikter Lukrets. Klassisk fysikk er ganske enig. Energi og masse kan skifte form, men kan verken oppstå eller forsvinne. Men vårt århundre har opplevd en fysikkrevolusjon. Kvantemekanikken medfører at vakuum betyr noe ganske annet enn det tomme intet. Hele det veldige univers som omgir oss, kan ha oppstått fra dette vakuumet. Da tok altså Lukrets grundig feil. Alt kan oppstå fra intet. En kan faktisk gjøre opp regning uten vert. "Universet representerer gratis lunsj."

Alan H. Guth har nå skrevet ei gedigen bok om disse merkelige teoriene. La det være klart at denne boka om det såkalte inflasjonsuniverset representerer populærvitenskap på sitt beste.

Boka er meget ryddig og velskrevet. Den har en oversiktlig oppbygging og kronologisk utvikling. Kompliserte begreper blir gjort begripelige. Teorier som egentlig er ensbetydende med vanskelig tilgjengelig matematikk, blir gjort forståelige ved enkle analogibetraktninger. Så er da heller ikke Guth noen hvem som helst. Han er pionérforskeren som

først innså at forsøket på å slå sammen elektromagnetisme og vekselvirkningene fra elementærpartiklenes verden ville ha store konsekvenser for kosmologien.

Guth forteller om Einsteins første forsøk på å bedrive kosmologi, da han utviklet sitt mesterverk, den generelle relativitetsteori. Så følger historien om Friedmann, Lemaître og Hubble som ved teori og observasjon fant vårt århundres største astronomiske sensasjon: universet ekspanderer. Men en gass som utvider seg blir kjøligere. Altså var det unge univers meget varmt. Gamow, Alpher og Herman fant at de lette grunnstoffer ble skapt i de første hete minutter etter Big Bang. Det burde også finnes en kjølig rest av radiostråling i kosmos etter det tidlige glødende inferno. Penzias og Wilson fant den strålingen i 1964. Det var en nobelpris verdt.

1970-årene ble vitne til store triumfer for partikkelfysikken. Weinberg, Salam og Glashow greidde å finne en enhetlig beskrivelse av elektromagnetismen og de svake vekselvirkninger som er ansvarlige for radioaktivitet. Gell-Mann og Zweig utviklet kvarkmodellen for de tyngre partikler. De sterke vekselvirkninger mellom protoner og nøytroner ble nå representert ved kvantekromodynamikken.

Det ble også gjort forsøk på å slå sammen alle de tre vekselvirkningene til en eneste stor enhetlig teori. Styrken på vekselvirkningene er nemlig avhengig av energien. Når energien er uhyggelig stor, blir styrken på de svake, sterke og elektromagnetiske vekselvirkningene av samme størrelse. En kan ikke lenger skille mellom disse vekselvirkningene. Disse omfattende teoriene blir kalt GUT (grand unified theories). De tre forskjellige vekselvirkningene kommer til syne fordi symmetrien brytes spontant når energien blir lavere. Dette minner om vann som fryser. Når temperaturen senkes, brytes den totale rotasjonssymmetrien i vanndråper, og vi får iskrystaller med kun aksesymmetri.

Nå produseres det også såkalte magnetiske monopoler ved de enorme energier når GUT gjør seg gjeldende. Dette er merkelige partikler, omtrent som stavmagneter, men bare med en pol. De er også uhyggelig tunge, omtrent 10^{17} ganger tyngre enn protoner. En monopol veier da omtrent like mye som en million bakterier, og det er mer enn mye i atomær sammenheng. Siden de aldri er blitt observert, har en kunnskap om det maksimale antall av dem da de ble til. Alan Guth arbeidet med å finne ut hvor mange slike monopoler som ble produsert i det unge univers, men han fant altfor mange. Da kom han på at faseovergangen der vann fryser til is kan bli forsinket ved såkalt underkjøling. Det tilsvarer at GUT-tilstanden blir beskrevet av det en kaller falskt vakuum. Dette falske vakuum beherskes av såkalte Higgs-felter, og det har den særdeles merkelige egenskap at engergitettheten forblir konstant, selv om dette vakuumet utvider seg.

Nå vil en konstant energitetthet under adiabatisk ekspansjon medføre et negativt trykk, altså et strekk. Vanlig positivt trykk representerer positiv energi i generell relativitetsteori. Da vil systemet få en tendens til å trekke seg sammen. Men strekket vil da medføre at det falske vakuumet vil utvide seg, for strekket gir tre ganger større gravitasjonseffekt enn energitettheten. Og utvidelsen er uhyggelig rask, den vokser eksponentielt slik som bakteriekulturer. En del av universet, ikke større enn et proton, kan i løpet av uhyre kort tid vokse til det observerbare univers vi har.

Alan Guth forteller meget spennende om dette, og han fletter inn små bemerkninger om sitt menneskelige liv. Vi får kjennskap til den usikre tilværelsen til en forsker etter doktorgraden. Han legger ut om tilbudene som strømmet inn da han gjorde sin store teoretiske oppdagelse, og han avslører den intense atmosfæren av konsentrasjon ved forskningskonferanser.

Det Alan Guth oppdaget, var at den superraske ekspansjonen som han kalte inflasjon, ikke bare løste problemet med de mange monopoler. Med både det klassiske flathetsproblemet og horisontproblemet ble også løst hvis det unge univers utvidet seg eksponentielt. Flathetsproblemt spør hvorfor universet nå har en tetthet så nær den kritiske tettheten som skiller evig ekspanderende universmodeller med romkrumning som en sadel fra universmodeller med rekontraksjon og kulegeometri. Et univers uten inflasjon måtte nemlig ved fødselen ha vært utrolig finjustert. Ellers ville energitettheten i universet i dag vært mye mindre eller mye større enn den kritiske tettheten. Men inflasjonen flater ut krumningen av universet, slik som jordoverflaten virker flat for oss i motsetning til overflaten av en appelsin. Da må energitettheten nettopp være lik den kritiske.

Horisontproblemet spør hvorfor den kosmiske bakgrunnstrålingen fra to stikk motsatte retninger på himmelen er så veldig lik. Ifølge standard kosmologi uten inflasjon, har de to områdene nemlig aldri hatt mulighet for å påvirke hverandre, siden lyset har endelig fart og universet har endelig alder.

Men når universet vokser eksponentielt, vil et ørlite ensartet område av universet vokse til hele det observerbare univers. For universmodeller med inflasjonsepoke er det altså ikke noe mysterium at universet er ensartet.

Den videre kamp og de vanskeligheter Guth har stridd med, sier jeg ikke noe om. Jeg leste en berømt science-fiction roman omtrent samtidig. Den var sørgelig kjedelig sammenlignet med boka til Guth.

Henning Knutsen

∞

Michael Baziljevich: Atomet og Eplet. En utrolig reise fra naturens aller minste byggesteiner – ut til universets yttergrenser. Damm Forlag 1999, ISBN 82-517-8940-0, (133 sider) 228 kr.

Michael Baziljevich har skrevet en "opplevelsesbok" i fysikk for ikke-fysikere. Den er ment å være til inspirasjon for folk som er interessert i fysikk, gjerne de som kan litt fysikk fra før, men som lar seg begeistre av en ny og ikke-så-tradisjonell vinkling. Boka er annerledes enn tilsvarende bøker jeg har sett; layouten er orginal og likner mye på Helene Uris "Den store faktaboka om språk", også utgitt på Damm Forlag.

Michael Baziljevich er født i 1965 i Sarpsborg, og ansatt som førsteamanuensis i fysikk ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Han har lang erfaring med å gjøre fysikk tilgjengelig for lekmenn, blant annet som daglig leder i foreningen Unge forskere, og han har holdt en rekke populærvitenskapelige foredrag. Dette er erfaringer som viser godt igjen i fremstillingen i boka.

Boka har seks kapitler. Det første dveler ved atomteori, fra grekernes forestillinger til vår tids kvarker og nær sagt endeløse liste med elementærpartikler. Han benytter et "eksperiment" for å belyse problemstillingen: Hvor mange ganger kan vi dele opp et eple før vi faktisk sitter igjen med en bit som ikke lenger har karakter av "eple" – vi er da nede på atomært nivå.

Kapittel 2 handler om lys, hvor bildedannelse i et omvendt "camera obscura" benyttes (lyskilden er et stearinlys inne i en pappeske, brannfarlig) og der atomenes hopp mellom energitilstander sammenlignes med en bok som faller ned til lavereliggende hyller i en bokhylle.

Kapittel 3 handler om jorda og månen, hvordan vi kan måle jordas radius, hvordan vi kan bestemme avstanden til månen og litt om parallaksemålinger generelt.

Kapittel 4 tar for seg solsystemet fra Sola i sentrum til Pluto ytterst ute, med en beskrivelse av de ulike planetene. Det gjøres et tankeeksperiment der en lager seg sin egen modell av solsystemet med en sentral sol på 14 cm diameter og Pluto plassert nesten 600 meter unna.

Femte kapittel handler om vår galakse, dannelse av stjerner, stjernenes syklus og om Big Bang.

Siste kapittel tar opp "Purkinjes tre" (blodåreforgreningen på netthinnen), og hvordan vi faktisk kan "se" disse blodårene på vår egen netthinne. For å forklare fenomenet, går Baziljevich gjennom synssansens oppbygning.

Til hvert kapittel er det foreslått et eksperiment: Dele et eple i små biter, omvendt "camera obscura", kikke på Melkeveien en mørk kveld, med mer. Hvorvidt eksperimentene faktisk vil bli gjennomført av leseren, er vanskelig å vite. Selv ble jeg i alle fall fristet til å gjennomføre det siste, nemlig det å se "Purkinjes tre" i mitt eget øye.

Boka har en litt ullen målgruppe. Er den for ungdom eller er den for voksne? Selv har jeg hatt glede av å lese boka idet den inneholder enkelte detaljer og vinklinger som jeg synes var morsomme. Men boka er kanskje mer interessant for folk som er litt interessert i fysikk, men lite eksponert for faget til daglig. Kanskje elever i videregående skole vil ha mest igjen for å lese den? Jeg har fått min 21-årige datter til å lese kapittel 2. Hun var i utgangspunktet ikke særlig interessert i fysikk, og ble heller ikke mer interessert av å lese dette kapitlet. Hun fant at enkelte deler var vanskelige å forstå. Min 15-årige datter leste kapittel 3 (noe lettere enn nr 2), og syntes stoffet var interessant.

Språket er bra, men ujevnt. Enkelte setninger har en barnslig tone, men like etterpå kan det florere med vanskelige ord og uttrykk. Dette virker litt uryddig og styrker inntrykket av at målgruppen ikke er helt godt definert.

Layouten av boka er høyst spesiell. Forlaget mener vel at de har gitt boka "et ungdommelig preg" ("lyser av Ungdomsbok-klubben", som en av mine døtre sa). Selv var jeg begeistret over enkelte detaljer i layouten i starten, men etter å ha lest boka må jeg si at jeg er mer negativ enn positiv til presentasjonsformen. Boka virker nå som en endeløs masse av løse tekstbokser i hytt og vær, bokser som ofte skygger for interessante figurer. Det er vanskelig å se strukturen i fremstillingen, det er vanskelig å se hva som er avsnitt og ikke, og enkelte steder

har jeg oppdaget at jeg har lest tekstblokkene i gal rekkefølge fordi de er plassert slik at jeg måtte gjette meg til hvor jeg skulle fortsette. Jeg hører til blant den garde som mener at layouten skal fremheve tekst og bildemateriale, men i denne boka føler jeg at det helt motsatte har skjedd. Det kan hende at hovedtrekkene i layouten kunne vært brukt dersom den ikke var så slurvete gjennomført. Det er ikke bra når enkelte deler av teksten nesten ikke kan leses pga. uheldig fargekombinasjon av tekst og bakgrunn; og det er slurv når sidemarkeringene for side 54–65 er nesten umulige å skjelne. Noen av figurene, f.eks. den på side 58 som viser "jordskinn" på månen, holder heller ikke mål, for å nevne noen av de negative sidene. Men hvem vet? Kanksje slurvet kan bidra til en redusert terskel slik at flere våger å gi seg i kast med en bok i fysikk? Fornuft og følelser har jo ofte svært lite med hverandre å gjøre!

Forfatteren ønsker å formidle fysikk uten å bruke formalisme, og jeg synes han har lykkes med dette. Riktignok kan det vel diskuteres hvorvidt enkelte bilder vil virke klargjørende eller ikke. Jeg er litt skeptisk til bokhyllebildet av energinivåer, men kanskje det fungerer?

Forfatteren legger mye vekt på å gi et bilde av de enorme størrelsesforskjellene mellom et eple og atomene, og et eple og universet. Tallene er fascinerende.

I en populærvitenskapelig fremstilling er det alltid et dilemma å finne den gylne middelvei mellom klarhet og sannhet. Stort sett synes jeg forfatteren har lykkes. En uheldig detalj er utsagnet om at Merkur er lett å få øye på ved soloppgang eller solnedgang, uten at det sies noe tilsvarende om Venus, som jo er den planeten dette først og fremst burde være sagt om!

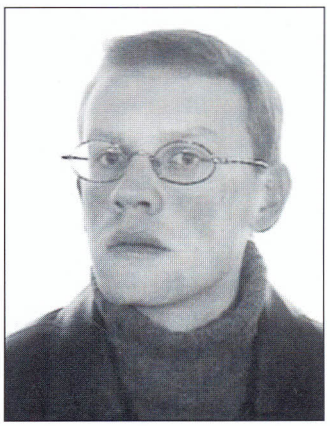
Bortsett fra disse detaljene, vil jeg berømme Michael Baziljevich for den jobben han har gjort med boka. I stedet for å *snakke* om fallende fysikkinteresse i samfunnet, har han kastet seg rett ut i kampen om å få fysikken tilbake til den plassen den fortjener å ha. Selv den mest blaserte fysiker vil kunne finne detaljer og nye vinklinger å glede seg over. Produktet er blitt bra, selv om det etter min mening ville vært enda bedre med et mer gjennomarbeidet design og bedre definert målgruppe. Forfatteren fortjener i høy grad honnør, og jeg anbefaler boka og håper at den vil bli lest av mange!

Arnt Inge Vistnes

∞

Nye Doktorer

Øystein Elgarøy



Cand.scient. Øystein Elgarøy forsvarte 25.1.99 sin avhandling *Superfluidity in Infinite Nuclear Systems* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

I avhandlingen er egenskapene til superflytende væsker i nøytronstjerner studert. I skorpen finner man et gitter av kjerner omgitt av en superflytende nøytronvæske, mens homogene proton- og nøytronsuperfluider opptrer i det indre av stjernene. Superfluidene påvirker stjernenes overflatetemperatur og rotasjon, og superfluidet i skorpen er av spesiell interesse i forbindelse med plutselige sprang i rotasjonsfrekvensen for pulsarer.

Kritiske temperaturer for superfluidene bestemmes av likningene for beta-stabil materie. I avhandlingen diskuteres en del problemer med å løse disse, og det vises hvordan man kan renormalisere den repulsive kort-rekkeviddedelen av vekselvirkningen uten å dobbelttelle to-partikkelkorrelasjoner i gaplikningene. Som en anvendelse studeres hvordan proton-superfluidet påvirker nøytrino-emisjonsratene fra Urca-prosessene, som er viktige nedkjølingsmekanismer for pulsarer.

På grunn av pulsarens rotasjon, vil det oppstå virvler i den superflytende væsken i stjerneskorpen. Disse virvlene vil vekselvirke med kjernene. Egenskapene for denne vekselvirkningen er dårlig kjent, men er av stor betydning i modeller for "glitches". I avhandlingen tas det et første steg i retning av en mikroskopisk beregning av virvel-kjernevekselvirkningen. Strukturen til en isolert virvel i nøytronmaterie studeres, og det viser seg at størrelsen på kjerneområdet i virvelen oppfører seg annerledes som funksjon av tetthet enn forventet.

∞

Lars T.F. Evensen

Cand.scient. Lars T.F. Evensen forsvarte 21. des. -98, sin avhandling *Silicon Particle Detectors: Gettering and Guard Design* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Mange vil kjenne krystallinsk silisium i form av mikroprosessorer og minne i datamaskiner, men silisium kan også brukes til å lage mange andre typer sensorer, f.eks. til deteksjon av ioniserende stråling. Fosfor og bor introduseres i silisium for å danne ohmske kontakter og dioder. Forurensninger i krystallene skader de elektriske egenskapene. Det er undersøkt hvordan varmebehandling under fremstillingen kan redusere forurensninger i materialet. Det ble funnet at fosfor fanger inn gull under fremstillingen og reduserer derved egenstøyen i sensorene. Denne effekten ble ikke funnet for bor. Det er utviklet en modell som beskriver hvordan løselighet av gull i silisium avhenger av temperatur og fosforkonsentrasjon. Modellen er i god overensstemmelse med målingene.

Komponenter som arbeider ved høye spenninger beskyttes mot sammenbrudd ved strukturer som reduserer den elektriske feltstyrken. Slike strukturer vil også bidra til å redusere støyen i systemet. Det er utviklet strukturer som eliminerer miljøpåvirkninger på sensorene slik at de kan operere ved høy spenning over lang tid i ioniserende stråling.

Silisiumsensorer brukes i eksperimenter ved CERN, og ved avbildning av ioniserende stråling i medisin og biologi. Teknologien vil også være viktig for de digitale røntgensystemene som vil komme til erstatning for filmbaserte systemer i medisin.

Veileder har vært professor Terje G. Finstad ved Fysisk institutt, UiO.

∞

Alv-Arne Grimstad

Cand.scient. Alv-Arne Grimstad disputerte 15. mars 1999, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlinga *On nonlinearities and covariance analysis for the reservoir fluid flow model.*

Avhandlinga tek for seg enkelte problemstillingar kring bestemming av strøymingseigenskapar ved porøse medium. Enkelte av desse eigenskapane, slik som innverknaden væsker har på strøyminga til kvarandre, kan ikkje målast direkte. Likevel har dei innverknad på utfallet av strøymingsforsøk, og dette kan brukast til å fastsette verdiane indirekte. Metodar som vert brukte til å rekne ut uvissa i dei fastsette verdiane nyttar seg av nokre forenklingar som ikkje alltid er like gode. I avhandlinga har Grimstad sett på metodar for å måle graden av feil i desse forenklingane. Desse metodane vert utprøvde med simuleringar av tenkte eksperiment. Arbeidet er ein del av instituttprogrammet 'A Program for Advancing System and Parameter Identification' ved UiB, RF-Rogalandsforskning og Texas A&M University.

Alv-Arne Grimstad tok cand.scient.-eksamen i teoretisk atomfysikk ved UiB i 1994. Arbeidet med doktoravhandlinga blei utført i reservoargruppa ved Fysisk institutt med stipend fra Norges forskningsråd og under rettleiing av professor Kristofer Kolltveit. Grimstad er no tilsett som postdoktor ved Rogalandsforskning i Bergen.

∞

Anette Eleonora Gunnæs

Anette Eleonora Gunnæs forsvarte avhandlingen *Structure studies of some intermetallic alloys. Investigation of the Al-Ti-Ni, dental Ga Alloys and the Ag-Ga system* for dr.scient-graden ved Universitetet i Oslo, 11. mars 1998.

I de senere år har interessen for gallium (Ga)-legeringer som tannfyllingsmateriale til erstatning for amalgam, økt pga. risikoen for miljøforurensning og mulig forgiftning fra kvikksølv i amalgamfyllinger. Tidligere undersøkelser har indikert at tilsetning av palladium (Pd) til dentale Ga-legeringer påvirker legeringenes utvidelse ved størkning. Analytiske elektronmikroskopistudier av to dentale Ga-legeringer, med og uten Pd, er blitt utført ved Senter for materialvitenskap ved Fysisk institutt, UiO. Vi har funnet at Pd påvirker reaksjonen mellom det sølv (Ag)-rike pulveret og den Ga-rike smelten. Pd i det Ag-rike pulveret reagerer med Ga i smelten og danner forbindelsen Ga_7Pd_3. Ga reagerer også med Ag og danner forbindelsen Ag_2Ga. I litteraturen er flere krystallstrukturer og forslag til Ag-Ga-fasediagrammer, publisert. Vi har studert åtte Ag-Ga-legeringer med ulik sammensetning, og har foreslått et revidert Ag-Ga-fasediagram. Ved hjelp av røntgendiffraksjon, er en ny krystallstruktur til Ag_2Ga bestemt.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, under veiledning av professorene Arne Olsen og Johan Taftø.

∞

Daya Jiang

Cand.scient. Daya Jiang disputerte 1. mars 1999, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen *Focusing of electromagnetic waves into uniaxial crystals.*

I mange ulike anvendelser er det viktig å kjenne til hvordan elektromagnetiske bølger forplantes og fokuseres i anisotrope materialer. Bølgebevegelsen i anisotrope materialer karakteriseres ved at energiforplantningen ikke skjer langs bølgefrontnormalen slik som i isotrope medier. Dessuten opptrer dobbeltbrytning som gjør at en bølge ved brytning inn i et anisotropt materiale spaltes i to bølger i ulike retninger. Disse fenomenene kompliserer analysen betraktelig. Fokusering av lys inn i énaksige anisotrope materialer blir i denne avhandlingen studert teoretisk og eksperimentelt for første gang. I sitt doktorgradsarbeid har Jiang undersøkt fokusering i optiske systemer med lavt fresneltall og med sylindrisk eller sfærisk aberrasjon, og har funnet det meget overraskende resultat at det er mulig å oppnå en økning i den maksimale intensitet med et lite innslag av aberrasjoner. Dessuten har hun studert fokusering av elektromagnetiske bølger inn i dielektriske materialer og inn i énaksige krystaller, og funnet god overenstemmelse mellom teoretiske beregninger og eksperimentelle målinger.

Daya Jiang avla cand.scient.-eksamen i fysikk ved UiB i 1996. Umiddelbart etterpå begynte hun på sitt doktorgradstudium ved Fysisk institutt, UiB, med professor Jakob J. Stamnes som veileder. Daya Jiang er nå ansatt som associate professor ved Beijing University of Posts & Telecommunications.

∞

Ib-Rune Johansen

Ib-Rune Johansen forsvarte 10. juni 1998, avhandlingen *Compensation Methods for Spectral Interference in Infra-Red Gas Spectrometry* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Optiske metoder er godt egnet til deteksjon av giftige, etsende og eksplosive gasser. I prosjektet er både diodelaserspektrometri og Fourier Transform Infra-Rød (FTIR)-spektrometri benyttet for å redusere måleunøyaktigheter som kan skyldes andre gasser, samt å forbedre følsomheten.

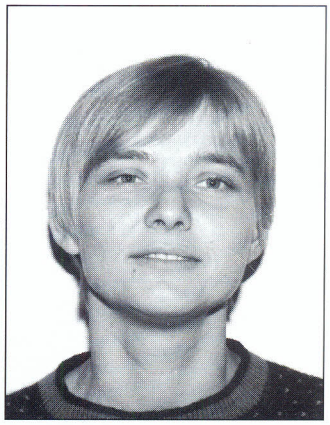
I oljeindustrien er det behov for å måle konsentrasjoner av giftige og eksplosive gasser for å ivareta sikkerheten. For dette formålet, har det vært nødvendig å forbedre følsomheten til diodelaserspektrometre med en faktor fra 10 til 100. Et slikt instrument er konstruert, og digital signalbehandling, sammen med avansert statistikk, er anvendt for å forbedre følsomheten. Det er vist at utstyret kan brukes til å oppdage små utslipp av metan og H_2S samtidig, og til å oppdage svært lave konsentrasjoner av HF.

I et romfartøy, eller i en ubåt, kan små mengder av giftige gasser medføre forgiftning eller kreftfare, og mannskapene bør varsles tidlig dersom en kritisk situasjon er under utvikling. Den europeiske romfartsorganisasjonen ESA, ønsker derfor å overvåke luftkvaliteten ved bemannede romferder. Vi har modifisert og forbedret et FTIR-instrument, og utviklet metoder som gjør det mulig å måle mer enn 20 gasser samtidig, selv med mye vanndamp, karbondioksid og metan til stede. Systemet er 10 ganger mer følsomt enn kravene for måling av forurensning i arbeidsluft.

Arbeidet er utført ved SINTEF under veiledning av professorene Helge Kildal og Leif Veseth.

∞

Heidi Kjønsberg



Cand.scient. Heidi Kjønsberg forsvarte 15.12.98, sin avhandling *On the Anyon Description of the Quasi-Particles in the Quantum Hall Effect* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Avhandlingen er en teoretisk undersøkelse av partikkelegenskapene til lokale tetthetsforandringer som oppstår i en todimensjonal elektrongass når temperaturen er nær null kelvin og gassen utsettes for et meget sterkt magnetfelt. Disse tetthetsforandringene kalles kvasipartikler og beskrives ved hjelp av kvantemekaniske bølgefunksjoner. De er forventet å oppføre seg som ordinære partikler, men med fraksjonell ladning og spesielle egenskaper. Disse egenskapene refereres til som fraksjonell statistikk, og partiklene kalles anyoner.

Forskjellige bølgefunksjoner er undersøkt både med analytiske og numeriske metoder. Det vises at bølgefunksjonene for de positivt ladde kvasipartiklene kan beskrive vel lokaliserte partikler med fraksjonell ladning og statistikk, og det foretas en avbildning av partikkelsystemene. Det vises også at bølgefunksjonen for de negativt ladde kvasipartiklene gir fraksjonell ladning, men anyonegenskapene er vanskeligere å reprodusere. Bølgefunksjonene som ikke gir en veldefinert fraksjonell statistikk har heller ikke ladningen vel lokalisert.

Doktorarbeidet er et bidrag til å knytte sammen fenomenet anyoner og fraksjonell statistikk, som ble oppdaget på slutten av 1970-tallet av to norske fysikere, og egenskapene til kvasipartiklene i den fraksjonelle kvante-Hall-effekten. Nobelprisen i fysikk 1998 ble gitt for oppdagelsen og den teoretiske forståelsen av denne effekten.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, med professor Jon Magne Leinaas som veileder, og ble finansiert av Norges forskningsråd.

∞

Bjørn Magne Sundal

Cand.scient. Bjørn Magne Sundal forsvarte 21. juni 1999, sin avhandling *Construction and Test Methods for Silicon Micro Systems* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Avhandlingen beskriver design og konstruksjon av utlesningselektronikk for strålingsdeteksjon. Elektronikk for tre store partikkelfysikkeksperimenter er beskrevet: RICH-detektoren ved CLEO III-eksperimentet ved Cornell i USA, SVD-detektoren ved BELLE-eksperimentet ved KEK i Japan og SCT-detektoren ved ATLAS ved CERN i Sveits. Disse eksperimentene utforsker mikrokosmos og fundamentale sammenhenger mellom naturens byggesteiner og krefter.

I tillegg er et PC-basert utlesningssystem for evaluering av nye strålingssensorer designet. Over 20 slike systemer er blitt solgt til universiteter, forsknigsinstitusjoner og større firmaer over hele verden, av Integral Detector & Electronics, et norsk firma som er ledende i verden innenfor strålingsdeteksjon.

Nye sensorer i materialer som Si, CdTe og CdZnTe kan vise seg å bli brukt i neste generasjon av røntgen og nukleærmedisinsk utstyr, og vil forenkle eksisterende maskiner som SPECT og PET. Dette vil bety bedre bildeoppløsning og mindre stråledoser for pasientene.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, med professor Steinar Stapnes som veileder.

∞

Knut Øvsthus

Cand.scient. Knut Øvsthus har forsvart sin avhandling *Modelling of Laser Action and Four-Wave Mixing in Semiconductor Optical Amplifiers in InGaAlAs/InP, and Fabrication of Quantum Well Lasers*, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Halvlederlasere er fremstilt og karakterisert i legeringen InGaAlAs ved Telenor FoU. Avanserte beregninger har påvist en ny metode for å realisere polarisasjonsuavhengige ulineære effekter i aktive halvlederstrukturer. Halvlederlasere lages ved en lagdeling av ulike legeringer. De tynneste lagene kan være noen få atomlag tykke. Avanserte matematiske modeller er etablert for å modellere aktive halvlederstrukturer. Modellene er benyttet til å bestemme de ulike legeringenes sammensetning og tykkelse. Optimale lagstrukturer for å fremstille lasere med høy modulasjonsbåndbredde er påvist.

InGaAlAs-legeringen er benyttet til å fremstille lasere som kan bli billigere enn lasere i den mer kommersielt benyttede InGaAsP-legeringen. Billige lasere er viktig for å kunne føre fibrer frem til husstander og mindre bedrifter. Videre er det vist at lasere av denne legeringen kan benyttes til å overføre mer informasjon ved at modulasjonsbåndbredden er større enn for InGaAsP-lasere.

Ulineære effekter i aktive halvlederstrukturer kan benyttes til prosessering av optisk informasjon. I fiberoptisk infrastruktur må komponentene være uavhengige av optisk polarisasjon. Basert på de teoretiske modellene, er en ny metode for å realisere polarisasjonsuavhengige ulineære effekter foreslått.

Veileder har vært Viktor B. Khalfin ved A.F. Iofte Inst., Russland, med professor Iouri Galperine som intern veileder ved Fysisk institutt, UiO.

∞

Trim i FFV

FFVT 3/99

Kan du lage et hull i en trekube slik at en annen kube med 15% større volum kan passere gjennom hullet?

Løsning FFVT 2/99

a) Det var spørsmål om det minimale antall brekk som må til for å dele en gitt sjokoladeplate opp i sine N enkeltbiter. Ved å notere seg at hvert brekk gir én ekstra bit forstår en at framgangsmåten er fullstendig likegyldig, det må alltid $N-1$ brekk til.

b) Det var spørsmål om hvor mange kamper som må spilles for å kåre cupvinneren når N lag spiller. Her er det bare å legge merke til at hver kamp eliminerer ett lag, så uansett hvorledes rundene settes opp må det $N-1$ kamper til.

Tross ulik innpakning ser vi at løsningene på a) og b) er essensielt identiske.

∞

Nytt fra NFS

FYSIKERMØTET 1999

Fysikermøtet ble i år holdt 17.–19. juni. Møtet ble arrangert av Fysisk institutt, Universitetet i Bergen, og de hadde valgt å legge møtet til Geilo. Resultatet var et meget hyggelig og samlende møte der det sosiale aspektet og de uformelle diskusjonene gav viktige bidrag til suksessen. I tillegg fikk de sprekeste tatt seg opp på Hallingskarvet en sein kveld; og til tross for at resultatet ble en kort natt for dem, var det nok de som satte den kvelden høyest.

Av de mer tradisjonelle øvelsene må plenumsforedragene fremheves. Også i år holdt de meget høy klasse. Erik Lægsgaard fortalte om "Nanotechnology – How stable are structures on the atomic scale?" Hans-Uno Bengtsson gav oss en leksjon i "Konsten att uppskatta omvärlden". Jakob J. Stamnes fortalte om "Light and Life Interactions in the Ocean", før Anton Zeilinger avsluttet med "Entanglement, Quantum Teleportation and the Copenhagen Interpretation".

Nytt av året var en presentasjon av nyansatte fysikere i Norge. Både for disse og for miljøet generelt, er slike presentasjoner nyttige, og jeg håper vi kan opprettholde dette innslaget. Tre nyansatte holdt foredrag på Geilo: Arne Dahlback, UiO (Ozon og UV-stråling. Måling og modellering), Randi Holmestad, NTNU (Using Electrons as Spectacles) og Dieter Röhrich, UiB (Ultrarelativistic Heavy Ion Collisions and the Quark-Gluon-Plasma).

To diskusjonssesjoner rettet mot temaer som står sentralt i norsk fysikk, dannet en viktig del av møtet. Fysikkutdanning mot et nytt millennium, med innledere Arnt Inge Vistnes (UiO) og Trond Ekern (Lillestrøm vgs), ble en livlig meningsutveksling om hva som er bra, riktig eller galt i norsk fysikkundervisning. Arne Inge Vistnes presenterer en del av sine tanker om dette i dette nummeret av FFV.

Den fagpolitiske diskusjonen var mindre livlig. Det skyldes i første rekke at en rekke nye faktiske opplysninger ble presentert av innlederne, og man måtte bruke en god del tid på å fordøye disse. Professor Kristian Fossheim sammenlignet norsk fysikk med svensk og dansk, i første rekke. Det er slående forskjeller, særlig innen materialfysikk der Sverige og Danmark har tunge satsinger. Morten Dæhlen (nyansatt direktør i NFR) gav oss et bilde av NFRs støtte til fysikk, og trakk fram noen av hovedpunktene i den da rykende ferske forskningsmeldingen, Forskning ved et tidsskille. Kombinasjonen av en nyansatt direktør som tok seg tid til å komme på Fysikermøtet 1999 (vi takker), og en ny forskningsmelding som inneholder en del gode nyheter, løftet humøret. Professor Pekka Hautojärvi (Academy of Finland) fortalte om situasjonen i Finland der man på en enestående måte har klart å øke satsingen på forskning. I Finland forplikter myndighetene seg til holde sin del av forskningsinnsatsen på en konstant brøkdel av totalen; og det betyr at når Nokia øker sin forskningsinnsats betydelig, så har det positive effekter for hele forskningsmiljøet. Både Hautojärvi og Dæhlen trakk frem det faktum at fysikere gjør det bra når det er fri konkurranse om forskningsmidlene, og at man bør satse spesielt på gode miljøer.

De siste to årene har man lagt vekt på å invitere deltakerne til å holde foredrag om det de gjør,

på Fysikermøtet. Også i år var dette populært, og ca. 30 foredrag ble avholdt, de aller fleste av studenter som fortalte om sine forskningsprosjekter. I hver sesjon ble beste kvinnelige og mannlige studentforedrag valgt ut av en upartisk, eneveldig enpersonskomité. På slutten av møtet ble to av disse studentene trukket ut til å dra til XIV International Conference for Physics Students, i Helsinki. De to utvalgte, Sigrid Sagevik og Amund Bjerve, skriver om sine erfaringer i dette nummeret av FFV.

Ikke mindre enn tre priser ble delt ut. Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk er ny av året. Prisen gis for fremragende norsk forskning innen fysikk. Det blir lagt hovedvekt på at arbeidet skal være av høy faglig kvalitet. Professor Ove Havnes ved Universitetet i Tromsø, ble tildelt denne prisen for sin forskning på støvplasma. Støvplasma, som er elektrisk ladete støvpartikler, utgjør en viktig bestanddel i solsystemet, i planetenes øvre atmosfærer. Simrad Optronics ASAs fagpris i elektrooptikk 1999, ble tildelt forsker Jon Thomas Kringlebotn, Optoplan AS. Prisen deles ut annethvert år innen fagområdet elektrooptikk. Jon Thomas Kringlebotn fikk prisen for sitt arbeid med fiberoptiske sensorer og fiberlasere, og spesielt for å ha laget den første fiberoptiske DFB-laseren (DFB – distributed feedback). NFSs undervisningspris deles ut hvert annet år for innsats i den videregående skolen. Prisen ble i år tildelt cand.real. Nils Fløttre, Nøtterøy videregående skole, for hans omfattende forfatterskap av en rekke bøker og hefter til bruk i fysikkundervisning i videregående skole. Bøkene er i hovedsak skrevet for naturfaget i 1. klasse, mens heftene omhandler emnet romfart, på ulike måter. Heftene er utgitt i samarbeid med Norsk Romsenter. Alle tre prisvinnerne holdt foredrag om sine arbeider og ble behørig hyllet.

Årsmøtet i NFR ble avholdt lørdag morgen, bare få timer etter festmiddagen, men fremmøtet var likevel meget godt. Referatet fra årsmøtet er inkludert i dette nummeret av FFV. I tillegg til det som står der, ble det påpekt at det er ingen kvinner i styret, noe som den nye valgkomiteen utvilsomt merket seg.

Det må også nevnes at midt i det hele klarte Nettverk for kvinner i fysikk å få arrangert sitt nettverksmøte, og en rekke uformelle små møter ble avholdt.

Instituttleder Arthur van Rheenen ønsket til slutt alle velkommen til Fysikermøtet 2000 i Tromsø.

Studentene Sigrid Sagevik (UiB) og Amund Bjerve (UiO) fikk tur til IPCS'99 i Helsinki.

Vi som deltok på Geilo ønsker å takke hele arrangementskomiteen ved UiB, og særlig lederen, Jan Petter Hansen, for en meget stor innsats og et flott program.

Steinar Stapnes

∞

ÅRSMØTET 1999

Årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap ble holdt på Vestlia hotell, Geilo, 19. juni 1999. Møtet ble ledet av presidenten. Ca. 40 medlemmer var til stede.

Sakliste:

1) Godkjenning av innkalling og sakliste
2) Årsmelding
3) Regnskap og budsjett for NFS og FFV
4) Valg
   Visepresident
   2 styremedlemmer
   2 varamedlemmer
   Revisor med vararepresentant
   Revisor for FFV
5) Aktuelle saker i NFS
6) Norsk Fysikkråd
7) Fysikermøtet 2000 i Tromsø
8) Eventuelt

Sak 1

Innkalling og sakliste ble godkjent uten kommentarer.

Sak 2
S. Stapnes orienterte om Årsmeldingen 1998–1999. Det ble redegjort for NFSs viktigste prosjekter og arbeidsoppgaver i året som gikk. Årsmeldingen for 1998–1999 ble godkjent uten innvendinger.

Sak 3
S. Stapnes presenterte regnskap og budsjett for både Norsk Fysisk Selskap, Norsk Fysikklærerforening og Fra Fysikkens Verden. NFSs inntekter i 1998 var på ca. 392 000 kr, mens utgiftene beløp seg til ca. 339 000 kr. På inntektssiden ga medlemskontingenten det viktigste bidraget.

Organiseringen av Undervisningsprisen rent økonomisk vil bli diskutert på neste årsmøte. Undervisningsfondet er pr i dag noe lite. Det er uheldig at alle de tre prisene deles ut samme år. Det ble bestemt at hvis Norsk Hydro ikke har mulighet til å endre utdelingsår for sin Birkelandpris i fysikk, skal Undervisningsprisen deles ut neste år (år 2000), for så hvert annet år deretter.

NFL ønsker å oppmuntre regionene til å øke møtevirksomheten.

Det ble orientert om søknader selskapet sender Norges forskningsråd.

Sak 4
Valgkomiteen har bestått av Tore Amundsen, Ove Havnes og Johannes M. Hansteen. Hansteen presenterte valgkomiteens innstilling til NFSs styre og revisjon:

Visepresident:	Kristian Fossheim (NTNU)
Styremedlem:	Jan Petter Hansen (UiB)
Styremedlem:	Anders Isnes (UiO)
Varamedlem:	Jacob Stamnes (UiB)
Varamedlem:	Hallstein Høgåsen (UiO)
Revisor (NFS):	Finn Tønnessen (UiO)
Revisor (FFV):	Bjørn Slagsvold (TF)
Vararevisor:	Bjørn Berre (NLH)

Det ble lagt fram forslag om å bytte revisor (NFS) med vararevisor. Dette ble vedtatt enstemmig sammen med resten av innstillingen.

Følgende valgkomité ble enstemmig valgt: Anne Grete Frodesen, Tore Amundsen og Johannes M. Hansteen.

Sak 5
S. Stapnes behandlet denne saken samtidig med sak 2. Styret i NFS har valgt å ikke foreta en omorganisering av faggruppene i selskapet foreløpig. Dette skyldes evalueringen av norsk fysikk og Norsk fysikkråds arbeid i forbindelse med kartleggingen av norsk fysikk som nå pågår. NFSs styre vil imidlertid vurdere faggruppesammensetningen utover høsten og vinteren. Styret har diskutert en rekke saker i vår og har spesielt ønske om å prioritere og invitere til innspill på følgende arbeidsområder:

- *Organisering:* WWW: nyheter, diskusjoner, annonser av faggruppekonferanser. Det er viktig at alle faggruppemedlemmer får beskjed om møtevirksomhet i gruppen. Fysikermøtet, form og innhold: Bør man vurdere å legge faggruppemøter i tilknytning til Fysikermøtet for å øke deltakelsen?
- *Rekruttering:* "Tenkedokument" om undervisning, rekruttering til fysikk på alle nivå, fysikklærerrekruttering, etter- og videreutdanning – fysikkens og fysikernes rolle.
- *Synlighet:* Fysikk som karriere. Hva er en fysiker? Er det mulig å endre det uklare bildet som samfunnet og næringslivet har av dette og vise mulighetene som en fysikkutdannelse gir? Uttalelser om enkeltsaker der fysikere har spesielle forutsetninger for å uttale seg.

Sak 6
B. Berre orienterte på vegne av Norsk Fysikkråd (NFYR). NFYR fikk 4. mars 1999 en henvendelse fra Det nasjonale fakultetsmøte for realfag. I henvendelsen ble NFYR bedt om å vurdere sine vedtekter. I forbindelse med samarbeid og arbeidsdeling i Norgesnettet ble NFYR også bedt om å fremskaffe en fag- og kursinndeling for norsk fysikk. Torgeir Engeland (UiO, leder av NFYR) og Bjørn Berre har utarbeidet nye vedtekter for NFYR. Dette innebærer blant annet at de fire universitetene vil ha to representanter, hvorav fire er bestyrerne ved de fysiske institutter, i NFYR. NLH og Høgskolen i Stavanger vil ha en representant hver. Videre skal studentene ha to representanter. NFS vil ha anledning til å ha tre observatører, en fra styret, en fra skolen og en fra instituttsektoren.

Fag- og kursinndelingen for norsk fysikk er utarbeidet i samarbeid mellom de fire universitetene og NLH. Den er tilgjengelig fra NFYRs hjemmeside: *http://www.fys.uio.no/fysikkraad/*

Sak 7
Arthur van Rheenen ønsket alle velkommen til Fysikermøtet 2000 i Tromsø.

Sak 8
Det var ingen saker under eventuelt.

Steinar Stapnes *Heidi Bruvoll*

∞

Nye medlemmer 16. juni 1999:

Amund Bjerve
Kongeveien 125, 1407 Vinterbro

Kjell Martin Danielsen
Bregneveien 26, 0875 Oslo

Håkon Enger
Fysisk institutt, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Pål Erik Goa
Kringsjå studentby 4B 965, Sognsv. 218, 0864 Oslo

Arne Hjalmar Hansen
Andøya Rakettskytefelt AS, Pb. 54, 8483 Andenes

Lars Egil Helseth
Fysisk institutt, UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Olaf Kristoffer Huseby
Sandakerveien 42A, 0473 Oslo

Morten Jacobsen
Øvre Fjeldsmug 2, 5018 Bergen

Astrid Johansen
Tiller vg. skole, Pb. 63 Tiller, 7475 Trondheim

Lars Gimmestad Johansen
Fysisk institutt, UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Kjetil Kjernsmo
Kringsjå studentby 5A 415, Sognsv. 218, 0864 Oslo

Heidi Kjønsberg
Physics Dept., Indiana Univ., Swain Hall West 117, Bloomington, IN 47405, USA

Torfinn Lindem
Fysisk institutt, UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Erik Stensrud Marstein
Helgesensgt. 32, 0553 Oslo

Olav Lund Nilsen
Fysisk institutt, UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Ingunn Cecilie Oddsen
Tellefsensgt. 1, 7030 Trondheim

Ingrid Ofte
Claus Fastingsgt. 17, 5035 Bergen

Øystein Olsen
KPT naturfag AS, Pb. 2213, 6503 Kristiansund N

Sigrid Sagevik
Nygårdsgt. 33, 5008 Bergen

Morten Schiøtz
Fysisk institutt, UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Ingve Simonsen
Dept. of Physics and Astronomy, Univ. California, Irvine, CA 92697, USA

Ervin Thomas Thorn
Fysisk institutt, UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Tone Thyrhaug
Ole Vig vg. skole, Gymnasgata, 7500 Stjørdal

Lina Uri
Fysisk institutt, UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Randi Valestrand
Fysisk institutt, UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Thomas Vik
Fjellbirkeland studentby 21A 123, Sognsv. 218, 0864 Oslo

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

HUSK Å BETALE KONTIGENTEN!

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. 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.