Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 1999
61. årgang

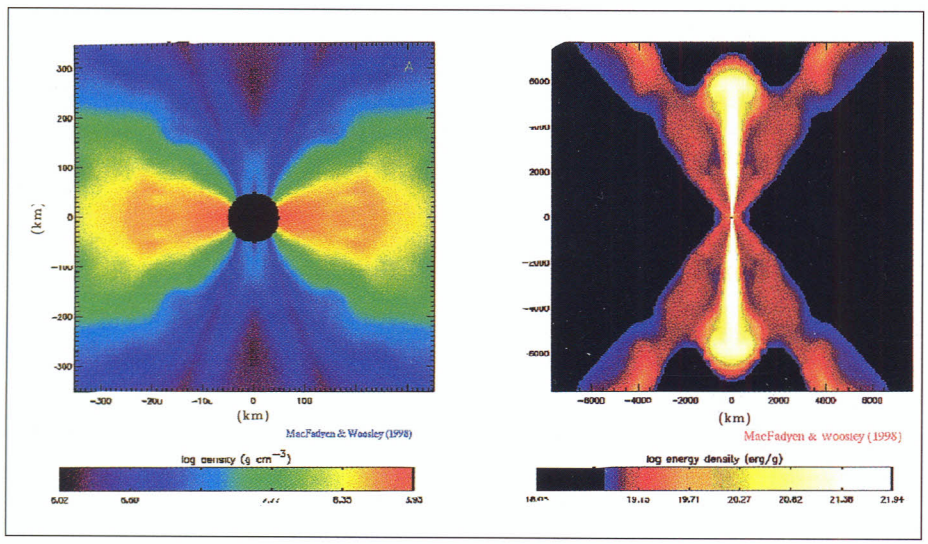
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øyvind Grøn:
Gammaglimt 107
Magne Kringlebotn:
Er massen hastighetsavhengig?. 114
Olav F. Syljuåsen:
Nye faser i to dimensjoner? . . . 118
Fra Redaktørene 106
FFV Gratulerer 106
Laszlo P. Csernai
Nobelsprisen i fysikk 1999. 120
Nobelsprisene i kjemi
1998 og 1999. 122
Fysikk i Skolen. 124
Energiundervisning
Bokomtaler 125
Nye Doktorer 128
Dr.philos. Turi Danielsen
Dr.scient. Torkild Eriksen
Dr.scient. Ellen Karoline Henriksen
Dr.ing. Anh Kiet Nguyen
Dr.ing. Knut Eilif Aasmundtveit
Trim i FFV 130
Hva skjer. 131
Fysikarmøtet 2000
Nytt fra NFS 131
Priser til utdeling
Nye medlemmer



Kollaps av en massiv stjerne til et svart hull (simulering)
(Se artikkel om gammaglimt)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Når vinterkulde og mørketid er over oss er det ekstra velkomment med lyspunkter i tilværelsen. Vi har ofte i denne spalten pekt på problemer som opptar oss; dette gjelder ikke faglige problemer, de setter vi faktisk pris på, det er tross alt de vi lever av. Nei, vi mener problemer som angår forholdet til våre omgivelser; problemer angående fysikkfagets posisjon, dets rolle i samfunnet, dets framtid og utsikter. Vi vil fortsette å hevde at vi forvalter kunnskap, metoder og forståelse av den verden vi lever i, som et moderne samfunn ikke kan være foruten. Vi mener også at denne kunnskap bør bli de fleste til del.

Men som sagt, denne gang vil vi peke på lyspunkter, for de finnes faktisk. Vi har tidligere fortalt om vår erfaring med unge skoleelever, der entusiasmen og nyskjerrigheten er både stor og ekte.

Vi besøkte nylig det store "Teknoteket" i Paris, Cité des Sciences, der det formelig vrimlet av barn og foreldre i alle aldre, ivrig opptatt med å utforske nær sagt alt fra maurtuer til moderne kommunikasjon. Vi var der med et selskap av europeiske fysikere, og deres interesse og entusiasme sto ikke langt tilbake for den de yngste og deres foreldre så tydelig viste. Vi skulle gjerne hatt noe tilsvarende her hjemme!

Men det går faktisk an å møte denne potensielle entusiasmen hos de yngste også med enklere midler. Vår kollega Michael Baziljevich, som forøvrig nylig har gitt ut en utmerket populær fysikkbok (omtalt i FFV 3/99), monterte for noen uker siden en modell av vårt planetsystem på en stor, åpen slette. Modellen var i målestokk $1 : 10^{10}$, og sola og planetene var lyssende kuler i riktig målestokk. Stor var forbaulselsen da antall besøkende ble ca. 5000, ikke et par hundre som antatt. Selv en av Dagbladets faste spaltister på "sidene 2–3" måtte innrømme sin glede – og beundring – det uventede folkekaos til tross. Vi gratulerer Michael med denne knallsuksessen, samtidig som vi understreker at dette tiltaket er forbilledlig. Dette er en måte å nå den unge generasjon på, og som bør inspirere mange av oss.

∞

FFV Gratulerer

Stor heder til Laszlo P. Csernai

Laszlo P. Csernai, professor i teoretisk kjernefysikk ved Universitetet i Bergen, er nylig valgt inn som medlem i *Academia Europaea*. Dette felles europeiske vitenskapsakademi ble grunnlagt i 1987. Akademimedlemmene er alle kjente forskere innen sine felt, og Laszlo Csernai, som lenge har vært en sentral og kjent kjerneteoretiker såvel nasjonalt som internasjonalt, er det 22. norske medlem. Hans spesialområde er innen kvantekromodynamikk, og han leder et norsk CERN-relatert prosjekt innen studiet av kvark–gluon plasma.

Samtidig har *Bergen Computational Physics Laboratory*, der Csernai også er ansvarlig, fått en større bevilgning fra EU-programmet RI (*European Research Infrastructure*), i skarp konkurranse med mange andre søkere. Dette programmet skal styrke infrastrukturen ved utvalgte institusjoner, som derved skal fungere som attraktive vitenskapelige sentra. Bevilgningen skal gå til utvikling av et senter for parallellprosessering, noe som vil gjøre miljøet i Bergen ennå mer attraktivt internasjonalt.

FFV gratulerer Laszlo Csernai med utnevnelsen og ønsker lykke til med senteret i Bergen!

∞

Gammaglimt

Øyvind Grøn *

For 32 år siden ble gammaglimt på himmelen observert for første gang. Opphavet til glimtene forble et uløst problem i 30 år. I løpet av de siste to årene ser det ut til at mysteriet er blitt oppklart. Avgjørende var det at man fra 1991 kunne ta i bruk satellitten Compton Gamma Ray Observatory for å observere gammaglimtene. Det ble etter hvert klarlagt at glimtene har kilder som er flere milliarder lysår fra jorden. De er enormt energirike. Kildene er trolig de kraftigste eksplosjonene i universet. De siste to årene har man greid å observere optisk etterglød til noen gammaglimt, og man har identifisert optiske kilder til dem. Det er utarbeidet detaljerte modeller for kildene, og disse blir nå konfrontert med nye målinger der man også har optiske observasjoner samtidig med selve gammaglimtet.

Gammaglimt er intense blink i gammaområdet av spekteret, der fotonene har energi mellom 10 keV og 1 MeV, med varighet fra ca. et hundredels sekund til en time. De ble først registrert av en Vela-satellitt i 1967. Men observasjonene var sporadiske og ga ingen hint om kildenes posisjon og natur.

I 1991 sendte NASA opp en satellitt, Compton Gamma-Ray Observatory, med spesialoppgave å utforske gammaglimtene. Om bord i satellitten er det 8 detektorer som utgjør observasjonsutstyret i Burst and Transient Source Experiment (BATSE). BATSE har i en årrekke detektert omtrent ett gammaglimt pr. dag, og disse fordeler seg isotropt på himmelen. Dette, samt nyere observasjoner omtalt nedenfor, har klarlagt at kildene til glimtene er langt fra oss i universet, noen mer enn ti milliarder lysår borte.

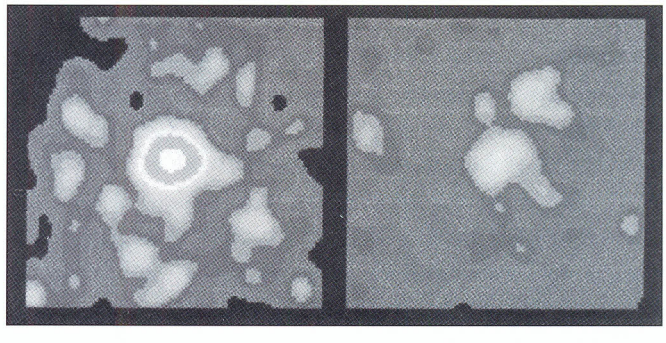
Gammaglimtene kan grovt innddeles i to klasser: type I med varighet under 2 sekunder – midlere varighet 0,3 s – og harde spektra; type II med varighet over 2 sekunder – midlere varighet 20 s – og mykere spektra.

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

Optiske kilder til gammaglimt

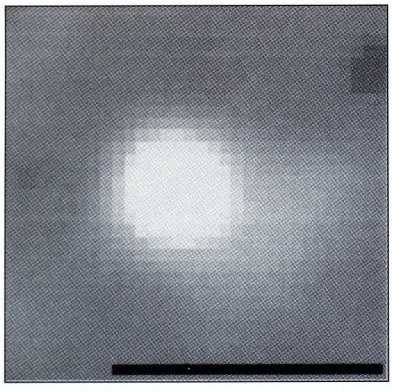
Våren 1998 kunne nyhetstjenesten til NASA skrive: "Etter 30 år med intens debatt og vitenskapelige undersøkelser, vet forskerne endelig svaret på spørsmålet: Hvor kommer gammaglimtene fra?" Det første hintet lå i å lokalisere kilden til et gammaglimt, og så observere kilden i det optiske området.

Det første gammaglimtet man lyktes å finne den optiske kilden til, ble registrert 28. februar 1997. Gammaglimtet kom fra et område i stjernebildet Orion, innenfor en sirkel med diameter 6 bueminutter (1/5 av månens diameter). 21 timer etter at glimtet ble observert, ble dette området fotografert i den optiske delen av spekteret. En uke etter ble det fotografert på nytt. Da bildene ble sammenliknet, viste det seg at en av stjernene som var til stede på bildet 28. februar, var forsvunnet uken etter. Samtidig var området blitt fotografert i røntgendelen av spekteret ved hjelp av utstyr i Beppo-SAX satellitten. Bildene er vist i figur 1. Bildet til venstre i figuren ble tatt 28. februar, og det til høyre 3. mars. Bildene viser at det var en røntgenkilde med avtagende intensitet i posisjonen til den optiske lyskilden. Dermed var den optiske- og røntgenettergløden til et gammaglimt blitt detektert for første gang.



Figur 1. Bilder i røntgenområdet av spektret til gammaglimtet 28. februar 1997. Venstre bilde ble tatt 28. februar og det høyre 3. mars.

Man fulgte nå opp med å ta optiske bilder av kilden med New Technology Telescope og Keck Telescope. Et par uker senere ble det tatt mer detaljerte optiske bilder av kilden med Hubble-teleskopet (se figur 2). Disse viste at kilden befinner seg i et svakt lysende område. Det diffust lysende området tolkes som bildet av en fjern galakse. Dette var den første indikasjonen på at gammaglimtene kommer fra fjerne områder i universet.



Figur 2. Bilde av kilden til gammaglimtet 28. februar 1997 i det optiske området av spektret, tatt med Hubble-teleskopet to uker etter gammaglimtet.

Neste gjennombrudd kom med et gammaglimt som ble registrert 8. mai 1997 og varte i 15 sekunder. Igjen ble det registrert en optisk kilde i posisjonen et gammaglimt kom fra. Lysstyrken nådde maksimum omtrent to dager etter gammaglimtet. Denne gangen greide man også å ta et spektrum av lyset fra kilden. Det viste seg at spektrallinjene hadde en rødforskyvning på $z = 0,83$.

For legemer som er nær oss i kosmisk forstand, dvs. som har $z \ll 1$, kan avstanden til kilden finnes ved å bruke Hubbles lov[1], $d = z \cdot d_H$, der $d_H = c/H$ er universets Hubble-avstand, dvs. den avstanden lyset har beveget seg siden Big Bang i et univers som ekspanderer med konstant hastighet. Ved å sette inn verdien $H = 20$ km/s pr. million lysår for Hubble parameteren, fås $d_H = 15$ milliarder lysår.

Når verdien av z nærmer seg 1, eller er større enn 1, må vi benytte et eksakt uttrykk for avstanden. Ved å bruke likningene for Friedmanns universmodeller, finnes at i et univers uten vakuumenergi og med kritisk massetetthet, det såkalte Einstein–De Sitter-universet, har et legeme med rødforskyvning z en nåværende avstand fra solen, $d = 30(1-1/\sqrt{1+z})$ milliarder lysår. For $z = 0,83$, fås avstanden $d = 8$ milliarder lysår.

Avstandsbestemmelsen for kilden til et nytt gammaglimt, denne gangen registrert 14. desember 1997, viste seg å være meget interessant. Den optiske kilden hadde en kosmisk rødforskyvning på hele $z = 3,4$. Det svarer til at kilden er ca. 15 milliarder lysår fra solen. Lyset ble sendt ut da universets alder bare var 10–15 % av dets nåværende alder. Dette er blant de fjerneste objekter som er registrert i universet, og innebærer at den utsendte effekten til slike gammaglimt er enorm. I løpet av 10 sekunder sendte kilden ut like mye energi som solen sender ut i løpet av hele sin 10 milliarder år lange levetid, dvs. omtrent som energien fra 100 supernovaer. Den maksimale effekten var like stor som den samlete effekten til alle stjernene i universet. Gammaglimtet lyste over en milliard ganger så sterkt som en supernova.

Sjokkbølgemodellen for kilder

De siste ti årene er det utarbeidet detaljerte modeller for kildene til gammaglimt. Egenskapene til disse modellene er grundig gjennomgått i en oversiktsartikkel av Tsvi Piran.[2]

Man mener strålingen kommer fra sjokkbølger dannet når enormt energirike "flammeskall", dvs. skall med energirike fotoner, ultrarelativistiske elektron–positron par og baryoner, kolliderer med hverandre eller med materie utenfor eksploderende stjerner.

Uansett hva som forårsaker stjerneeksplosjonen, er resultatet en voldsom ildkule med radius mellom 100 og 1000 km, av energirike fotoner. Disse danner raskt en mengde elektron–positron par, som stenger for fotonene. Et enormt strålingstrykk vil da få hele ildkulen til å ekspandere med nær lyshastigheten. Prosessen minner om det som skjedde under Big Bang ved starten av universets historie. Men her er det nesten som å se et Big Bang utenfra. Under ekspansjonen synker temperaturen. Når radien er ca. 10 000 km, har fotonene lavere energi enn 20 keV og kan ikke lenger danne elektron–positron par. Dermed vil annihileringen av elektroner og positroner få parene til å forsvinne. Da blir plasmaet gjennomsiktig, og fotonene beveger seg ut av ildkulen. Den går over fra å være strålingsdominert til å bli materiedominert. Trykket blir borte, og ekspansjonen fortsetter med konstant hastighet inntil fronten enten kolliderer med en annen front eller bremses når den beveger seg inn i materien utenfor stjernen.

Ildkulene har som regel spinn siden de vanligvis

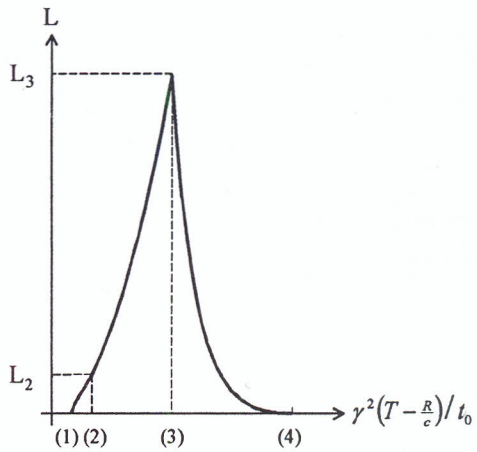
er dannet av stjerner som roterer. Dermed dannes sterke magnetfelter, som gjør at ekspansjonen vanligvis ikke er isotrop. Det kan dannes jetstrømmer som beveger seg i akseretningen.

Eksplosjoner av stjerner kan skje i form av en rekke gigantiske og meget hurtige utbrudd, som en enorm fyrverkerifontene. Dermed dannes flere flammeskall. Disse er optisk tykke, dvs. mye tykkere enn den frie veglengden til fotonene. Slike flammeskall akselereres i den strålingsdominerte startfasen, slik at Lorentzfaktoren $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ vokser proporsjonalt med skallets radius. Ved overgangen til den massedominerte ekspansjonen, der farten er konstant, er $\gamma > 100$ og skallet har praktisk talt lyshastighet. For $\gamma = 100$ er $v = 0,99995\,c$. Selv om skallene er tykke observert av en som følger dem, vil de være Lorentz-kontraktert med en faktor større enn 100, og derfor være tynne observert fra jorden.

Partiklene i flammeskallet har kinetisk energi $E_{KIN} = (\gamma - 1)m_0c^2$, der m_0 er partiklenes hvilemasse. Den kinetiske energien er over hundre ganger så stor som hvilemasseenergien. Eksplosjonen vil sende ut skall med litt forskjellig hastighet, f.eks. med $\gamma_1 = 100$ og $\gamma_2 = 101$. Hastighetsforskjellen observert fra jorden, er liten, $\Delta v \approx (\Delta\gamma/\gamma^3)\,c = 0,3$ km/s, der $\Delta\gamma = \gamma_2 - \gamma_1$. Men hastigheten til det ene skallet observert i hvilesystemet til det andre, er ti tusen ganger så stor, $\Delta v' \approx (\Delta\gamma/\gamma)\,c = \gamma^2\Delta v = 3000$ km/s. Skallene vil derfor kollidere med hverandre. Ved slike kollisjoner dannes såkalte "indre sjokkbølger", og det produseres synkrotronstråling. Mellom 2 og 20 % av skallenes kinetiske energi går over til stråling med typisk fotonenergi proporsjonal med γ^4. Hvis $\gamma = 100$, er fotonenergien 160 keV. Det er ved slike kollisjoner at toppene i lyskurvene til gammaglimtene oppstår.

E. Eriksen og Ø. Grøn[3] har beregnet den lysstyrken en ville observere som funksjon av tiden for en enkel variant av sjokkbølgemodellen: Et skall som ekspanderer med konstant fart, og sender ut monokromatisk stråling med konstant intensitet mellom to tidspunkter, men som ikke stråler før og etter disse tidene. Resultatet av beregningene er vist i figur 3.

Det er to årsaker til at den observerte styrken av strålingen ikke er konstant mens kilden lyser. For det første er ikke alle delene av det ekspanderende kuleskallet i samme avstand fra oss. Først observeres stråling fra sentrum av lyskilden, som er nærmest oss. Fotonene bruker kortest tid fra dette området av strålingskilden og frem til oss. Det 'lysende' området brer seg så over hele den delen av kuleflaten som vender mot oss. Dette gjør at styrken av strålingen øker.



Figur 3. Beregnet lysstyrke som funksjon av tiden for et flammeskall som ekspanderer med konstant fart og sender ut monokromatisk stråling med konstant intensitet mellom tidspunktene (1) og (2).[3]

For det andre ekspanderer kuleflaten med konstant fart, slik at arealet til den 'lysende' flaten vokser proporsjonalt med kvadratet av tiden. Dette avspeiles i hvordan den observerte styrken av strålingen øker med tiden helt til strålingskilden slukner. Når kilden slukner, forsvinner først strålingen fra det sentrale området nærmest oss. Det 'lysende' området er da en ring som blir stadig tynnere. Dermed avtar den observerte styrken til strålingen gradvis selv om strålingskilden slukner brått.

To typer prosesser har vært diskutert som årsak til ildkulene.

Kolliderende kompakte stjerner

Det kan dreie seg om kollisjoner mellom to kompakte stjerner i et dobbeltstjernesystem – enten kollisjon mellom to nøytronstjerner eller mellom en nøytronstjerne og et svart hull. Slike prosesser har vært undersøkt ved hjelp av numeriske beregninger. Resultatet av en simulering utført av M. Ruffert og T. Janka, er vist i figur 4. (De har presentert nye undersøkelser av slike kollisjoner i ref. 4.)

To nøytronstjerner, som kan være dannet etter en supernovaeksplosjon i et røntgen-binært system med en hovedseriestjerne og en nøytronstjerne, smelter sammen, og det dannes et svart hull med en oppsamlingsskive. Kollisjonene kan frigjøre 10^{46} J, som passer godt med den estimerte energien til

Figur 4. Kollisjon mellom to nøytronstjerner som ender med at de smelter sammen til et svart hull. Simulering utført av M. Ruffert og T. Janka.[4]

gammaglimtene, og det kan dannes jetstrømmer.

Simuleringer har vist at kollisjoner mellom nøytronstjerner og svarte hull gir 10–30 ganger mer energi enn kollisjoner mellom to nøytronstjerner med like store masser. Man har estimert at slike kollisjoner vil skje omtrent en gang pr. million år pr. galakse. Det er ca. en milliard galakser i området som er observert av BATSE. Følgelig skulle BATSE observere omtrent 1000 gammaglimt pr. år, og det stemmer godt med observasjonene.

Kollaps av massive stjerner

Man har også diskutert den eksplosive sluttfasen til enslige massive stjerner med over 30 solmasser. Eksplosjoner av så massive stjerner kan produsere den enorme energien som er observert i sammenheng med gammaglimtene og deres etterglød. Massive stjerner forbrenner hydrogen raskt, og har kort levetid. Denne typen kilder forklarer derfor at gammaglimt med stor rødforskyvning er overrepresentert blant glimtene, dvs. at det var flere gammaglimt da universet var ungt. Eksplosjonene som forårsaket gammaglimtene, hadde også en viktig rolle ved at de dannet tyngre grunnstoffer under selve eksplosjonen, og spredte disse i den interstellare materien som de nyere generasjoner av stjerner og planeter ble dannet fra.

Modeller av denne typen kalles kollapsarmodeller, og deres utvikling er blitt simulert blant annet av A. MacFadyen og S.E. Woosley.[5] Modellen som er blitt undersøkt i størst detalj, er kollaps av en roterende stjerne med 35 solmasser som har en heliumkjerne med 14 solmasser og en jernkjerne med 2 solmasser innerst.

Beregningene startes idet jernkjernen kollapser til et svart hull i sentrum av stjernen. Stjernens masse beveger seg til å begynne med hurtig innover langs rotasjonsaksen, uhindret av sentrifugalbarrieren. Dermed vil størstedelen av massen som er igjen, befinne seg i en smultringformet oppsamlingsskive. Det svarte hullet absorberer omtrent 300 jordmasser i sekundet. Under den enorme oppvarmingen på grunn av frigivelse av gravitasjonsenergi og kollisjoner mellom partikler under kollapsen, oppstår en voldsom eksplosjon. Det sendes i denne fasen ut materie og stråling innenfor et kjegleformet område rundt aksen med åpningsvinkel mellom 30 og 45 grader. Dette er et kortvarig utbrudd som sender ut omtrent en solmasse.

I løpet av ca. 20 sekunder sluker det svarte hullet størsteparten av massen i oppsamlingsskiven. Under denne prosessen oppstår enormt energirike jetsrømmer langs aksen, som stråler ut i omtrent 1,5 % av alle himmelretningene. Materien i disse jetstrømmene vil ha Lorentz-faktor større enn 100, og det dannes flammeskall som omtalt ovenfor.

På forsidebildet (figur 5) til venstre, er vist resultatet av MacFadyens og Woosleys simulering[5] for tidspunktet 7,6 s etter at jernkjernen kollapset til et svart hull. Det er dannet en oppsamlingsskive med tetthet 10^{12} kg/m^3 og radius 400 km. Den svarte sirkelen på figuren representerer et område med radius 50 km, som er større enn det sentrale svarte hullet. Simuleringen ble utført utenfor dette området. Ved tidspunktet 7,6 s, ble området ved aksen tilført en energi 10^{44} J/s, som tilsvarer nesten en tusendels solmasse pr. sekund (frigitt gravitasjonsenergi omdannet til indre energi pga. viskositet). Dette påvirker massestrømmen ved stjernen, slik at det 0,6 s senere har utviklet seg en strøm utover i et kjegleformet område omkring aksen med åpningsvinkel på ca. 10°. Dette er starten på en jetstrøm. Den presser seg utover med en sjokkflate i fronten. Ytterligere 0,2 s senere, dvs. 8,4 s etter at jernkjernen i sentrum kollapset til et svart hull, har sjokkfronten beveget seg 7000 km utover. Situasjonen ved dette tidspunktet er vist i den høyre delen av figuren.

Gammaglimt og supernovaer

I tre artikler i Nature 15. oktober 1998, ble det rapportert om observasjoner som tyder på at det kan være en sammenheng mellom supernovaer og gammaglimt. Et gammaglimt som var mindre energirikt enn vanlig, bare 1/100 000 av utbruddet 14. desember 1997, ble observert 25. april 1998. I samme posisjon ble det 7. mai observert en supernova. Den befant seg i en spiralgalakse 140 millioner lysår fra jorden.

Ifølge Woosley, var timingen perfekt ± en dag (privat kommunikasjon). Gammaglimtet kommer fra en jetstrøm rettet mot oss. Den dannes når en stor del av den roterende stjernens masse beveger seg inn mot det svarte hullet og får en enorm oppvarming. Denne fasen varer bare 10–20 sekunder, mens supernovaen bruker litt over to uker på å nå sitt maksimum.

MacFadyen og Woosley mener at supernovaer lik den som ble observert 25. april 1998, er typiske for alle gammaglimt, men at man i de fleste tilfeller ikke har observert dem fordi gammaglimtene kommer så langt borte fra, og den relativistiske jetstrømmen i vår retning er så lyssterk at supernovaene forsvinner i den optiske etterglød til gammaglimtet.

Bilder av den eksploderende stjernen en måned etter supernova-eksplosjonen SN 1987A, er nå blitt analysert på nytt med bedre billedbehandlingsteknikk enn tidligere. De nye analysene indikerer at supernovaen har sendt ut en jetstrøm med relativistisk hastighet. Dette støtter de modellene som innebærer en sammenheng mellom gammaglimt og supernovaer. Det ser dermed ut til at gammaglimt av type II har samme type kilder som supernovaer av type II, nemlig døende massive stjerner. Forskjellen er at stjernene som lager gammaglimt, er mer massive enn de som lager supernovaene. Gammaglimt av type I forklares derimot best ved kollisjoner mellom nøytronstjerner og svarte hull.

Gammaglimtet 23. januar 1999

Et nytt gjennombrudd i denne type forskning kom da man registrerte et gammaglimt 23. januar 1999 (betegnet med GRB 990123). Da greide man for første gang å observere kilden til et gammaglimt i det optiske området under selve utbruddet av gammastråling.

Ved hjelp av to satellitter, et bakkebasert teleskop, samt bruk av Internett, kunne den optiske observasjonen påbegynnes 22 sekunder etter at gammaglimtet begynte. Den maksimale lysstyrken i det optiske området var ca. 1/15 av lysstyrken som kan sees med det blotte øye. Om man var heldig og så i den riktige retningen i det rette øyeblikk, kunne man ha sett glimtet i en vanlig prismekikkert.

Målinger viste at det synlige lyset var rødforskjøvet med $z = 1,6$, som svarer til at kilden var i en avstand på omtrent 10 milliarder lysår. Den utstrålte effekten ble estimert til 10^{16} ganger effekten til solen.

Den 9. februar 1999 ble det tatt et bilde av kilden til GBR 990123 med Hubble-teleskopet (se figur 6). Nå var den optiske kilden 4 millioner ganger svakere enn da den var på sitt sterkeste. Det diffuse objektet ved kilden var tydeligere, og antas nå å være vertsgalaksen til gammaglimtets kilde. Den uregelmessige formen til galaksen kan tyde på at det dreier seg om en ung galakse.

Figur 6. Hubble-fotografi av ettergløden og vertsgalaksen til gammaglimtet 23. januar 1999.

Observasjonene av gammaglimtet 23. januar 1999, har stimulert til hektisk aktivitet blant astrofysikere. Allerede 26. mars ble det publisert tre forskningsartikler om glimtet i Science, og 1. april tre til i Nature. Det ble fastslått at GRB 990123 er unik på fire måter:

1. GRB 990123 er det første gammaglimtet som er observert optisk allerede under glimtet. (Som omtalt ovenfor, har etterglød vært observert i det optiske området tidligere.)

2. Dersom kilden sender ut like mye stråling i alle retninger, er dette gammaglimtet det mest energirike som noen gang er observert.
3. GRB 990123 er det første gammaglimtet med klare indikasjoner på at strålingen ikke er isotrop, men sendt ut i avgrensete jetstrømmer.
4. Det er første gammaglimt med en kortvarig etterglød av radiostråling. Radiostrålingen kunne observeres en dag etter glimtet og forsvant den neste dagen.

De optiske glimtene detektert av ROTSE innbærer en maksimal lysstyrke for kilden som er en million ganger større enn den samlete lysstyrken for en hel galakse. Lyset er tusen ganger sterkere enn fra den mest lyssterke kvasar som er observert.

Analysene av glimtet har bekreftet hovedtrekkene i sjokkbølgeteorien og ført til en enda mer detaljert forståelse av kildens egenskaper. Ved kollisjon mellom to kompakte stjerner, eller eksplosjon av en massiv stjerne, oppstår flammeskall som ekspanderer med ultrarelativistisk hastighet. For eksempel har analyser av lyskurven til GBR 990123 vist at verdien til Lorentz-faktoren før skallet bremses ned er $\gamma \approx 200$. Som omtalt ovenfor, mener man at gammastrålingen kommer fra sjokkbølger som oppstår når flammeskall kolliderer. Ved slike kollisjoner kan mer enn en solmasse omdannes til strålingsenergi. Flammeskallene beveger seg med nær lyshastighet inn i plasmaet som omgir stjernen. Da oppstår både en reflektert sjokkbølge og en bølge som beveger seg videre. Når en sjokkbølge beveger seg utover i plasmaet, bremses den ned, og det produseres en etterglød som langsomt avtar i intensitet samtidig som hovedbidraget til strålingen flytter seg i spektret mot lavere energi, dvs. lavere frekvens og større bølgelengder, fra gammastråling, gjennom røntgenstråling, ultrafiolett, synlig, infrarød og til radiostråling. Mens selve gammaglimtet bare varer opp til ca. 100 sekunder, kan ettergøden observeres i flere uker.

Når den reflekterte bølgen, som beveger seg innover, treffer masse som beveger seg utover i jetstrømmen, oppstår det optiske glimtet. Grundige undersøkelser har vist at også radiostrålingen observert dagen etter gammaglimtet, kan forklares som resultat av vekselvirkning mellom den reflekterte sjokkbølgen og materie som beveger seg utover i jetstrømmen.

GRB 990123 er det første gammaglimt der man har sett alle de tre områdene: indre sjokkbølger som forårsaker selve gammaglimtet, en reflektert sjokkbølge som beveger seg innover og forårsaker det optiske glimtet, og sjokkbølgen som forårsaker ettergløden når den beveger seg videre utover i plasmaet og bremses ned.

Hvis det sendes ut like mye stråling i alle retninger, viser målingene og beregningene at gammaglimtet inneholder en energi på $4 \cdot 10^{47}$ J, som svarer til energien inneholdt i to solmasser. Dette er mer enn noen kjente prosesser kan forårsake. Selv når stjerner kolliderer eller eksploderer så kraftig at de ender som svarte hull, omdannes bare omtrent en hundredel av energien til stråling.

Observasjoner og analyser av ettergløden til gammaglimtet, har trolig gitt løsningen på dette problemet. Intensiteten til strålingen i ettergløden begynte å avta raskere etter tre dager. Et slikt strålingsforløp er forutsagt med utgangspunkt i modeller av kilden der strålingen sendes ut i to motsatt rettede jetstrømmer. Ifølge denne teorien befinner vi oss i retning av en jetstrøm formet som en kjegle med en åpningsvinkel θ_j. Strålingen kommer fra sjokkbølger som dannes når flammeskall innenfor jetstrømmen kolliderer eller bremses. Disse sjokkbølgene beveger seg med praktisk talt lyshastighet mot oss.

I en slik situasjon er det to vinkler som må tas i betraktning, både åpningsvinkelen til jetstrømmen, og åpningsvinkelen til kjeglen som lyset beveger seg innenfor, $\theta_a \approx 1/\gamma$. At en kilde som stråler isotropt i sitt eget hvilesystem, sender ut lyset innenfor en kjegle i bevegelsesretningen når kilden beveger seg relativistisk, kalles iblant "headlighteffekten", og er en virkning av abberasjon. Det er knyttet en økt reduksjon av strålingsintensiteten med tiden – en knekk i strålinskurven – til disse vinklene.

Så lenge $\gamma > \theta_j^{-1}$, er lyskjeglen smalere enn jetstrømmen. Observasjonene vil under denne delen av glimtet ikke kunne avsløre om flammeskallet ekspanderer isotropt eller danner to jetstrømmer. Men når hastigheten til flammeskallet avtar, blir åpningsvinkelen til lyskjeglen større, og når γ blir mindre enn θ_j^{-1}, begynner vi å kunne se kanten av jetstrømmen. Dette fører til en knekk på lyskurven. Fortsatt er bevegelsen av materien i jetstrømmen for rask til at den utvider seg sidelengs. Men når bevegelsen er bremset ned slik at hastigheten ikke lenger er relativistisk, begynner jetstrømmen å ekspandere i sideretningen. Dermed bremses den raskere. Det fører til at strålingsintensiteten avtar ytterligere, og det blir en ny knekk på strålingskurven.

I ettergløden til GRB 990123 ble den første

knekken på lyskurven observert. Dette tyder på at vi har observert kanten av den jetstrømmen som gammaglimtet kom fra. Dermed er det klart at kilden ikke sender ut like mye stråling i andre retninger.

Beregninger viser at strålingsenergien fra en slik kilde, der mesteparten av strålingen sendes ut i to jetstrømmer, bare er ca. 1/100 av utstrålt energi fra en kilde som stråler isotropt. Dette løser energiproblemet. En utstrålt energi som svarer til ca. 1/100 solmasser, kan forklares som resultat av f.eks. en kollisjon mellom to nøytronstjerner.

Hvis de fleste kildene til gammaglimt sender ut gammastråling bare langs to motsatt rettede jetstrømmer, vil de fleste gammaglimtene være usynlige for oss, fordi vi ikke befinner oss i retningen til en av jetstrømmene. Men teorien viser at ettergløden alltid er isotrop. Dette leder til en mulig test av om det er korrekt at de fleste kildene til gammaglimt sender ut gammastråling bare langs to jetstrømmer. I så fall skulle man iblant observere en etterglød uten noe forutgående gammaglimt.

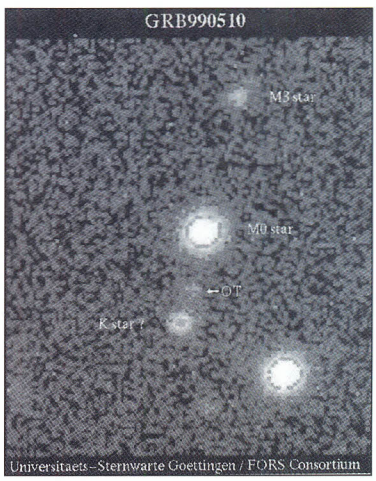
Gammaglimtet 10. mai 1999

Den 10. mai 1999, registrerte detektorutstyret i BATSE og i BeppoSAX satellitten et gammaglimt, GRB 990510, med tilstrekkelig nøyaktig posisjon til at man 8,5 timer senere kunne observere den optiske ettergløden med flere bakkebaserte teleskoper. Gammaglimtet varte i ca. 100 sekunder.

Den optiske ettergløden til gammaglimtet (merket OT: "optical transient") og de nærmeste objektene er vist i figur 7. Dette bildet er tatt 18. mai 1999, og de nærmeste objektene antas å være stjerner i forgrunnen. Spektrallinjer i det optiske spektret viser at kilden har en kosmisk rødforskyvning $z = 1,6$ som svarer til at den er ca. 11 milliarder lysår fra jorden.

Hvis man antar at kilden sender ut stråling isotropt, er den totale energien sendt ut fra kilden i løpet av de 100 sekundene glimtet varte, $1,6 \cdot 10^{46}$ J, som svarer til den energien solen ville ha sendt ut med sin nåværende lysstyrke i løpet av $1,3 \cdot 10^{12}$ år – omkring 88 ganger universets alder. Igjen har man imidelertid målt en knekk i lyskurven til ettergløden, noe som indikerer at strålingen er sendt ut i en jetstrøm rettet mot jorden, og som kan redusere den utsendte energien med en faktor av størrelsesorden 100.

Gruppen til Jens Hjorth ved det nordiske optiske teleskopet, gjorde polarisasjonsmålinger i den optiske ettergløden til GRB990123, men fant ingen polarisasjon. I ettergløden til GRB 990510 har man for første gang detektert polarisert stråling fra kilden til et gammaglimt. Det vister at en del av strålingen er synkrotronstråling som kommer fra elektroner akselerert i magnetiske felter.



Figur 7. Den optiske ettergløden til gammaglimtet 10. mai 1999, fotografert en uke etter glimtet.

Observasjonsprogrammet fortsetter for fullt. Spesielt interessant ville det være å få målinger av rødforskyvningen til minst 100 vertsgalakser for kilder til gammaglimt. Man kunne da lage et plott med sammenhengen mellom observert lysstyrke og rødforskyvning for gammaglimtene, svarende til størrelse–rødforskyvningsdiagrammet som brukes for stjerner. Dette ville kunne gi en ny bestemmelse av tettheten til kosmisk materie, inkludert alle former for energi, og ville kaste lys over spørsmålet om universet vil kollapse en gang, eller fortsette å ekspandere i all evighet.

Referanser

1. Ø. Grøn: *Nyhetsbrev om stjerner og universet 1998.* HiO-rapport nr. 2 (1999)
2. T. Piran: *Gamma-ray bursts and the fireball model.* Physics Reports, **314**, 575 (1999)
3. E. Eriksen og Ø. Grøn. *Relativistic effects in gamma-ray bursts.* HiO-notat nr. 10 (1999)
4. M. Ruffert og H. Th. Janka: *Gamma-ray bursts from accreting black holes in neutron star mergers.* Astron. Astrophys. **344**, 573 (1999)
5. A. MacFadyen og S.E. Woosley: *Collapsars – gamma-ray bursts and explosions in "failed supernovae".* Internett: http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9810274/ (1998)

∞

Er E = mc^2 og massen hastighetsavhengig?

Magne Kringlebotn *

I den spesielle relativitetsteori eksisterer to massebegrep side om side, den invariante (hastighetsuavhengige) massen, og den relativistiske (hastighetsavhengige) massen. Dette er naturligvis forvirrende. Nedenstående behandling av massebegrepet har som målsetting å redusere denne forvirringen. For å holde de to massebegrepene fra hverandre, vil det bli presisert når det er tale om den relativistiske.

Massebegrepet skriver seg fra den klassiske fysikk hvor det inngår i Newtons 2. lov:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \tag{1}$$

Massen opptrer her som en proporsjonalitetsfaktor mellom akselererende kraft **F** som virker på et legeme, og resulterende akselerasjon **a**, dvs. hastighetsendring pr. tidsenhet. Et legeme motsetter seg hastighetsendringer, er tregt, og m kalles derfor treg masse.

Men vi har også at to partikler med masser m og M tiltrekker hverandre med en kraft som er proporsjonal med produktet av massene og omvendt proporsjonal med avstanden mellom dem:

$$F = G\frac{mM}{r^2} \tag{2}$$

Her kalles proporsjonalitetskontanten $G = 6,67259 \cdot 10^{-11}$ N·m^2·kg^{-2} for gravitasjonskonstanten, eller Newtons konstant, og massene for gravitasjonsmasser. For eksempel kan M være jordas masse og m massen til en partikkel. Hvis partikkelen er fri til å bevege seg, vil den tiltrekkes av jordmassen M, og akselereres med tyngdens akselerasjon g, ifølge

$$F = mg \tag{3}$$

hvor

$$g = G\frac{M}{r^2} \tag{4}$$

Eksperimentelt er det vist at treg masse og gravitasjonsmasse er en og den samme. I den klassiske fysikk er dermed massen et entydig begrep. I et gravitasjonsfelt kan massen i prinsippet veies på en skålvekt. Ombord i et romskip som faller fritt i verdensrommet, må massen isteden bestemmes ut fra lign. (1) som forholdet mellom akselererende kraft og resulterende akselerasjon, eller som forholdet mellom impuls og ikke-relativistisk hastighet. Enheten for masse er kilogram, og er lik massen til kilogramnormalen som oppbevares i Paris.

Om massen er et entydig begrep i den klassiske fysikk, er dette ikke tilfelle i den spesielle relativitetsteori. Einstein har påvist ekvivalens mellom masse og energi. Men hvordan skal denne ekvivalensen uttrykkes? I litteraturen finnes to alternativer:

$$E = mc^2 \tag{5}$$

og

$$E_0 = mc^2 \tag{6}$$

Her er E totalenergien og E_0 hvileenergien for en partikkel eller et system, og c er lyshastigheten. Ligning (5) impliserer at massen m er hastighetsavhengig, fordi totalenergien er det. Masse i ro kalles hvilemasse, m_0. Ligning (6) impliserer derimot at massen er en hastighetsuavhengig konstant, dvs. invariant og lik i alle inertialsystemer. Et inertialt koordinatsystem faller fritt i verdensrommet uten å rotere. Jorden faller fritt, men roterer. Et koordinatsystem som er fast i et laboratorium på jorden, kan likevel for de fleste formål regnes som inertialt.

Den kjente fysiker Stephen Hawking ville – for ikke å redusere lesertall og salg av boken "A Brief History of Time" fra 1988 – unngå all bruk av ligninger, med én unntagelse: $E = mc^2$. Denne berømte relasjonen har gått igjen i de fleste lærebøker i fysikk, og kan f.eks. sees i vignetten for NRK-programmet "Newton", og er også innbrodert

*Institutt for fysikk, NTNU

i fanen til linjeforeningen for fysikkstudentene ved NTNU. Den har vært utbredt i fysikkundervisningen ved både universitet og videregående skoler i Norge, og er blitt nær sagt allemannseie. Men er det dette uttrykket for ekvivalensen mellom masse og energi som Einstein ved et tankeekesperiment kom frem til, eller er det lign. (6): $E_0 = mc^2$? Svaret på spørsmålet skal vi komme tilbake til. Først to grunnleggende relasjoner i den spesielle relativitetsteorien:

$$E^2 - (pc)^2 = E_o^2 \tag{7}$$

og

$$p = v\frac{E}{c^2} \tag{8}$$

Her er p impulsen, v hastigheten, og hvileenergien er $E_0 = E(p = 0)$. Uttrykket på venstre side av lign. (7) er invariant, dvs. at det har samme størrelse i alle inertiale koordinatsystem. Ved innsetning av uttrykket for impulsen, ser vi at lign. (7) kan skrives:

$$E^2[1 - (v/c)^2] = E_0^2 \tag{9}$$

eller for $v \neq c$:

$$E = \gamma E_0 \tag{10}$$

hvor

$$\gamma = [1 - (v/c)^2]^{-1/2} \tag{11}$$

For et isolert system av partikler eller objekter som beveger seg fritt, adderes energiene

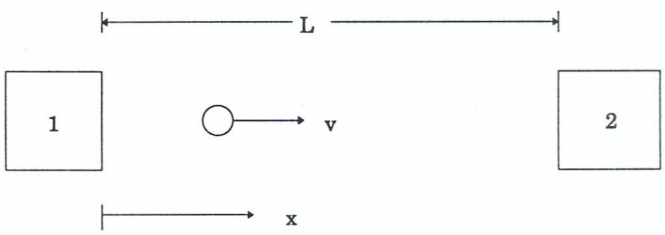
$$E = \sum E_i \tag{12}$$

og impulsene vektorielt, slik at

$$p = |\sum \mathbf{p}_i| \tag{13}$$

La oss nå rekapitulere Einsteins tankeeksperiment som anskueliggjør ekvivalensen mellom energi og masse på en enkel måte. Eksperimentet er beskrevet f.eks. av French,[1] og skal her gjengis i en litt modifisert form, se figur 1.

To legemer er i ro. En partikkel emitteres med vilkårlig hastighet v og totalenergi E fra legeme 1 til legeme 2, hvor den absorberes. Avstanden L tilbakelegges i løpet av tiden $T = L/v$. Partikkelimpulsen p er gitt ved lign. (8). Ved partikkelutsendelsen vil legeme 1 få en like stor, men motsatt rettet impuls, og vil bevege seg i negativ x-retning med ikke-relativistisk hastighet $u_1 = -p/m_1$. Legemets masse m_1 antas å være så stor at den bare påvirkes neglisjerbart ved partikkelemisjonen. I det øyeblikk partikkelen absorberes



Figur 1. Illustrasjon til Einsteins tankeeksperiment som demonstrerer ekvivalens mellom masse og hvileenergi.

av legeme 2, overføres impulsen p. Den antatt tunge absorbatoren får derved en ikke-relativistisk hastighet $u_2 = p/m_2$. Absorbatorens totalenergi øker med partikkelenergien E. Den kinetiske energien blir $E_{kin} = \frac{1}{2}m_2u_2^2$, mens hvileenergien øker med et beløp ΔE_{02}. Energibevarelse krever at $E = \Delta E_{02} + \frac{p^2}{2m_2}$. Vi velger m_2 så stor at den kinetiske energien kan neglisjeres. I absorbsjonsøyeblikket må tyngdepunktforskyvningen for systemet være null, ettersom det ikke er utsatt for ytre krefter. Absorbatoren må derfor ha fått en masseøkning Δm_2, gitt ved:

$$m_1 \cdot (u_1 \cdot T) + \Delta m_2 \cdot L = 0$$

$$\Delta m_2 = (-m_1 \cdot u_1) \cdot \frac{T}{L} = p \cdot \frac{1}{v} = \frac{E}{c^2} = \frac{\Delta E_{02}}{c^2}$$

Med andre ord: Det er ekvivalens mellom masse og hvileenergi. Ligning (6), $E_0 = mc^2$, er derfor generelt gyldig. Det er her gjort bruk av relativistisk gyldige uttrykk for impuls og energi, lign. (7) og (8), men forøvrig ligger tankeeksperimentet helt innenfor rammen av klassisk fysikk.

Massen til partikkelen mens den beveger seg fra legeme 1 til 2, sier eksperimentet ingen ting om. Hvis f.eks. partikkelen hadde vært et foton, ville hvileenergien til absorbatoren øke med fotonenergien, og absorbatormassen tilsvarende. Men for fotonet er venstre side i lign. (7) lik null. Siden fotonet ikke eksisterer i hvile, er det da bedre å uttrykke hvileenergien på høyre side ved massen:

$$E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2 \tag{14}$$

For fotonet gjelder altså at $m = 0$: *Fotonet er masseløst.*

Venstre side i lign. (14) kan oppfattes som kvadratet av en fire-vektor $\{E, ip_xc, ip_yc, ip_zc\}$ med invariant lengde mc^2. Her er $i = \sqrt{-1}$, og $\{p_x, p_y, p_z\}$ er impulsvektoren i kartesiske koordinater. For en grundig diskusjon av dette tema og massebegrepet generelt, hen-

vises det til boken "Spacetime physics" av Taylor og Wheeler.[2]

Det utførte tankeeksperimentet har *ikke* vist gyldigheten av (5), $E = mc^2$. Denne fysisk ubegrunnede relasjonen impliserer at massen er relativistisk, dvs. hastighetsavhengig, og at fotonet har masse. Relativistisk masse kan derfor ikke sammenlignes med lengdekontraksjon og tidsdilatasjon, som jo begge med nødvendighet følger av den spesielle relativitetsteori. Likevel kan massen formelt *defineres* ved $E = mc^2$, fordi korrespondansen med massebestemmelser innenfor klassisk fysikk er sikret gjennom $E = E_0$. Med denne definisjonen vil relativistisk masse bare være et annet uttrykk for totalenergien. For å karakterisere fotonet kunne en si at det har null hvileenergi eller hvilemasse. Men dette ville være en uheldig formulering, fordi fotonet som nevnt ikke eksisterer i hvile. Langt bedre er det kort og godt å si at fotonet er masseløst, i overensstemmelse med oppfatningen om at massen er invariant, og for fotonet er lik null.

Realiteten i f.eks. lengdekontraksjonen kan belyses ved et interessant og for mange overraskende, tankeeksperiment. Hendelsesforløpet beskrives i et inertialsystem hvor to romskip forbundet med en tynn tråd gis samme akselerasjon i trådretningen. Hva skjer med tråden? Avstanden mellom romskipene vil være konstant, siden de har samme akselerasjon. Men lengdekontraksjonen svarer til kortere tråd. Siden tråden er for svak til å trekke romskipene nærmere hverandre, blir den strukket – og ryker!

Noen tror kanskje at Newtons 2. lov på formen $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ har relativistisk gyldighet dersom vi bare innsetter relativistisk masse. Dette er naturligvis feil. Newtons 2. lov på relativistisk gyldig form, og anvendt på et objekt med hastighet $\mathbf{v}$, impuls $\mathbf{p}$ og totalenergi E, kan skrives:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d(\mathbf{v}E/c^2)}{dt} = (E/c^2)\mathbf{a} + \mathbf{v}\frac{d(E/c^2)}{dt} \quad (15)$$

Akselerende kraft $\mathbf{F}$ og akselerasjon $\mathbf{a}$ har samme retning bare dersom også hastigheten har det, eller når kraften er normal på hastigheten, som ved sirkel- eller skruebevegelse, for da vil E være konstant. I det generelle tilfellet finnes det derfor ingen treg masse som inngår i en proporsjonal sammenheng mellom $\mathbf{F}$ og $\mathbf{a}$. Men for $v \ll c$, blir $E = E_0$ og $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$.

Utbredt er også forestillingen om at fotonet må ha masse fordi det avbøyes i et gravitasjonsfelt. Men denne begrunnelsen er ikke holdbar.

Gravitasjonskraften på et objekt med hastighet $\mathbf{v}$ og totalenergi E i vektoravstand $\mathbf{r}$ fra sentrum av et meget tungt kuleformet legeme med masse M, som f.eks. jorden, blir:[3]

$$\mathbf{F}_g = -G\frac{M(E/c^2)[\mathbf{r}(1+(v/c)^2) - \mathbf{v}(\mathbf{v}\cdot\mathbf{r})/c^2]}{r^3} \quad (16)$$

I tillegg til sentripetalkomponenten vil det også være en kraftkomponent i hastighetsretningen unntatt når $\mathbf{v} \perp \mathbf{r}$. Som understreket av Okun,[3] er altså ikke $\mathbf{F}_g$ generelt vertikalt rettet, og det finnes derfor heller ingen gravitasjonsmasse som inngår i en proporsjonal sammenheng mellom $\mathbf{F}_g$ og $\mathbf{r}$. For $v \ll c$, blir $E = E_0$ og $E/c^2 = m$. Av lign. (16) følger da den klassiske gravitasjonsloven:

$$\mathbf{F}_g(v \ll c) = G\frac{Mm}{r^2}\frac{\mathbf{r}}{r} = m\mathbf{g} \quad (17)$$

hvor tyngdens akselerasjon er:

$$\mathbf{g} = \mathbf{g}(r) = -G\frac{M}{r^2}\frac{\mathbf{r}}{r} \quad (18)$$

Men lign. (16) gjelder også for et masseløst foton med energi E. For v må da innsettes lyshastigheten c. Et foton som forplantes i horisontal retning blir påvirket av en dobbelt så stor gravitasjonskraft som hvis fotonet forplantes i positiv eller negativ radiell retning. For foton i *vertikalretningen* blir:

$$\mathbf{F}_g = G\frac{M(E/c^2)}{r^2}\frac{\mathbf{r}}{r} = (E/c^2)\mathbf{g} \quad (19)$$

Innføres relativistisk masse $m = E/c^2$, får ved et sammentreff lignin. (17) og (19) nøyaktig samme form. At et foton med energi E og som beveger seg *vertikalt* i tyngdefeltet er påvirket av samme gravitasjonskraft som en masse $m = E/c^2$, må imidlertid betraktes som et spesialtilfelle av lign. (16), og ikke som en bekreftelse på at fotonet virkelig har denne massen.

Sammentreffet forklarer at frekvensskiftet for et foton som faller vertikalt i tyngdefeltet, kan bestemmes ved å ta utgangspunkt i relativistisk masse og den klassiske gravitasjonsloven. Men fremgangsmåten kan ikke brukes hvis fotonet også har en horisontal impulskomponent; da må lign. (16) og Newtons 2. lov på relativistisk gyldig form benyttes. For et vertikalt fallende foton kan frekvensskiftet også enkelt finnes ut fra Doppler-effekten og den spesielle relativitetsteori, se f.eks. Serway.[4]

Et foton som faller *vertikalt* en differensiell vei $d\mathbf{s} = dr \cdot \mathbf{r}/r$, vil ifølge lign. (19) endre sin energi med:

$$dE = \mathbf{F}_g \cdot d\mathbf{s} = -(E/c^2) \cdot g(r) \cdot dr \qquad (20)$$

$E(r)$ finnes lett ved å integrere (20). Ved høydeendring $|\Delta r| \ll r$ blir $g \approx konstant$. Fotonenergien endres da relativt så lite at vi med god tilnærmelse kan sette:

$$\Delta E = -(E/c^2) \cdot g \cdot \Delta r \qquad (21)$$

Tilsvarende relativ frekvensendring blir:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta E}{E} = -\frac{g\Delta r}{c^2} \qquad (22)$$

Frekvensen vil øke for et foton som faller vertikalt nedover ($\Delta r < 0$), og avta for foton som stiger vertikalt oppover i tyngdefeltet.

Det er verd å merke seg at når et legeme forskyves med *konstant hastighet* i tyngdefeltet, vil hverken totalenergi eller hvileenergi for legemet endres, og derfor heller ikke massen. Årsaken er at det ikke utføres noe arbeid på legemet, siden det ifølge Newtons 2. lov ikke er påvirket av noen netto kraft. Endringen i potensiell energi som ofte blir tillagt legemet, tilhører i virkeligheten systemet legeme–jord. Men heller ikke systemets masse vil være endret, med mindre det har skjedd en energiutveksling med omgivelsene.

Innføres relativistisk masse ved $E = mc^2$, må vi for hvileenergien skrive $E_0 = m_0c^2$, og ifølge lign. (10): $m = \gamma m_0$, hvor m_0 kalles hvilemassen. For fotonet er da hvilemassen null, et i seg selv uheldig utsagn, siden fotonet ikke eksisterer i hvile. Og med $m_0 = 0$ og $\gamma = \infty$, kan 'relativistisk' fotonmasse i hvert fall ikke bestemmes ut fra denne relasjonen. Isteden må definisjonsligningen (5) benyttes. Et system av to fotoner med samme energi E, vil ha relativistisk masse $2E/c^2$, mens den invariante massen for systemet har samme verdi bare i det tilfellet at de to fotonene har motsatt bevegelsesretning, slik at systemets nettoimpuls er null. At relativistiske masser er additive, er kanskje deres mest attraktive egenskap, for fra klassisk fysikk er vi vant med at to kilolodd veier dobbelt så mye som ett. På den annen side er dette et nokså trivielt uttrykk for at energiene adderes, og det er nettopp det vi isteden kan gjøre. For kjenner vi totalenergien for et system i ro, dvs. med null nettoimpuls, kjenner vi hvileenergien og dermed massen. Dersom en gassmengde fylles på en beholder i ro, blir gassens nettoimpuls lik null (i hvert fall i tidsmiddel), og massen til den innelukkede gassen vil være gitt av hvileenergien – og omvendt. Har vi forstått dette, er det ingen grunn til å reagere med stor overraskelse på tittelen på en artikkel skrevet av en kollega: "The mass of a gas of massless photons."[5]

For et system som *ikke* er i ro, dvs. har nettoimpuls forskjellig fra null, er det et stort spørsmål hva relativistisk masse for systemet egentlig skal brukes til. Uten å ha foretatt noen statistisk undersøkelse, synes relativistisk masse å være på vikende front. Ifølge egen pedagogisk erfaring, bidrar den bare til forvirring og forkludring av massebegrepet. Jeg har da også nylig registrert at den er forsvunnet fra fysikklærebøkene for videregående skole. Når den forhåpentlig etter hvert er helt ute av bildet, vil det være bare ett massebegrep igjen på valplassen, og det er den invariante massen, eller kort og godt massen. Man kan da slutte å snakke om både relativistisk masse og hvilemasse. Betegnelsen hvilemasse er uheldig, fordi den antyder at massen er en annen hvis den ikke er i ro. Å kunne sløyfe indeksen null er en ekstra bonus.

De standhaftige som likevel ikke ønsker å gi slipp på den relativistiske massen og $E = mc^2$, og som ønsker moralsk støtte for det, anbefales å lese "In defence of the relativistic mass".[6] Men Einstein selv vil ikke være på deres side. I et brev til Lincoln Barnett, 19. juni 1948, skriver han: "Det er ikke bra å tale om massen $M = \gamma m$ for et beveget legeme, da det for M ikke kan gis noen klar definisjon. Bedre er å begrense seg til hvile-massen m. Dessuten kan man jo gi uttrykk for impuls og energi, hvis man vil angi treghetsforholdene for hurtig bevegte legemer." Sitatet i sin originale tyske språkform er fotografisk gjengitt hos Okun.[3]

Referanser

1. French, A.P.: *Special Relativity.* W.W. Norton & Co, New York (1966) p. 16
2. Taylor, E.F. and J.A. Wheeler: *Spacetime physics.* W.H. Freeman and Co., New York, 2nd ed. (1992) pp. 16–18
3. Okun, L.B.: *The concept of mass.* Physics Today, June 1989, pp. 31–36
4. Serway, R.A.: *Physics.* Saunders College Publ., Philadelphia, 3rd ed. (1990) p. 1137
5. Kolbenstvedt, H.: *The mass of a gas of massless photons.* Am. J. Phys. **63**, 44–46 (1995)
6. Sandin, T.R.: *In defence of relativistic mass.* Am. J. Phys. **61**, 1032–1036 (1991)

∞

Nye faser i to dimensjoner?

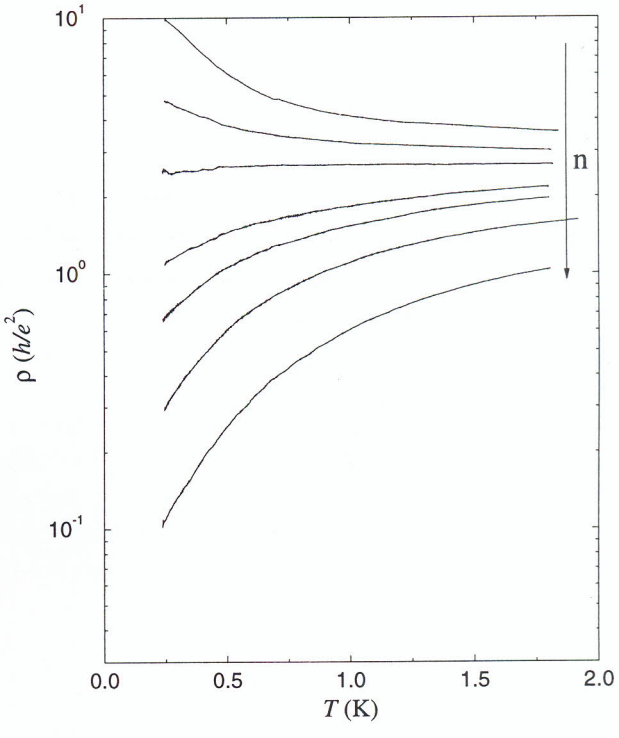
Olav F. Syljuåsen *

Vår viten om elektronsystemer i to dimensjoner er blitt utvidet i overraskende retninger de siste tyve årene. Kvante-Hall-effekten som opptrer når elektroner i to dimensjoner utsettes for et sterkt magnetfelt, er et eksempel på dette. Og det er ikke slutt på overraskelsene; det eksisterer nå eksperimentelle indikasjoner på at elektroner i to dimensjoner danner interessante nye faser også i fravær av et magnetfelt.

Studiet av todimensjonale systemer kan ved første øyekast synes svært akademisk da objekter i naturen virkelig er tredimensjonale. Men det en skal huske på er at fysiske fenomener som oftest er begrenset til et bestemt område av energiskalaen, og at fenomener på andre deler av skalaen med god tilnærmelse kan ses bort fra. Hvem bryr seg vel om protonets struktur når planetbevegelsene skal forklares?

Elektroner som er bundet til grensesjiktet mellom to tredimensjonale materialer er også et eksempel på dette. Elektronene kan lett bevege seg i grensesjiktet, men energikostnaden ved å bevege seg vekk fra grensesjiktet er stor. Så for lavere temperaturer enn den som tilsvarer denne bindingsenergien, kan elektronsystemet betraktes som todimensjonalt.

Slike todimensjonale elektronsystem oppfører seg svært interessant når de blir utsatt for et magnetisk felt. Dette er kvante-Hall-effekten som er blitt studert intenst i mange år nå. Derimot har det vært mye mindre interesse for todimensjonale elektronsystemer i fravær av et magnetfelt. Der har en trodd inntil nylig at systemet oppfører seg som en isolator uten altfor mange interessante egenskaper. Derfor kom det som en overraskelse på mange da Sergei Kravsjenko og medarbeidere for fem år siden publiserte et arbeid som viste klare eksperimentelle indikasjoner på en *metallisk* fase i et todimensjonalt elektronsystem. Figur 1, som er hentet fra et nyere arbeid av Kravsjenko[1] illustrerer dette. Figuren viser målinger av resistansen til en silisium *metal-oxsyd-semiconductor-field-effect-transistor* (MOSFET). I en slik transistor er ledningselektronene bundet til grensesjiktet mellom et metalloksid og en halvleder. Resistansen er vist som funksjon av temperaturen for forskjellige elektrontettheter, n. Kurvene viser isolerende oppførsel (resistansen øker for synkende temperaturer) for $n < n_{cr} \approx 0,90\text{x}10^{11}$ cm^{-2}, og metallisk oppførsel (resistansen avtar for synkende temperaturer) for $n > n_{cr}$. For enda høyere elektrontettheter observeres igjen kurver som indikerer en isolerende fase. Dette siste kan ikke ses av figuren her, men er observert av andre grupper.



Figur 1. Resistans vs. temperatur for en 2d Si-MOSFET ved ulike elektrontettheter n. Fra toppen er tetthetene: 0,86, 0,88, 0,90, 0,93, 0,95, 0,99 og 1,1x10^{11}cm^{-2}.

*NORDITA, København

Dessverre fikk Kravsjenkos arbeid lite oppmerksomhet til å begynne med, ikke fordi dataene var uinteressante, men fordi mange var svært skeptiske til Kravsjenkos prøver. MOSFET-ene Kravsjenko benyttet var nemlig av mye bedre kvalitet enn det til da hadde vært mulig å lage i silisium. Troverdigheten ble nok ikke styrket av at prøvene var laget ved en fabrikk i Sibir, og at fabrikken like etter brant ned, noe som gjorde det umulig å lage nye høykvalitetsprøver. Derfor var det ikke før andre grupper produserte lignende resultater flere år senere at Kravsjenkos data ble tatt på alvor.

Grunnen til at en har trodd at det ikke eksisterer todimensjonale metaller er basert på en betraktning av ikke-vekselvirkende elektroner. For ikke-vekselvirkende elektroner finnes det gode teoretiske argumenter for at i to dimensjoner vil selv en infinitesimal mengde urenheter føre til en isolerende fase. Dette fenomenet kalles svak lokalisering[2] og er blitt bekreftet utallige ganger i MOSFET-er med høye tettheter av elektroner.

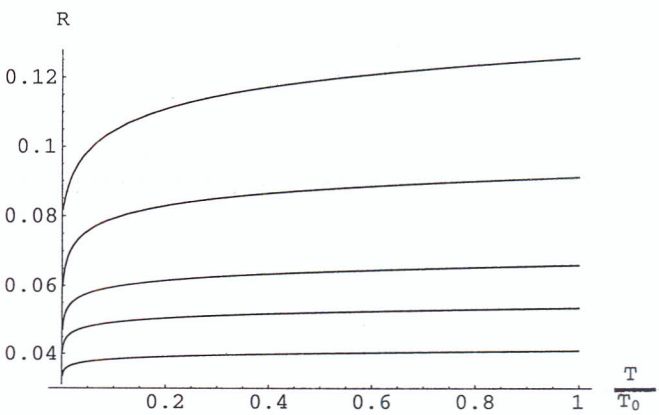
Hvor god antagelsen om ikke-vekselvirkende elektroner er i Kravsjenkos eksperiment, avhenger av forholdet r_s mellom Coulomb-energien og den kinetiske energien til elektronene. Begge energiene avtar med synkende tetthet, men den kinetiske energien avtar fortere. Så i to dimensjoner er dette forholdet

$$r_s = \frac{E_{Coul}}{E_{kin}} \sim \frac{1}{\sqrt{n}}.$$

Antagelsen om ikke-vekselvirkende elektroner blir altså dårligere når tettheten går ned. I Kravsjenkos eksperiment er den typiske avstanden mellom elektronene 300 Å ved n_{cr}. Til sammenligning er elektronavstanden i et normalt metall noen få Å. Dette fører til at $r_s \sim 10$ i Kravsjenkos eksperiment og at Coulomb-vekselvirkningen ikke kan neglisjeres i en teoretisk forklaring.

Som et ledd i å finne en teoretisk forklaring kan eksperimentene bli tolket slik at de indikerer tre forskjellige faser ved $T = 0$. Først en isolerende fase for høye tettheter. Denne fasen er den konvensjonelle en-elektron isolatoren som forårsakes av svak lokalisering. For lavere tettheter er det en metallisk fase som igjen avløses av en ny isolerende fase for enda lavere tettheter. Siden de to isolerende fasene er adskilt av en metallisk tilstand, er det ikke sannsynlig at de kan forklares på den samme måten. Vi har derfor å gjøre med potensielt to nye faser ved lave elektrontettheter: Et metall og en isolator.

I en teori for den metalliske fasen kan en starte med ikke-vekselvirkende elektroner som diffunderer på grunn av kollisjoner med urenheter. Hvordan vil Coulomb-vekselvirkningen influere på denne diffusjonsprosessen? Dette spørsmålet ble delvis besvart av Finkelstein allerede i midten av 80-åra.[3] Finkelsteins teori som er oppsummert i fire koblede differensialligninger er kvalitativt i overenstemmelse med en metallisk fase. Som en kan se av figur 2, avtar resistansen med synkende temperatur.

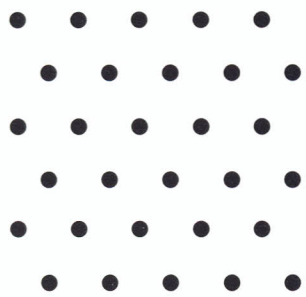


Figur 2. Numeriske løsninger av Finkelsteins ligninger. Resistansen er vist i enheter av e^2/h som funksjon av temperaturen. Kurvene er generert ved å spesifisere resistansen ved $T = T_0$ som et randvilkår.

Det er likevel en hake ved å anvende Finkelsteins teori til å forklare eksperimentene. Den kvantitative overenstemmelsen er nemlig ikke særlig god. Dette kan komme av at tilnærmelsene som er benyttet for å utlede de fire differensialligningene mister gyldighet for lave temperaturer, men kan også indikere at det er noe annet som foregår i eksperimentene enn det Finkelsteins teori beskriver.

For å forklare den isolerende fasen ved de laveste tetthetene der Coulomb-vekselvirkningen dominerer fullstendig, kan det være rimelig å starte med å neglisjere urenhetene. Grunntilstanden er da et såkalt Wigner-krystall der elektronene er lokalisert i et triangulært gitter som vist i figur 3.

Uten urenheter kan Wigner-krystallet lett bevege seg som et hele når det blir utsatt for et elektrisk felt og systemet leder strøm. Tilstedeværelsen av noen få urenheter vil imidlertid hindre Wigner-krystallet fra å bevege seg, og systemet oppfører seg som en isolator. For en økende mengde av urenheter vil Wigner-krystallet ødelegges, men en kan muligens likevel snakke om orden over en viss skala. Et



Figur 3. Triangulært Wigner-krystall

slikt "Wigner-glass" er blitt foreslått[4] som kandidat til den isolerende fasen ved de laveste tetthetene. Mye arbeid gjenstår for presist å karakterisere denne Wigner-glass-fasen.

Til slutt er det på sin plass å nevne at det er blitt reist innvendinger mot tolkningen av at eksperimentene indikerer distinkte $T = 0$ faser. Den lave elektrontettheten medfører nemlig at selv om eksperimentene foregår ved de lavest mulige temperaturer, er temperaturen likevel ikke mye lavere enn Fermi-energien som er omkring 7 K i Kravsjenkos eksperimenter. Så muligens er det hele bare en spesiell effekt som opptrer nær Fermi-energien. I så fall er det en meget dramatisk effekt som burde være interessant i seg selv.

Det er nå en hektisk aktivitet både blant teoretikere og eksperimentatorer for å forklare de metall- og isolatorlignende kurvene. Forhåpentligvis kan problemet løses i den nærmeste framtid.

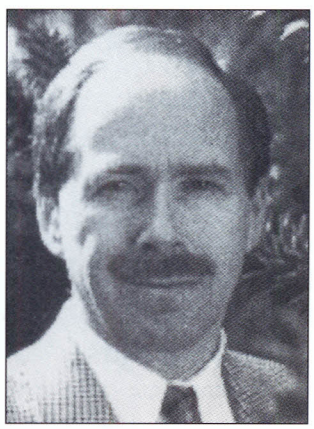
Referanser

1. M.P. Sarachik, S.V. Kravchenko: *Novel phenomena in dilute electron systems in two dimensions.* Proc. Natl. Acad. Sci. **96**, 5900–5902 (1999)
2. B. Altshuler, P.A. Lee: *Disordered electronic systems.* Physics Today, Dec. (1988) 36–44
3. A.M. Finkelstein: *Electron liquid in disordered conductors.* Sov. Sci. Rev. A. Phys. **14**, 1–101 (1990)
4. P. Phillips et al.: *Superconductivity in a two-dimensional electron gas.* Nature **395**, 253–257 (1998)

∞

Nobelprisen i fysikk –99

Nobelprisen i fysikk for 1999 er tildelt dei to nederlendarane Gerardus t'Hooft og Martinus J.G. Veltman "for deira avgjerande innsats om kvantestrukturen for elektroveik vekselverknad i fysikk". I klårtekst var det dei som viste at den elektroveike teorien var ein konsistent renormaliserbar kvantefeltteori, der ein kunne rekne ut kvantekorreksjonar som blir og har vorte eksperimentelt verifiserte.



Gerardus t'Hooft

Martinus J.G. Veltman

Dette er tredje gongen Nobelprisen har vorte gjeven til arbeid som direkte går på sameininga av elektromagnetisme og veik vekselverknad. I 1979 fekk S.L. Glashow, A. Salam og S. Weinberg prisen for å ha formulert teorien, og i 1984 fekk C. Rubbia og S. van der Meer prisen for eksperimenta ved CERN som fann partiklane Z^0, W^+ og W^-. Desse er, saman med fotonet, feltkvanta i den elektroveike teorien.

Dei einaste stabile partiklane som har berre veik vekselverknad er nøytrinoa, og Fermi la fram sin kvantefeltteori for veik vekselverknad like etter at Pauli hadde postulert at eit nøytrino var involvert i β-desintegrasjon. Fermis teori var store ting, men så fort som ein prøvde å rekne ut kvantekorreksjonar var teorien ein katastrofe. Det same var forresten kvanteelektodynamikken (QED), heilt til R.P. Feynman, J. Schwinger og S-I. Tomonaga like etter andre verdskrigen, fann metoden – *renormalisering* – som førde til at ein kunne subtrahere ut dei uendelege bidraga som sit i kvantekorreksjonane i QED. Men å renomalisere Fermis

teori viste seg å vera uråd.

S.L. Glashow var i København då han skreiv sin mest fundamentale artikkel: "Partial symmetries of weak interaction." Dette var ein freistnad på å lage ein teori basert på ein ikkje-abelsk gaugeteori, eller ein Yang–Mills-teori, som ein ofte seier, for elektroveik vekselverknad.

Kva er så ein gaugeteori? Prinsippet – det lokale gaugeprinsippet – er at kreftene partiklar imellom skal vera invariante når dei fundamentale materiefelta blir endra ved ein transformasjon som varierer i tid og rom. Dersom ein krev at ein skal kunne multiplisere bylgjefunksjonen til eit elektron med ein fasefaktor (ein U(1)-transformasjon) som varierer i tid og rom, får ein som konsekvens at elektronet må vera kopla til eit felt som representerer fotonfeltet. Dersom ein krev at kreftene skal vera invariante dersom elektronet (den delen som er vinstrehendt) kan transformerast over i eit nøytrino ved hjelp av ei (unitær) 2x2-matrise, der elementa varierer i tid og rom, får ein ein ikkje-abelsk gaugeteori, og (det vinstrehendte) elektronet og nøytrinoet må kople til tre feltkvant, som er partiklane Z^0, W^+ og W^-, som vi har nemnt tidlegare. Glashows (og alle andres!) store vanske var at desse feltkvanta såg ut til å måtte vera masselause dersom ein ikkje braut gaugeinvariansen eksplisitt, og det var i motstrid med alle observasjonar. "Alle" visste at slike feltkvant i det minste måtte vera omtrent 40 gonger tyngre enn hydrogenatomet. A. Salam og S. Weinberg viste korleis ein kunne unngå å få masselause feltkvant dersom ein aksepterte at vakuum ikkje er tomt, men fyllt av feltet som tilsvarer ein til nå hypotetisk partikkel som heiter Higgs-partikkelen.

Som QED var denne elektroveike teorien ein teori med juster(gauge)-invarians, og han var chiral, dvs. at materiepartiklane i utgangspunktet var masselause, og dei som hadde spinnet kvantisert parallelt eller antiparallelt med impulsen vart sett på som ulike partiklar. Men fordi gaugetransformasjonane her ikkje kommuterte (dei var 2x2-matriser), var det uvisst om teorien let seg renormalisere, og han vekte så lita interesse at Glashow (etter som han sa) gløymde heile artikkelen sin.

Det er her Martinus Veltman entrar soga, og det er i ettertid rart å tenkje på korleis vondt kan vende seg til godt. Veltman var stipendiat ved CERN på 1960-talet (Jørgen Løvseth arbeidde saman med han då), og han ville gjerne bli fast tilsett ved teoriavdelinga på CERN. Men Van Hove ville ikkje ha han der, og han måtte nøye seg med å bli professor i Utrecht. Der revolusjonerte han undervisninga og fekk ei rekkje fyrsteklasses studentar. Medan Veltman var på CERN, hadde han utvikla eit algebraisk manipulasjonsprogram – Schoonschip – som representerte noko heilt nytt når det galdt å utføre utrekningar i kvantefeltteoriar og som vart essensielt i det som hende framover.

Veltman er ein av desse som gjer problem i fysikk til personlege problem, og han ville absolutt trenge inn i både gravitasjonsteori og ikkje-abelske gaugeteoriar. Mange av dei som fylgde forelesingane til Veltmann i Utrecht, har vorte store fysikarar. Likevel er det ein som skiljer seg spesielt ut:

G. t'Hooft var 22 år gamal då han vart doktorgradstudent hos Veltman i 1969. I 1970 var han på den internasjonale sommarskulen i Cargese på Corsica, og lærde om renormalisering av ein populær modell, Gellman og Levys σ-modell, der vakuum har den eigenskapen at det er fylt med eit felt som ikkje er null, om lag som det Higgs-fylte vakuumet Salam og Weinberg hadde tenkt seg. t'Hooft kjende ikkje til Salam og Weinbergs modell då, og etter å ha fått Veltmans velsigning til å prøve ideane sine på Yang–Mills-teoriar, gjenoppdaga han faktisk det meste av det som Glashow, Salam og Weinberg hadde gjort. Og det som meir var: Han klarde å få kontroll over dei uendelege bidraga som ingen hadde klart å handtere før. Med Veltman kunne han vise at teorien var renormaliserbar, og dei opna såleis vegen til å gjera utrekningar som til då hadde vore umogelege, av observable storleikar. Glashow–Salam–Weinbergmodellen, som i det store og heile ikkje hadde vore sitert, kom nå i velten, og det tok ikkje lang tid før ein essensiell ingrediens i teorien vart påvist eksperimentelt ved CERN: Eksistensen av nøytrale veike straumar som vart propagert gjennom Z^0. Etterpå har det gått slag i slag, og alle forutseiingane som til nå har vore testa, har vore korrekte. Eit godt eksempel er massen til toppkvarken som inngår i utrekningane av kvantekorreksjonar. Denne vart forutsagt til å vera meir enn 150 gonger tyngre enn protonet, og med ei slik masse vart han funnen ved Fermilab ved Chicago, i 1995.

Eg vil tru at det var med lette at dei to attlevande nobelprisvinnarane frå 1979 fekk vita at t'Hooft og Veltmann også fekk prisen. Dersom vi skulle snakke med litt newtonske vendingar, kunne vi seia at det var t'Hooft og Veltman som viste at den pene steinen som Glashow, Salam og Weinberg hadde funne, var ein diamant.

Hallstein Høgåsen

∞

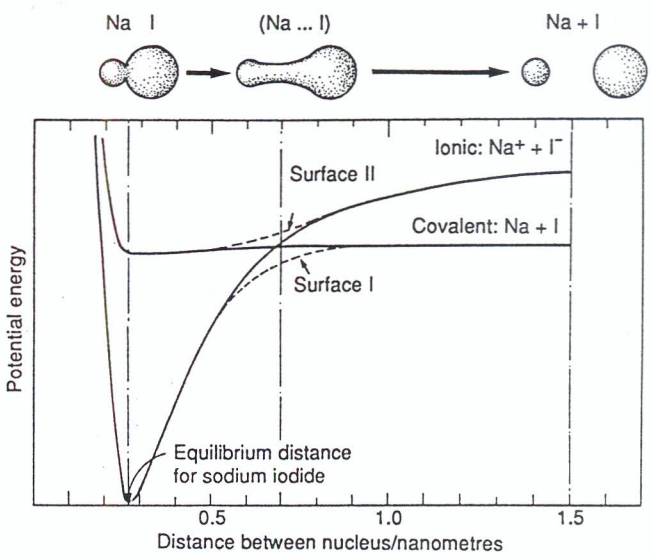
Nobelprisene i kjemi 1998 og 1999

Nobelprisen i kjemi er de to siste årene utdelt for forskning som også er av stor interesse innen fysikken. *I 1998 gikk kjemiprisen til Walter Kohn for "utvikling av teorien for tetthetsfunksjonaler", og til John A. Pople for "utvikling av beregningsmetoder innen kvantekjemien".* Kohn er professor i teoretisk fysikk (faststoff-fysikk) ved California-universitetet i Santa Barbara. Teorien for tetthetsfunksjonaler som han utviklet sammen med medarbeidere på 1960-tallet, er av minst like stor betydning innen fysikken som innen kjemien. Essensen i Kohns metode er at en tetthetsfunksjon $\rho(\mathbf{r})$ som representerer elektrontettheten i systemet, gir en fullstendig beskrivelse av grunntilstanden i et kvantemekanisk system. Tettheten $\rho(\mathbf{r})$ for et system med n elektroner finnes av et enkelt variasjonsprinsipp som i praksis medfører bestemmelse av n en-elektronfunksjoner. I motsetning til den mer kjente en-elektron Hartree–Fock-approksimasjonen, gir tetthetsfunksjonalene i prinsippet en eksakt løsning. Det knytter seg ikke minst store forventninger til bruk av tetthetsfunksjonaler for å simulere egenskaper for komplekse materialer ut fra kvantemekaniske grunnprinsipper.[1]

Nobelprisen i kjemi for 1999 gikk udelt til Ahmed H. Zewail, professor i fysikalsk kjemi ved California Institute of Technology, for "studier av overgangstilstander i kjemiske reaksjoner ved hjelp av femtosekund-spektroskopi". Zewails forskning består i å utnytte "verdens hurtigste kamera", dvs. et avansert lasersystem som gir ultrakorte pulser med lengder ned mot 10^{-15} s (femtosekund), til å studere tidsforløpet av unike kvanteprosesser. Kjemiske reaksjoner eller fragmentering (dissosiasjon) av molekyler skjer innenfor tidsrom av størrelsesorden 10^{-13} s, slik at disse fundamentale prosessene kan studeres med Zewails kamera.

I sitt mest kjente og kanskje mest elegante eksperiment, har Zewail og medarbeidere studert dissosiasjonen av det toatomige molekylet NaI.[2] Et toatomig molekyl karakteriseres ved diskrete potensialkurver $E_k(R)$, dvs. elektronenergier som varierer kontinuerlig med kjerneavstanden R. De to laveste potensialkurvene for NaI-molekylet er vist i figur 1.

I Zewails eksperiment startes en dynamisk pro-



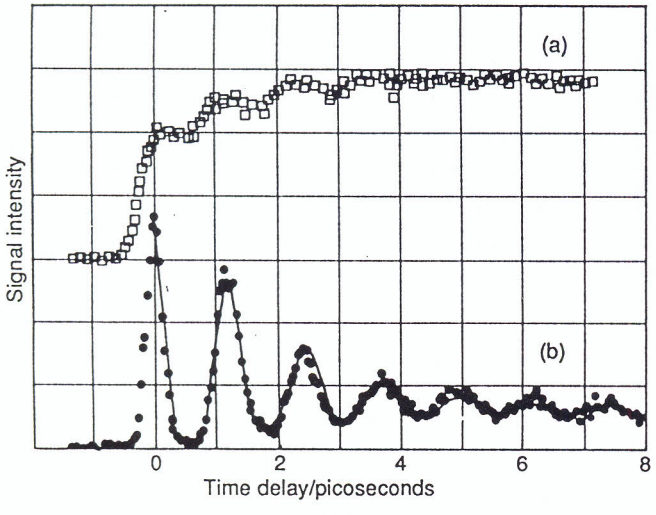
Figur 1. Potensialkurver for de to laveste elektrontilstandene i NaI.[3]

sess i NaI-molekylet ved at en kort laserpuls med varighet $6 \cdot 10^{-14}$ s, og en passende valgt bølgelengde λ_1 (pumpepulsen), eksiterer molekylet fra grunntilstanden til første eksiterte tilstand. Denne eksitasjonen foregår raskt uten at kjerneavstanden forandres (vertikal stiplet linje til venstre i figur 1). I øvre tilstand er potensialkurven ikke-bindende (repulsiv), og dissosiasjonsprosessen starter umiddelbart, dvs. at kjerneavstanden øker. Ved $R \approx 0,7$ nm skulle de to kurvene krysse hverandre (se figur 1). Dette er imidlertid ikke tillatt ("non crossing rule"), og i krysningsområdet vil molekylet i stedet følge de stiplede kurvene. Når kjerneavstanden nærmer seg krysningsavstanden, vil det allikevel være en viss sannsynlighet (ca. 10 %) for at bevegelsen "hopper" over til den nedre kurven slik at dissosiasjonen fullføres med frie Na- og I-atomer som resultat. Molekylene som følger øvre stiplede kurve, møter etter hvert en potensialbarriere; bevegelsen snus om, og molekylet svinger tilbake til utgangspunktet langs øvre kurve. Deretter gjentas prosessen periodisk med en periode på ca. $1,3 \cdot 10^{-12}$ s. For hver gang kjerneavstanden øker til krysningspunktet, vil ca. 10 % av molekylene dissosiere, og dette medfører en trinnvis økning av mengden av frie Na- og I-atomer i prøven, med tidsintervall ca. $1,3 \cdot 10^{-12}$ s (molekylene i øvre tilstand har en levetid med hensyn til emisjon av stråling av størrelsesorden 10^{-8} s).

Dynamikken i prosessen undersøkes med en ny kort laserpuls med passende bølgelengde λ_2 (prøvepulsen), som er litt forsinket i forhold til

pumpepulsen. I praksis er pumpe- og prøvepulsen samme laserpuls, men en lar prøvepulsen følge en annen og litt lengre strålevei frem til prøven. Samtidig settes det inn ulike optiske komponenter i de to stråleveiene slik at bølgelengden kan forandres, dvs. en kan få $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ved prøven. Først settes λ_2 slik at den motsvarer første eksitasjonsenergi for frie Na-atomer ($\lambda_2 = 5890$ Å, den gule Na-linjen). Dette eksiterer de frie Na-atomene som er dannet. Disse emitterer så lys med samme bølgelengde (fluorescens), og intensiteten svarer til mengden av frie Na-atomer. Intensiteten av Na-fluorescensen er vist i øvre kurve i figur 2, og viser klart at mengden av Na-atomer øker trinnvis med tidsintervall på ca. 10^{-12} s, som ventet (på tidsaksen svarer nullpunktet til første tidspunkt molekylavstanden når krysningspunktet etter at pumpepulsen har virket).

Eksperimentet kan så gjentas; men nå økes prøvebølgelengden λ_2 litt slik at frie Na-atomer ikke eksiteres, men derimot NaI-molekyler som følger



Figur 2. Fluorescenssignalene fra frie Na-atomer for to ulike prøvebølgelengder (se teksten).[3]

øvre kurve, og som har en bindingsavstand nær krysnings- og vendepunktet (vertikal stiplet linje ved krysningspunktet på figur 1). NaI-molekylene eksiteres til en høyere repulsiv kurve hvor de raskt dissosierer til frie Na-atomer i første eksiterte tilstand, og I-atomer i grunntilstanden. Resultatet blir dermed også nå fluorescens fra frie Na-atomer, men denne gangen som korte pulser med periode ca. $1,3 \cdot 10^{-12}$ s, motsvarende perioden for molekylsvingningen (se nedre kurve i figur 2). Ved også å velge andre prøvebølgelengder kan større deler av dissosiasjonprosessen kartlegges. Forklaringene som er gitt her på kurvene i figur 2 er noe forenklet. Derfor er det også viktig å sammenligne observasjonene med nøyaktige teoretiske beregninger. På denne måten kan ny innsikt vinnes i fundamentale kvantemekaniske fenomener.[2]

Eksperimentene til Zewail og medarbeidere ble utført på slutten av 1980-årene, og vakte betydelig oppmerksomhet.[3–6] Den store betydningen av denne forskningen for kjemien ligger i muligheten for mer generelt å kunne klarlegge dynamikken i kjemiske reaksjoner på en tidsskala ned mot femtosekund. Ved fragmentering av større molekyler er det av spesiell interesse å finne ut hvilke bånd som brytes først, dvs. hvilke overgangstilstander som gjennomløpes. Dette er blitt en ny disiplin innen kjemien, såkalt femtokjemi.

Referanser

1. J. Bernholc: *Computational materials science: The era of applied quantum mechanics.* Physics Today, September 1999, 30–35.
2. T.S. Rose, M.J. Rosker and A.H. Zewail: *Femtosecond real-time probing of reactions, IV. The reactions of alkali halides.* J. Chem. Phys. **91**, 7415–36 (1989)
3. J. Baggott: *Molecules caught in the act.* New Scientist, 17. June 1989, 58–62.
4. M. Gruebele and A.H. Zewail: *Ultrafast reaction dynamics.* Physics Today, May 1990, 24–33.
5. A.H. Zewail: *The birth of molecules.* Scientific American, December 1990, 40–46.
6. B. Garraway, S. Stenholm and K.A. Suominen: *Adventures in wave packet land.* Physics World, April 1993, 46–51.

Leif Veseth

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Fysikk i Skolen

Symposium om energiundervisning

Fornybare energikilder vil få økende aktualitet i framtiden. Vi er vitne til at det forskes på hvordan vi best kan utnytte solenergien, og at mange av energileverandørene investerer i forskning og utvikling av ny teknologi i denne sammenhengen. Det bør være opplagt at undervisning om alternative energikilder i skolen og på høgskole- og universitetsnivå, vil være en viktig del av denne utviklingen. Det allmenne kunnskapsnivået hos folk flest om energi og energikilder bør være godt. Vi finner temaet i læreplanene i grunnskolen og i videregående skoler. Spesielt i naturfagplanene for 10. klasse i grunnskolen og 1. klasse i videregående skole, finner vi formuleringer om energi og alternative energikilder. Energi knyttet til samfunn, industri og teknologi blir ofte brukt som emneområde i tema- og prosjektarbeid fordi emnet egner seg godt for tverrfaglighet i skolen. Tema- og prosjektarbeid er obligatoriske arbeidsmåter ifølge læreplanene.

Det er i denne sammenhengen vi med interesse og forventninger ønsker et stort internasjonalt symposium om energiundervisning velkommen til Norge. Her er det muligheter for inspirasjon for lærere og forskere, elever og allmennheten generelt. Her er det muligheter til å skape interesse for naturvitenskap og teknologi.

I perioden 15. til 18. juni 2000 arrangeres det sjuende internasjonale symposium om undervisning om fornybare energikilder (ISREE 2000: *International Symposium on Renewable Energy Education*) ved Universitetet i Oslo. Symposiet vil bestå av tre hoveddeler:

- Konferansen Sunny Education med inviterte foredragsholdere og muligheter for å presentere papers
- Elev/studentkonkurransen Our Wonderful Sun
- Utstillingen SunDay 2000

Målet med symposiet er å samle forskere og utdannere fra hele verden for å sette undervisning om nye fornybare energikilder på dagsorden ved starten på et nytt århundre og årtusen. Symposiet vil blant annet ta opp temaer om hvordan undervisning om fornybare energikilder bør vinkles, prosjektarbeid innenfor temaet, informasjonsteknologiens rolle for å støtte undervisning om fornybare energikilder, sola i religion og mytologi og undervisning om fornybare energikilder for arkitekter.

Til konkurransen Our Wonderful Sun inviteres elever og studenter fra mange land til å gjennomføre undervisningsopplegg om sola, hvordan vi kan utnytte solenergi og alternative energikilder. Det kan være klasser eller grupper av elever som gjennomfører prosjekter. Håpet er at denne konkurransen skal gi elever, studenter og folk flest positive og konkrete opplevelser, vekke undring og spre kunnskap om de nye fornybare energikildene. Deltakerne i konkurransen vil bli invitert til å presentere arbeidene sine under ISREE 2000 og på SunDay 2000. Det er utviklet materiell som kan understøtte arbeidet til elevene: "Solboka", "Sola så klart", "Nye fornybare energikilder" og "Vitenskapelig arbeidsmetode i grunnskolen".

SunDay 2000 blir arrangert søndag 19. juni. Her vil publikum kunne gjøre seg kjent med hvordan vi utnytter alternative energikilder.

Dette symposiet med de tre hoveddelene vil være med på å spre kunnskap om naturvitenskap og teknologi blant elever og vanlig publikum. For oss som er opptatt av rekruttering til naturvitenskap og teknologi, og spesielt fysikkfaget, er slike arrangementer viktige, og de bør få all vår støtte. De som er interessert i mer informasjon om dette symposiet, kan bruke Internettadressen: *http://www.dalen.vgs.no/isree2000/*

Anders Isnes

∞

STUDÉR FYSIKK!

Bokomtaler

Konrad Rudnicki: The Cosmologist's Second. The Riddle of Time in Theories of the Universe. Lindisfarne Press, 1991, ISBN 0-940262-41-X, (94 sider) $ 12,95.

The Cosmological Principles, Jagiellonian University, 1995, ISBN 83-233-0898-5, (136 sider).

Kosmologi for Gud og hvermann

På flyet til Mexico i april 1999, gjorde jeg et hyggelig polsk bekjentskap. Det vil si at jeg leste to små bøker av den polske astronomiprofessoren Konrad Rudnicki fra universitetet i Krakow. Den ene boka har tittelen "The Cosmologist's Second" og den andre heter "The Cosmological Principles". Den siste boka er en systematisk og detaljert utvidelse av den første. Men den første boka har et brukbart kapittel om fysikalsk kosmologi som ikke finnes i den siste. Begge bøkene kan leses uavhengig, og det er enkel og hyggelig lesning. De krever ingen bakgrunn verken i matematikk, fysikk eller astronomi. Det er rett og slett lesestoff for ethvert kulturmenneske.

Konrad Rudnicki mener at vi har en stygg tendens til å undervurdere den teknologi tidligere kulturer hadde utviklet. En kan bare tenke på dagens ville spekulasjoner om at menneskene i det gamle Egypt skulle fått hjelp av utenomjordiske vesener fra UFO-er for å bygge pyramidene. Utlegningen representerer i grunnen en grov fornærmelse for teknikerne i Nilens land. Men det er ganske sikkert at de eldste kulturmennesker tenkte ganske fremmede tanker for oss. Nye oppdagelser og ny teknologi gir nye sosiale forhold og dermed ny bevissthet. Likevel er det bevisstheten som gjør oppdagelsene og finner på teknikken, så en kan saktens ta opp ufruktbar høne/egg-problematikk.

Den polske professoren forteller at den gamle indiske kulturen helt fra 9000 år før Kristus muligens er den eldste vi har kunnskap om. For disse folkene fantes det noe åndelig som egentlig var det reelle, og det strevde de for å få kontakt med. Men kontakten ville komme som åpenbaring og ikke ved logisk tenkning. Derfor var disse mytene ikke gjenstand for tvil og diskusjon, men ble overført i versets form. Her minnes en jo det selvlærte indiske matematikkgeniet Ramanujan. Han benyttet heller ikke vestens metoder med solide og trygge bevis for å finne fram til sine merkelige formler. Inderne mente at verdensinnholdet måtte gripes med følelser, ikke med sanser, erfaring og logikk. Det meget spesielle for den indiske kosmologi var mangfoldet. Guddommen var egentlig ett med universet og kunne anta en uendelighet av former og uttrykk. Dermed ble også forskjellene og mulighetene uendelige.

Omtrent 600 år før Kristus oppdaget de gamle grekere logikken. De fattet at det var mulig å oppnå ny kunnskap ved tankens rene kraft. Men dessverre hadde ikke alle samme tankekraft, og i middelalderen ble tankens mestere opphøyet til ufeilbarlige autoriteter. Da kom tiden for misbruk av tanken, for sannheten var nå å finne i nedstøvede bøker. Henvisning til kirkefedrene tellet ganske mye mer enn egen farlig tenkning og uhildet observasjon. Vår egen tid har jo også sin marxismekarrikatur der såkalte kommunisters samfunnsanalyse består i å finne fram til passende sitater av Lenin, Stalin og Mao. En vitenskapelig analyse blir ikke sannere fordi en profet har åpenbart noe, men fordi historie og erfaring viser at analysen bekreftes av virkeligheten.

Middelalderens verden besto nå av to geometrisk adskilte deler: Den materielle jorden med arme syndere og djevelen i sentrum, og himmelen bortenfor stjernene der den åndelige guddom hadde tilhold. Doktrinen til Kopernikus om at himmelen burde ta seg likt ut fra alle planeter, ble av kirken ganske riktig oppfattet som en trussel. De burde fattet at deres primitive verdensbilde var sørgelig feilaktig og funnet fram til mer vettuge og dypere åndelige sannheter å tufte religionen sin på. De valgte som kjent rå maktbruk og kjempet med uærlige midler for en tapt sak. Prestisjetapet skal føles for alle tider.

Bruno døde på bålet for sin tro på at stjernene er fjerne soler med egne planetsystemer. Men hans tanker er nært beslektet med det en i dag legger i det kosmologiske prinsipp: I enhver retning ser universet i stor skala likt ut fra alle punkter. Einstein tok dette som en selvfølge, og ifølge Rudnicki trodde han faktisk at det fulgte av feltlikningene i den generelle relativitetsteori og ikke var en egen antagelse. Senere kosmologisk forskning har vist at dette slett ikke er tilfelle. Det er konstruert mange kosmologiske modeller hvor dette prinsippet ikke er oppfyllt, selv om det er ganske så estetisk og filosofisk tiltrekkende.

Men det er ikke riktig som Rudnicki sier i sin andre bok på side 51, at Einstein innførte sin såkalte kosmologiske konstant for å stabilisere en statisk universmodell. Dette kosmologiske leddet

ble innført for å motvirke den tiltrekkende gravitasjonen og dermed oppnå en modell i statisk likevekt. Denne Einstein-modellen med kosmologisk ledd er faktisk ustabil, så det er umulig å oppnå en realistisk, statisk modell for Einsteins gravitasjonsteori.

Hubbles observasjoner viste da også en rødforskyvning av lyset fra de fjerne galakser. Dette tolkes nå slik at disse galaksene fjerner seg fra oss, ikke fordi de beveger seg gjennom rommet, men det er selve rommet som utvider seg og tar galaksene med seg. Rødforskyvningen skyldes at rommet ekspanderer, og lyset får da større bølgelengde og mindre energi og blir rødere. Dette er egentlig ikke det samme fenomenet som kalles en Dopplereffekt slik Rudnicki hevder. Der skyldes rødforskyvningen at lyskilder beveger seg gjennom rommet og vekk fra observatøren.

Selvsagt forventer en ikke at det kosmologiske prinsipp vil være oppfyllt i detalj. Å konstruere teori er ensbetydende med å forenkle og idealisere. Da fjerner en seg nødvendingvis fra virkeligheten. Men uten forenkling og idealisering blir verden ufattelig med sitt enorme mangfold. En minnes den russiske fysikeren som ikke behersket sitt fag, men som behersket enhver diskusjon ved å benytte to fraser alene: "Det er ingen grunn til å forenkle", eller "det er ingen grunn til å gjøre tingene kompliserte."

Rudnicki diskuterer også det såkalte antropiske prinsipp både i sterk og svak form. I sterk form kan det formuleres: "Vår egen eksistens begrenser egenskapene til universet." Det svake prinsippet lyder: "Vår eksistens medfører begrensninger for vår lokalisering i universet." Det rår ingen enighet om hvilken betydning disse prinsippene skal ha for kosmologien. Noen vil faktisk ha det til at naturkonstantene må ha meget spesielle verdier for at intelligente vesener skal kunne eksistere. Da kommer en farlig nær konklusjonen om at universet er til for menneskenes skyld, og at mennesket virkelig er verdens mål.

Henning Knutsen

∞

Constance Reid: Courant, Springer Verlag, 1996 (318 sider), ISBN 0-387-94670-5

Richard Courant – matematiker og byggmester

Tyskland representerer kontrastens merkverdighet. En gang var dette virkelig "Das Land der Dichter und Denker". Kunst og vitenskap blomstret. Men i dette landet fikk den verste berme makten, og redselgjerningene til uslingene satte en hel verden i ytterste fare. Disse hendelsene fikk avgjørende betydning for livet til den rastløse matematikeren Richard Courant. Han var nemlig jøde og ble født 8. januar 1888 i Lublinitz som den gang var en tysk småby. Men da Richard var 9 år, flyttet familien til Breslau. Den byen er nå polsk og er kjent som Wroclaw. Her vokste Richard Courant opp.

Det usedvanlige livet til Richard Courant er nå skildret i detalj av Constance Reid i boka "Courant". Den er ganske fri for matematisk tekst, selv om matematikken var den viktigste interessen til Courant. Boka gir en intens skildring av de miljøer Courant vanket i og som han også i stor grad formet. Det er rett og slett betagende å lese denne beskrivelsen av en svunnen tid.

Richard Courant viste tidlig usedvanlige matematiske evner, og snart befant denne ungdommen seg i Göttingen for å studere i miljøet hos den mektige Hilbert, som uten tvil var den mest betydningsfulle matematiker i Tyskland. Her skrev Courant sin doktoravhandling "Om anvendelsen av Dirichlets prinsipp på problemer av konformale avbildninger". Doktoravhandlingen ble fulgt av "Habilitation"-arbeidet med tittel "Om metoden for Dirichlets prinsipp". Han oppnådde dermed rett til å virke som privatdosent og kreve betaling av de studenter som ville følge forelesningene. Den avgjørende prøveforelesningen hadde tittel "Om eksistensbevis i matematikken".

Courant hadde i denne tiden forlovet seg med Nelly Neumann som faktisk i gymnastiden hadde tatt privattimer hos den to år yngre Richard Courant. Hun hadde også oppnådd sin doktorgrad i matematikk. De giftet seg i 1912. Men ekteskapet ble ikke lykkelig og ble oppløst i 1916.

Courant var en aktiv, patriotisk soldat under første verdenskrig. Han fikk oppleve skyttergravenes mareritt med dødsangst og hauger av råtnende lik. Her fikk han en viktig teknisk idé. Jordens ledningsevne for elektromagnetiske signaler måtte kunne utnyttes for kommunikasjon. Da kunne soldatene utveksle informasjon uten å måtte

forlate dekningen og utsette seg for dødelig artilleriild. Ideen om jordtelegrafi ble utnyttet, men Courant fikk langt fra den ære han hadde fortjent.

Under krigen møtte Courant også Ferdinand Springer, og det møtet gav støtet til den gule serie med matematiske bøker der emnene var særlig aktuelle for fysikere. I 1919 publiserte Courant et viktig arbeid om teorien for egenverdier til partielle differensiallikninger. Frontsoldaten var igjen blitt matematiker. Dette arbeidet ble fulgt opp med en hel serie med arbeider om egenfuksjoner. I denne tiden skrev han også første bind av Courant–Hilbert "Metoder for matematisk fysikk", som alle teoretiske fysikere kjenner. Det var Courants verk, for Hilbert viste interesse, men slet med helseproblemer. Betydningen av dette verket ble først klar for fysikerne med kvantemekanikkens revolusjon. Redskapene de trengte befant seg i boka til Courant og Hilbert.

Courant var nå igjen en gift mann. Den utvalgte var Nina Runge som faktisk hadde fridd til han med brevpost under krigen. Nå kom også den verste inflasjonstiden. Til sist var dollaren verdt 4 200 000 000 000 mark! Courant ble nå dessuten opptatt av administrative oppgaver i Göttingen, og han viste seg å være en glimrende dyktig administrator. Han fikk i stand regneøvelser der eldre, erfarne studenter gjennomgikk løsninger på matematikkoppgaver for de ferske nybegynnerne. Dette representerte noe helt nytt, for den tidlligere undervisningen hadde kun bestått av forelesninger der professoren talte og studentene lyttet. Han greidde å skaffe pengemidler til utenlandske studenter og forskere. Hit kom Birkhoff og Wiener, von Neumann og MacLane. Her var fysikere som James Franck og Max Born. Herman Weyl overtok som direktør etter Felix Klein. Kvinnerepresentasjonen bestod av Emmy Noether. Nye bygninger ble reist, og det var enighet om at Courant var den som virkelig skapte Matematisk institutt i Göttingen.

Men byggverket falt sammen da "den brune pesten" overtok makten i Tyskland i 1933. Alle vitenskapsfolk av jødisk avstamning ble kastet ut, og de var mange og framtredende. Courant kom seg til USA og ble ansatt ved New York universitetet med dårlig lønn. Men han lærte seg skikkelig engelsk og ga gode forelesninger. Snart hadde han bygget seg opp til en ledende person i sitt nye land. Han gjorde en stor innsats for å redde så mange som mulig av vitenskapsfolkene vekk fra nazistaten.

Courant ivret for at det måtte bli opprettet et solid senter for avansert anvendt matematikk til viktig krigsinnsats. Da krigen med Tyskland var et faktum, var Courant–Hilbert-boka vesentlig kunnskap for de fysikerne som arbeidet for forsvaret. De kjøpte 7000 kopier selv om boka var på tysk. I Tyskland ble opplaget begrenset til 500 kopier, enda om Luftwaffe tryglet. Boka var jo skrevet av en jøde!

Etter krigen besøkte Courant Tyskland flere ganger. Første gang kunne han berette om sørgelig lav moralsk standard hos den tyske ungdommen. Propagandaen hadde hatt sin virkning. Nazistenes feil var bare at de tapte krigen.

Men i USA triumferte snart Courant. Etter iherdig arbeid og lobbyvirksomhet fra hans side ble UNIVAC-regnemaskinen til Atomenergikommisjonen plassert ved Universitetet i New York. Med dette var snart Institutt for matematiske vitenskaper ved dette universitetet snart å regne som den nasjonale hovedstad for anvendt matematisk analyse.

Den rastløst virkende Courant var visstnok ganske så deprimert da han måtte vike for aldersgrensen i 1958 og fratre som direktør. Han døde av slag 27. januar 1972, 84 år gammel. Naziterroren tvang ham til å forlate hans kjære Göttingen. Men han brakte Göttingen-ånden til den nye verden.

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

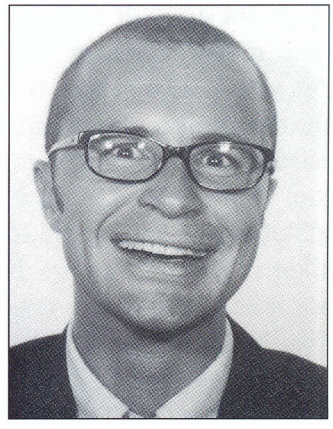
Turi Danielsen

Turi Danielsen forsvarte 25. juni 1999 sin avhandling *The significance of proteins induced by transient hypoxia for cellular radiation sensitivity and angiogenesis of human melanomas*, for graden dr.philos. ved Universitetet i Oslo. Arbeidet ble utført ved Det Norske Radiumhospital, avdeling for biofysikk, med støtte fra Den Norske Kreftforening.

I mange kreftsvulster er det områder med lite oksygen. Kreftcellene som befinner seg i disse områdene kan være viktige både for strålebehandling og for kreftsvulstens utvikling, da det lave oksygennivået fører til mange endringer i cellene. Turi Danielsen har i sin avhandling vist at blodåredannelsen i svulsten og evnen til spredning kan øke dersom kreftcellene blir utsatt for lite oksygen. Hovedårsaken til at det dannes flere blodårer og flere nye svulster (metastaser) andre steder i kroppen, er påvist å være dannelsen av større mengder av ett spesielt protein i kreftcellene som blir utsatt for lite oksygen. Dette proteinet, som kalles VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor), virker på blodårecellene i kreftsvulsten, slik at de deler seg. Blodårene i svulsten blir også lettere gjennomtrengelige, f.eks. for kreftceller som slippes ut i blodbanen og fraktes videre til steder i kroppen der de kan danne nye svulster. Siden blodåredannelse er nødvendig for at kreftsvulsten kan vokse, og spredning er av stor betydning for pasientens prognose, betyr dette at det kan være viktig å kjenne til oksygennivået i svulsten for å kunne si noe om kreftsvulstens videre utvikling.

∞

Torkild Eriksen



Cand.scient. Torkild Eriksen forsvarte 3. november 1999, sin avhandling *A rocket-borne Rayleigh lidar experiment for in situ measurements of neutral number density in the middle atmosphere* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Eriksen har utviklet et instrument som anvender laser til presisjonsmålinger av atmosfærens tetthet fra raketter ved å måle spredning av laserlys fra atomer og molekyler langs rakettbanen. Formålet er å studere dynamiske prosesser, som bølger og turbulens, i høydeområdet 50–90 km, og den innvirkning slike prosesser har på atmosfærens struktur, transport av gasser og overføring av energi. Instrumentet ble skutt opp fra Andøya Rakettskytefelt i oktober 1997 og januar 1998, som det første i sitt slag.

Instrumentet har vist at lidarmålinger fra raketter gir en atmosfæretetthetsprofil med en langt bedre oppløsning enn en kan oppnå fra bakken og fra satellitter. Den målte tetthetsprofilen fra oktober 1997, viser en usedvanlig veksling mellom stabile og metastabile lag, og oppløsningen muliggjør også studier av turbulens. Sammenlikning av tettheten og innholdet av positive ioner i atmosfæren, viser en økt ionetetthet i de stabile områdene. Dette har tidligere ikke vært observert i 50–70 km høyde.

Arbeidet er utført ved FFI under veiledning av professor Eivind V. Thrane, FFI/UiO, forsker Bjørn T. Narheim, FFI, og førsteamanuensis Torfinn Lindem, UiO. Prosjektet har vært finansiert av FFI og Norges forskningsråd. Torkild Eriksen er nå ansatt som forsker ved FFI.

∞

Ellen Karoline Henriksen

Ellen K. Henriksen forsvarte 22. juni 1999 sin avhandling *Museums and scientific literacy: The case of an exhibition on radiation and the environment*, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Arbeidet faller inn under fagområdet naturfagdidaktikk, og hovedspørsmålet som stilles er: Kan museer bidra til å øke befolkningens forståelse av naturvitenskapens begreper og metoder og dens rolle i samfunnet? Dette spørsmålet belyses gjennom studier av utviklingen av en museumsutstilling om stråling og miljø, publikums bruk og læringsutbytte av utstillingen, og publikums holdninger til museer som informasjonskilder.

Det ble funnet at 16-årige elever som besøkte utstillingen "Vår strålende verden" bedret sin naturvitenskapelige forståelse av stråling og miljø, men at de i liten grad var i stand til å anvende denne forståelsen i vurderinger av miljøspørsmål og miljøpolitikk. Voksne museumsbesøkende så heller ikke på museer som steder å oppsøke for å få kunnskap til å vurdere problemstillinger i "den virkelige verden". Avhandlingen konkluderer med at museer har et potensiale for å øke folks vitenskapelige alfabetisme siden besøkende lærer vitenskapelige begreper og prinsipper der. For å utnytte dette potensialet til fulle, må museer ikke framstå som gammeldagse og nedstøvede institusjoner med liten relevans til dagliglivet, men som fleksible institusjoner der de besøkende kan utnytte museets samlinger og ekspertise til å oppfylle sine egne mål om kunnskap og forståelse.

Arbeidet ble utført ved Fysisk institutt, UiO, i samarbeid med Norsk Teknisk Museum og Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling (ILS). Veiledere var professor Thormod Henriksen (Fysisk institutt) og førsteamanuensis Doris Jorde (ILS). Ellen K. Henriksen er nå ansatt som førstelektor ved Skolelaboratoriet på Fysisk institutt, UiO.

∞

Anh Kiet Nguyen

Sivilingeniør Anh Kiet Nguyen har forsvart sin avhandling *Phase transitions in extreme type II superconductors: Topological defects and dual description of the vortex system* for graden dr.ing. ved NTNU, med professor Asle Sudbø som hovedveileder.

Nguyen har gjort et teoretisk studium av magnetiske og elektriske egenskaper til høytemperatur superledere ved hjelp av datasimulering på vektorielle og parallelle superdatamaskiner. Disse egenskapene er viktige med tanke på industrielle anvendelser av slike superledere, som i motsetning til vanlige strømledninger kan lede strøm uten tap ved temperaturer lavere enn -220 °C. Arbeidet har bidratt betydelig til å øke forståelsen av magnetfelt / temperatur-fasediagrammet for høytemperatur superledere uten urenheter. Resultatene vil være viktige for prosjekter som fokuserer på industrielle anvendelser av høytemperatur superledere.

Doktorarbeidet er beskrevet i en serie på ni vitenskapelige artikler i prestisjetunge tidsskrifter som Physical Review. Det er også blitt presentert i en rekke anerkjente utenlandske forskningsinstitusjoner og på internasjonale konferanser. For arbeidet fikk Nguyen, sammen med sin veileder Asle Sudbø, SINTEFs pris for fremragende forskning i 1998.

Arbeidet er finanssiert av Norges forskningsråd og Institutt for fysikk, NTNU. Anh Kiet Nguyen ble utdannet sivilingeniør i fysikk ved NTNU i 1994.

∞

Knut Eilif Aasmundtveit

Sivilingeniør Knut Eilif Aasmundtveit forsvarte 22. oktober 1999 sin avhandling *Structure of various substituted polythiophenes, studied in bulk and as thin films*, for graden dr.ing. ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Substituerte polytiofener er organiske halvledere med en lang rekke potensielle bruksområder som lysdioder, flate og myke TV- og dataskjermer, solceller, "smarte vinduer", "kunstige muskler", antistatiske belegg og gjennomsiktige elektroder. De kan lages med forskjellige slags sidegrupper ("substituering") som kan gi en lang rekke egenskaper, f.eks. forskjellige farger. For å forstå disse egenskapene, er kunnskap om materialets struktur avgjørende.

Hovedteknikken som er brukt i doktorgradsarbeidet er røntgendiffraksjon som gir informasjon om krystallinsk struktur og innretning, dvs. hvordan polymerkjedene ordnes i materialet. Også røntgenabsorpsjonsspektroskopi er brukt.

Doktorgradsarbeidet vil gi en bedre forståelse av sammenhengen mellom struktur og egenskaper i polytiofener. Dette kan gi mulighet for å lage nye materialer med forbedrede egenskaper. Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, men en viktig del av det eksperimentelle er utført med synkrotronrøntgen ved ESRF i Grenoble, Frankrike, og ved HASYLAB i Hamburg. Professor Emil J. Samuelsen har vært hovedveileder.

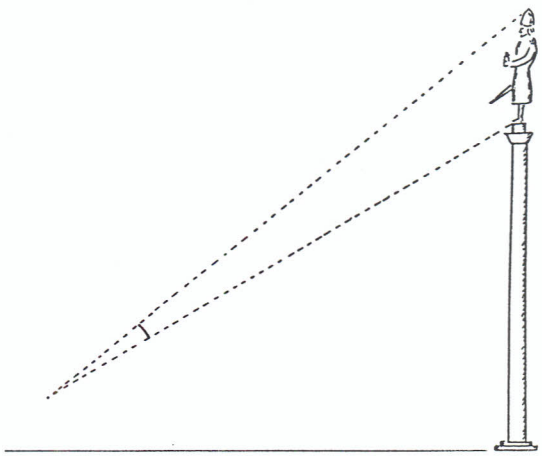
Knut Eilif Aasmundtveit ble utdannet sivilingeniør ved Fakultet for matematikk og fysikk, NTH, i 1994. Han er nå ansatt som utviklingsingeniør ved SensoNor i Horten.

∞

Trim i FFV

FFVT 4/99

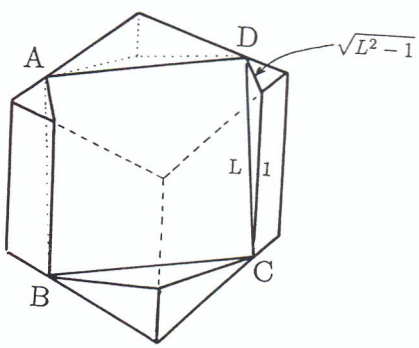
Hvordan bestemmes den beste avstand for å se på Olav Tryggvason-statuen som står på toppen av søylen i Trondheim sentrum? (Med den beste avstand menes at synsvinkelen som vikingen dekker er størst, med gitt øyehøyde over bakken. Det er opplagt at både null og uendelig avstand gir null synsvinkel, så det må finnes en optimal avstand et-steds imellom.) Svaret kan finnes uten beregning ved en enkel konstruksjon.



Løsning FFVT 3/99

Spørsmålet var om en kunne lage et hull i en trekube slik at en annen kube med 15 % større volum kan passere. Svaret er tydeligvis ja siden problemet er gitt.

Det er naturligvis best at hullet har et kvadratisk tverrsnitt. La oss derfor finne det største kvadratet ABCD som har én side (BC) liggende på en sideflate av kuben, og den motstående kvadratside (AD) liggende på motstående sideflate.



La kuben ha sidekant 1. Vi ser av figuren at differansen mellom diagonalen i en kubesideflate, lik $\sqrt{2}$, og kvadratets sidekant L er gitt ved

$$\sqrt{2} - L = \sqrt{L^2 - 1}.$$

Dette bestemmer L. Kvadrering gir

$$2 - 2\sqrt{2}\,L + L^2 = L^2 - 1,$$

dvs

$$L = \tfrac{3}{4}\sqrt{2}.$$

Gjennom et hull med et slikt kvadratisk tverrsnitt kan vi få igjennom en kube med volum

$$L^3 = \sqrt{\frac{729}{512}} = 1,19..,$$

19 % større enn volumet av den opprinnelige kuben. For at trekuben ikke skal falle fra hverandre i fire enkeltbiter, må vi lage hullet litt mindre. Men siden vi bare er bedt om å få igjennom en kube med 15 % større volum, er dette mulig.

∞

Hva skjer

Fysikarmøtet 2000

Fysikarmøtet i Tromsø 16. og 17. juni 2000. Neste år skal Institutt for fysikk ved Universitetet i Tromsø, arrangera fysikarmøtet. Konferansen blir på det nye Polarmiljøsenteret, som m.a. husar Norsk Polarinstitutt. Fasilitetane er topp moderne og ligg i sentrum av byen. Sjølve konferansen er planlagt over to dagar, fredag og laurdag 16. og 17. juni. Søndag 18. blir det truleg ulike sosiale arrangement. Med midnattsol og eit godt fagleg og sosialt program, håpar vi at flest mogleg vil ta turen til Tromsø. Meir informasjon om programmet kjem i neste nr. av FFV. Vi ønskjer velkomne alle som er interesserte i fysikk, både akademikarar, lærarar, studentar, forskarar, næringslivsfolk og andre.

På vegner av arrangementskomiteen
Olav Gaute Hellesø
e-post: ogh@phys.uit.no

∞

Nytt fra NFS

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk

Norsk Hydro ASA vil i år 2000 gi 25 000 kr til en fagpris som skal utdeles av Norsk Fysisk Selskap. Prisen gis for fremragende norsk forskning innen fagområdet fysikk. Det vil bli lagt hovedvekt på at arbeidet skal være av høy faglig kvalitet. Prisen bør normalt ikke deles på mer enn to personer.

Mer informasjon er tilgjengelig via Internett: *http://www.fys.uio.no/nfs/*

Begrunnede forslag på kvalifiserte kandidater til prisen kan sendes til Norsk Fysisk Selskaps sekretariat innen 31. mars 2000. Adresse: Norsk Fysisk Selskap, Postboks 1048 Blindern, 0316 Oslo.

∞

Nye medlemmer 22. oktober 1999:

Hans Flornes
Høgskolen i Bergen, Pb. 7030, 5020 Bergen

Tom Rune Kolsrud
Kong Oscarsgt. 70, 5007 Bergen

Knut Lie
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Dag Werner Breiby
Jonsvannsv. 99A, 7050 Trondheim

Geir Pedersen
Jonas Reinsgt. 15, 5008 Bergen

Ellen Røhne
Post- og teletilsynet, Pb. 447 Sentrum, 0104 Oslo

Sigbjørn Hervik
Østensensvei 2a, 1619 Fredrikstad

∞

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.