Fra Fysikkens Verden

Nr. 1 – 2005
67. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Bjørn Gjevik og Geir K. Pedersen:
Flodbølger fra skred og jordskjelv 4
Øyvind Guldahl:
Overflatebølger og interferens 11
Per Osland:
ILC - International Linear Collider 13
Ingolf Kanestrøm:
Naturkonstanter og livsbetingelser 19
Gunnar Løvhøiden:
Abel og partikkelfysikken 23
Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer 2
Torger W. Holtsmark
Fysikknytt 3
Forside i «Nature»
Indeks 2004 15
Nye Doktorer 27
Dr.scient. Signe Danielsen
Dr.ing. Jesper Friis
Dr.scient. Nils Erland L. Haugen
Dr.scient. Harald Krüger
Dr.ing. Gjertrud Maurstad
Dr.ing. Stine Nalum Næss
Trim i FFV 30
Nytt fra NFS 30
Fysikarmøtet 2005
Priser til utdeling
Fysikkåret 2005
Nye medlemmer

Jordskjelvet 26.12.04 skapte gigantiske flodbølger
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Vi er nå godt inne i Verdens fysikkår, og morgenfriske radiolyttere har sikkert fått med seg en rekke utmerkede fysikkforedrag i kulturkanalens P2-Akademi. Dette er ett av de mange innslag som i år forsøker å vekke allmennhetens interesse for fysikk. Å få medieverdenen til å sette søkelyset på fysikken og dens (vid)undelige verden er ingen triviell oppgave i konkurranse med Ski–VM, håndball og rally, for å nevne noe. Men vi registrerer likevel en økt (medie)frekvens av interessante foredrag, artikler, kommentarer og fysikknøtter. Forhåpentligvis vil dette inspirere mange ungdommer som egentlig synes at fysikk både er morsomt og spennende, men har manglet et incitament til å stå fram og bekjenne sin svakhet. Det kan jo være en tankevekker at det var som 16–åring Einstein begynte å lure på hvordan lyset ville arte seg hvis han løp med lysets hastighet, og så – 10 år senere – fant svaret og revolusjonerte vår oppfatning av tid og rom.

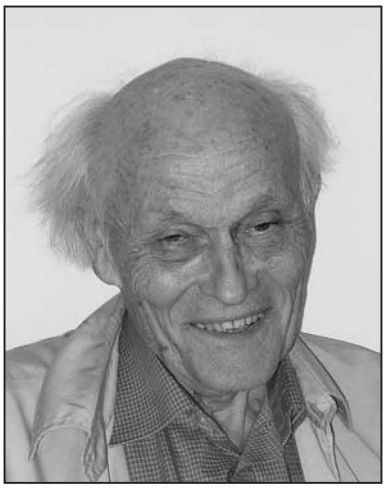
Fysikkåret, eller Einstein–året som det ofte kalles, ble lagt til 2005, bla. for å markere at det er 100 år siden Einsteins "*annum mirabilis*". Etter vår egen opptelling, sendte han i løpet av ni måneder i 1905 inn seks arbeider for publisering; arbeider som i tur og orden behandlet den fotoelektriske effekt, brownske bevegelser og det som nå er kjent som Den spesielle relativitetsteori. Her ble fysikkens lover reformulert og vår beskrivelse av naturen – av atomer, av tid og rom, og av lys og materie – endret for alltid. Men, ifølge ham selv, var det først to år senere han fikk sin beste idé, en idé det tok 8 år å utvikle til Den generelle relativitetsteori. Og med bekreftelsen på dens forutsigelse av lysets avbyning i solas gravitasjonsfelt i 1919, var det at "ikoniseringen" virkelig tok av, selv om han fortsatt måtte vente på nobelprisen i enda noen år. Medievitere må stille seg spørsmålet om hvordan han kunne oppnå sin ikonstatus; det var jo før TV-alderen, og han hadde jo ikke engang en "webside"!

Man kan lure på i hvilket forskningsmessige satsingsområde Einstein ville ha passet inn. Hvilket forskningspolitisk organ ville – i 1905 – ha lansert som nasjonal oppgave et prosjekt med "*Hovedmål: Utvikle en ny kvantemekanisk naturbeskrivelse. Delmål: Konstruere en laser. Samfunnsmessig nytte: Lette kassadamers arbeidsdag*"?!

∞

FFV Gratulerer

Torger W. Holtsmark 80 år



Første juledag 2004 ble Torger Weisse Holtsmark 80 år. Torger Holtsmark underviste ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo fra 1957 frem til han gikk av som seniorstipendiat ved utgangen av 1994. Hans lærergjerning ved Universitetet i Oslo har satt betydelige spor. Han var tidlig opptatt av billeddannelse, både som optisk-geometrisk fenomen og som bevissthetsinnhold, lenge før dette ble selve inngangsporten til studiet av "kunstig intelligens". Ved siden av å inspirere mange studenter til selvstendig arbeid i fysikk, var han i de siste årene professor ved Institutt for farge ved Statens håndverks og kunstindustriskole, hvor han fremdeles bidrar som gjesteforeleser.

Torger har kombinert et fag som befatter seg med målbare størrelser og formale strukturer, med tanker rundt umiddelbar iakttakelse, kunstopplevelse og kulturforståelse. Denne konfrontasjonen mellom objektiv og subjektiv erfaring har gitt ramme og perspektiv til hans lærergjerning og har lokket frem en latent trang til dypere erkjennelse hos mang en student. Hans forelesninger og kåserier, ofte krydret med uventede paralleller fra vitenskapshistorien og originale demonstrasjoner fra optikk og fargelære, er viden kjent. Slik ble han tidlig en skattet foredragsholder også utenfor Norges grenser.

Et gjennomgangstema i Holtsmarks arbeider har vært vitenskap som kulturform, og han har skrevet

flere dyptpløyende artikler om naturvitenskapens historiske og kulturelle forutsetninger. Hans mangeårige innsats for "vitenskap og kultur" står i klar kontrast til det mer dagsaktuelle tema "forskning, teknologi og marked" som i vår tid synes å ville definere naturvitenskapelig erkjennelsestrang ut av kulturbegrepet og ut av våre universiteter. Holtsmarks interessefelt hører således hjemme i en bred mellomeuropeisk kulturtradisjon, og han har utført et verdifullt arbeid med å gjøre europeiske åndsstrømninger kjent her i landet.

Goethes fargelære er blant det arvegods som Holtsmarks har viet særlig stor oppmerksomhet. I siste halvdel av femtiårene førte denne interessen ham sammen med bl.a. André Bjerke, Arne Næss og Sven Oluf Sørensen, i det som må ha vært et av de selsomste seminarer ved Fysisk institutt, UiO, noensinne. Holtsmark fulgte opp disse møtene med å utvikle fysiologisk-optiske demonstrasjoner i fargelære, noe han har fortsatt med like til i dag. Gjennom flere tiår ble det på denne måten bygd opp et helt unikt demonstrasjons- og undervisningsmateriale, som har vært etterspurt ved skoler og universiteter i både inn- og utland. Da Torger Holtsmarks oversettelse og kommentarer til utdrag av Goethes "Zur Farbenlehre" ble utgitt (AdNotam, 1991), ble opplaget relativt raskt utsolgt, slik at en revidert utgave kunne utgis allerede tre år senere (AdNotam, 1994). Utvalget var ment som et "preludium" som skulle belyse verkets grunnleggende ideer og samtidig vekke lysten til egenerfaring og eksperimentering. Da den siste utgaven også er utgått, sysles det for tiden med tanker om en tredje utgivelse.

Siden tidlig på 90-tallet har Holtsmark, som konsulent for Store norske leksikon, bidratt med kommentarer til et hundretalls oppslagsord innen områdene lys, farge, billeddannelse og optikk. I samme periode har han også nedlagt et betydelig arbeid med å innhente og redigere brevene som matematikeren Felix Klein skrev til Sophus Lie. Deres til tider intense korrespondanse i perioden 1870–76, er et overmåte interessant kapittel i norsk og europeisk vitenskapshistorie (Sophus Lies bidrag til brevvekslingen hevdet Klein å ha brent!). En kommentert tysk-engelsk dobbeltutgave av brevsamlingen er planlagt utgitt på Springer forlag. At man under dette prosjektet (som er utført i samarbeid med Elin Strøm ved Historisk institutt, UiO, og Eldar Straume ved Matematisk institutt, NTNU) overhodet lyktes i å bringe brevene til veie, skyldes ikke minst Holtsmarks innsats. Gjennom tålmodig korrespondanse opparbeidet han etter hvert den nødvendige tillit hos familien Hölder, Sophus Lies etterslekt i Tyskland, som satt på brevene, og gleden var stor i det norske universitetsmiljøet den dagen han etter et besøk hos 90 år gamle Ragna Hölder kunne vende hjem med Kleinbrevene i kofferten. Mange matematikere og vitenskapshistorikere hadde tidligere mislykkes i dette.

Vi ønsker Torger lykke til med arbeidet videre!

På vegne av tidligere studenter og kolleger,
Arne Valberg og Jan Henrik Wold

∞

Fysikknytt

Frontsideoppslag i "Nature"

Den 4. oktober 2004 publiserte tidsskriftet "Nature" to artikler om hydrogen under ekstreme trykk, og den nye fysikken man forventer seg ved lave temperaturer og høye trykk i et aggregat av det enkleste av alle grunnstoff. Det spesielle med dette, sett med norske øyne, er at en av artiklene som danner grunnlaget for frontsideoppslaget, kommer fra en norsk forskningsinstitusjon: Institutt for fysikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Forfatterne er Egor Babaev og Asle Sudbø (NTNU), og Neil W. Ashcroft (Cornell University); (*A superconductor to superfluid phase transition in liquid metallic hydrogen,* Nature, **431**, 666, (2004)).

Frontsideillustrasjonen viser hvordan man kan tenke seg at hydrogen i væskeform ved meget lave temperaturer (100 milliKelvin eller lavere) transformerer når trykket øker fra én atmosfære til astronomiske 4 millioner atmosfærer. Verdensrekorden for trykk er i dag 3,2 millioner atmosfærer, så artiklene er rent teoretiske arbeider som vil måtte avvente eksperimentell verifikasjon. Det som skjer når trykket øker er at hydrogen i væskeform ved én atmosfæres trykk (en væske av H_2-molekyler) forandrer karakter når trykket øker. Først får man en væske av H-atomer (ved ca. 50 000 atmosfærer), men ved enda høyere trykk (4 millioner atmosfærer) får man, *selv ved de laveste temperaturer, en to-komponent metallisk væske* bestående av protoner

og elektroner. Disse to metalliske væskene, en proton-væske og en elektron-væske, kan i prinsippet hver for seg innta en superledende grunntilstand (proton-væsken er estimert til å bli superledende under 0,1 K, og elektron-væsken er estimert til å bli superledende under imponerende 160 K!). Nå er det slik at Cooper-par av elektroner ikke kan forvandles til Cooper-par av protoner, og vice versa, ettersom antallet leptoner og baryoner i universet er konservert. De to superledende kondensatene er derfor individuelt konserverte. Dette leder til ny fysikk som ikke ses i for eksempel en to-komponent elektronisk superleder som MgB_2, der man har superledning med opphav i elektroner på to ulike Fermiflater i metallet.

Det nye ved metallisk hydrogen i væskeform, er at man kan ha to separate faseoverganger i systemet. En faseovergang er metall-superleder faseovergang, en annen faseovergang er superleder-superfluid faseovergang. Dette skyldes at dissipasjonsløs ko-strømning av protoner og elektroner er en dissipasjonsløs ladningsnøytral massestrøm, nøyaktig som i superfluid Helium II, mens en dissipasjonsløs kontrastrømning av elektroner og protoner og elektroner, representerer en dissipasjonsløs ladet massestrøm nøyaktig som i en superleder. *Man får altså superfluiditet fra denne spesielle typen to-komponent superledning.* Dette representerer noe nytt i teorien for kvantevæsker, et paradigmeskifte. Slike paradigmeskifter er relativt sjelden kost i fysikk, og er utvilsomt en medvirkende årsak til at tidsskriftet "Nature" har valgt å gi artiklene en så prominent profilering. Det er et fascinerende aspekt at denne kvante-væsken, dannet av det enkleste av alle grunnstoff, viser ny fysikk som ikke opptrer i superledere og superfluider dannet fra langt mer kompliserte grunnstoff, for ikke å snakke om kompliserte kombinasjoner av grunnstoff. Lavtemperaturfasen i metallisk hydrogen i væskeform fremviser fenomener som for eksempel ikke finnes i de kjemisk sett svært mye mer kompliserte høytemperatur superlederne basert på kopper-oksid forbindelser.

Asle Sudbø, NTNU

∞

Flodbølger fra skred og jordskjelv

Bjørn Gjevik og Geir K. Pedersen *

Flodbølgekatastrofen i Asia har aktualisert dette temaet, og medienes interesse for saken har vært stor. Selv om det har vært rapportert og skrevet mye om hendelsen, har det vært forholdsvis lite å høre om de fysiske egenskapene til slike bølger. Faktisk er det i noen tilfeller blitt gjengitt feilaktige, eller misvisende opplysninger. For å varsle slike hendelser og redusere skadene ved praktiske forebyggende tiltak, kreves det en grundig forståelse av hvordan disse bølgene oppstår, sprer seg over lange distanser og slår til med ødeleggende kraft enkelte steder.

*Matematisk institutt, Universitetet i Oslo

Historikk

Historien viser at flodbølgekatastrofer har skjedd mange ganger tidligere, og med visshet kan en si at liknende hendelser vil gjenta seg. Utenfor kysten av Japan, Indonesia, Alaska, Mellom-Amerika og Chile, er det subduksjonssoner hvor forskjellige deler av Stillehavsplatene skyves under tilstøtende kontinentale plater. Dette er potensielle kildeområder for store jordskjelv og farlige flodbølger. Det har derfor vært mange ødeleggende hendelser langs kysten av Stillehavet. To meget store jordskjelv ved øygruppen Aleutene i Alaska, henholdsvis i 1946 og 1957, genererte store flodbølger som forårsaket omfattende skader både lokalt og langt unna på Hawaii. I 1960 var det

et stort jordskjelv utenfor kysten av Chile hvor flodbølgene gjorde store skader lokalt på kysten og desuten så langt unna som på Hawaii og i Japan. Japan er blitt hardt rammet mange ganger. I Sanriku-tsunamien i 1896, omkom etter sigende over 26 000 mennesker. Derfor har den japanske betegnelsen tsunami, som betyr "bølge i havn", kommet i bruk internasjonalt. Rundt Stillehavet har det vært mange andre lokale, men ødeleggende hendelser: Filippinene 1976, Nicaragua 1992, Flores 1992, og Papa-New Guina 1998, for å nevne noen. I alt er det omkommet mer enn 4000 mennesker som følge av tsunamier bare på 1990-tallet.

Kysten av Atlanterhavet har vært mindre utsatt, men under det kraftige Lisboa-jordskjelvet i 1755, slo store flodbølger innover kysten av Portugal. Mellom 40 000 og 70 000 omkom, mange av dem i flodbølgene. Det var også store skader etter bølgene langs kysten av Marokko. Dette skjelvet hadde senter på havbunnen utenfor Portugal hvor den afrikanske jordplaten presses mot den europeiske. Disse platen presses også sammen langs en sone som går fra øst til vest i Middelhavet, forbi de greske øyene. Denne sonen fortsetter vestover mot Sør Italia. Det har opp gjennom historien vært mange store jordskjelv langs denne sonen, med ødeleggende flodbølger langs kysten av Italia, Hellas og Tyrkia.

Store flodbølger kan også genereres av vulkaner som eksploderer slik som ved Krakatau-utbruddet i 1883, ikke langt vekk fra den aktuelle Sumatra-hendelsen, da 36 000 omkom i flodbølgene i Sundastredet. For øvrig var det forut for Krakatau-katastrofen flere alvorlige tsunamier fra jordskjelv ved Sumatra, i 1797, 1833 og 1861. Disse hadde senter lenger sydøst langs Sunda-gropen, enn skjelvet i 2004. Påstanden i mediene om at Det indiske hav ikke har vært hjemsøkt av tsunamier på mange hundre år, er derfor feil.

Mange har nå sagt at noe liknende aldri kan skje i Norge. Men faktisk har noen av de høyeste flodbølgene som noen gang er observert inntruffet i Norge. De fleste ulykkene har skjedd på Vestlandet og i Nord-Norge. En av de mest katastrofale og best dokumenterte hendelsene med flodbølger i Norge, er skredulykken i Tafjord på Sunnmøre 7. april 1934, hvor 40 mennesker mistet livet. Omkring 2–3 millioner kubikkmeter stein raste ut i fjorden fra en høyde av opptil 730 m. En kjempemessig bølge ble satt opp. På motsatt side av fjorden slo den opptil 30–40 meter over det vanlige havnivået. Bølgen forplantet seg både innover og utover fjorden, og ved gjentatte refleksjoner fra land ble det dannet flere bølgetopper på veien. På tettstedet Tafjord kom det tre store bølger med 3–5 minutters mellomrom. Den siste var den største, og den nådde opp til 10–15 meter over det vanlige havnivået og slo flere hundre meter innover land. Bolighusene som var bygd nede ved sjøen og sjøhusene i strandkanten, ble fullstendig ødelagte. Den eldre bebyggelsen som lå høyere oppe, ble berget. Liknende store ulykker skjedde i Loen i 1905 og i 1936, hvor i alt 134 mennesker omkom. Bilder fra ødeleggelsen etter flodbølgene i Loen og Tafjord, med knuste hus og båter slengt langt innpå land, minner mye om det som nylig skjedde i Det indiske hav.

Forskere har også sannsynliggjort at vestkysten av Norge ble rammet av store flodbølger etter det gigantiske Storegga-skredet på kontinentalsokkelen vest for Kristiansund, for ca. 8200 år siden.

Egenskaper ved havbølger

Med unntak av storskalafenomener knyttet til jordrotasjon (treghets- og Kelvin-bølger m.m.) er overflatebølger på havet som er lengre en noen centimeter, drevet av tyngden. I forhold til de vanligste tyngdebølgene, vindsjø og dønning, er flodbølger mye lengre. Typiske bølgelengder og perioder er 1–100 km og 1–15 min.

For små bølgehøyder kan lineær teori brukes for tyngdebølger. Egenskapene er da gitt ved bølgelengden og dypet. Vi kan identifisere to grensetilfeller. Når bølgelengden (λ) er kort i forhold til dypet (h), er strømmen (partikkelbevegelsen) og trykkvariasjonen knyttet til bølgen begrenset til et overflatelag med tykkelse omlag $\lambda/2$. Fasehastigheten for periodiske bølger er $c = \sqrt{g\lambda/2\pi}$, hvor g er tyngdeakselerasjonen. Gruppehastigheten, dvs. hastigheten som energien brer seg med, er halvparten så stor. I det andre ytterpunktet er lengden mye større en dypet. Strømhastigheten er da overveiende horisontal og har liten vertikal variasjon, mens fase- og gruppehastigheten begge er $c = \sqrt{gh}$. Trykket er til nærmet hydrostatisk, hvilket vil si at det i ethvert dyp er bestemt av vekten av vannsøylen over. Trykkfluktuasjonene knyttet til hevning og sekning av havoverflaten, kan derfor måles ved havbunnen. De fleste former for flodbølger hører hjemme i den lange kategorien, mens vindsjø og dønning er i den første, med unntak av når de kommer inn mot grunt vann ved kysten.

Fire faser

En hendelse som den vi var vitne til i Det indiske hav, omfatter en rekke komplekse fysikalske prosesser i samspill. Det er spenningsoppbygging, deformasjoner og brudd i elastiske–plastiske materialer, seismisk bølgeforplantning, energioverføring til havet over, bølgeforplantning i havet, og til slutt oppskylling ved land i en kraftig turbulent strøm av store vannmasser. Når en skal analysere og beskrive en flodbølgehendelse er det derfor nyttig å dele i fire faser: generering ved kilden, forplantningen av bølgene over åpent hav, forsterkning inn mot grunnere vann og oppskylling når bølgene når land. Det er den første og den siste av disse fasene som er mest utfordrende fra et fysisk og beregningsmessig synspunkt. Vi skal ta for oss de ulike fasene i det følgende, med spesielt sideblikk til det aktuelle tilfellet utenfor Sumatra, andre juledag 2004.

Kilde

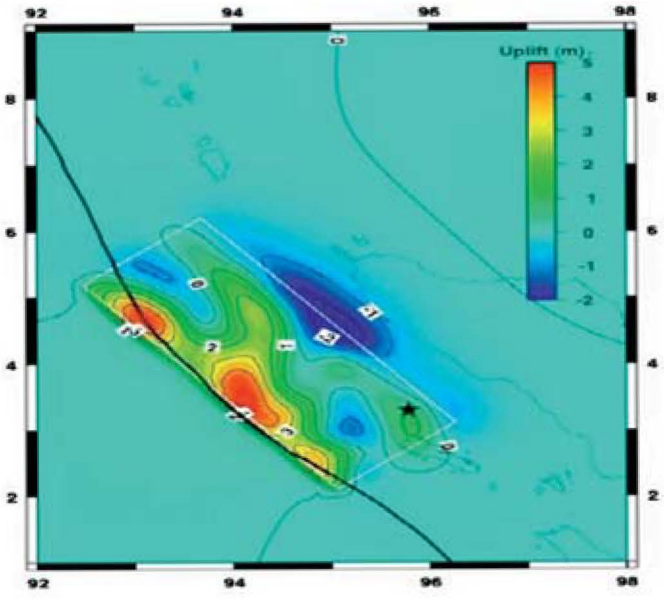
Undersjøiske jordskjelv er ansett som den vanligste årsaken til tsunamier. Jordskjelv opptrer hyppigst langs grensesonene mellom jordskorpeplater hvor det er relativ bevegelse mellom platene. Spenning kan bygge seg opp over lang tid og utløses brått med hurtige forskyvninger av platene. Forskyvningene opptrer gjerne langs et forkastningsplan som er orientert med en fallvinkel (dip) i forhold til vertikalen, og med en strøkretning (strike) i horisontalen. Det kan være forskyvninger både i fall og strøkretningen, men store forskyvninger i fallretningen fører gjerne til de største vertikale deformasjoner av havbunnen. Dette medfører at store vannmasser løftes eller senkes slik at det dannes flodbølger. Derfor er kyster nær aktive subduksjonsoner der oseaniske plater skyves inn under kontinentale langs skyveforkastninger (thrust-fault) og store forskyvninger i fallretningen dip- slip), særlig utsatte. Jordskjelv med hovedsakelige horisontale forskyvninger i strøkretningen (strike-slip) fører vanligvis ikke til flodbølger.

Undersjøiske skred er antagelig også en hyppig årsak til tsunamier. Slike skred kan utløses av jordskjelv, og en har lenge hatt mistanke om at store tsunamier etter moderat sterke jordskjelv kan være generert på denne måten. Dette ble bekreftet for tsuanmien etter skjelvet ved Papua New-Guinea, i 1998.

Skred generer i prinsippet bølger ved å fortrenge væske i forkant, mens vann strømmer inn og erstatter skredmasser i bakkant. Dette leder til at en dipolliknende deformasjon av havoverflaten oppstår. En skal være oppmerksom på at dynamikken i skred kan være komplisert, og det pågår mye forskning for å forbedre forståelsen av utløsning og utvikling av skred. Også vulkaner forårsaker tsunamier ved skred og tetthetstrømmer. Et ferskt eksempel er tsunamien fra skred ved vulkanen Stromboli i Sør-Italia, i 2002. Her ble det observert flere meter høye bølger som gjorde stor skade. Likevel er de mest katastrofale hendelsene i denne sammenheng knyttet til eksplosjoner og avsluttende kollaps og kraterdannelser (kaldera). Ett eksempel er Krakatau i 1883, der et krater på anslagsvis 50 km^2 × 200 m gav opphav til den største kjente tsunamikatastrofen i historisk tid inntil den nye hendelsen i Det indiske hav.

Jordskjelvet utenfor Sumatra skjedde i subduksjonssonen hvor den indiske platen presses langs og mot den burmesiske mikroplaten med en gjenomsnittelig hastighet av opptil 6 cm/år. Episentret var på ca. 20 km dyp vest for nordspissen av Sumatra, se forsidefigur hvor episentret er merket med gul stjerne, og ettersjokk med gule ringer. Området som er dekket av ettersjokk svarer til kildeområdet for tsunamien.

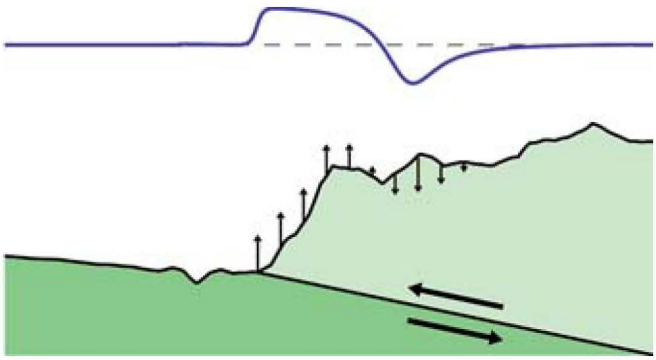
I løpet av 4–8 min bredte bruddsonen seg hele 1200 km nordover i nesten hele plategrensens lengde. Det finnes ikke målinger av den vertikale forskyvningen av havbunnen, men teoretiske beregninger er tilgjengelige for den sørligste del av



Figur 1. Vertikale forskyvninger av havbunnen beregnet for den sørlige delen av kildeområdet. Rødt betegner hevning og blått senkning (se fargeskala). Skalaene på aksene er lengdegrader (horisontalt) og breddegrader (vertikalt). (Etter Chen Ji, Caltech.)

forkastningen. Dette baserer seg på registreringer av kompresjon og skjærbølger (P- og S-bølger) fra en rekke seismiske stasjoner og antagelser om de geologiske forhold i jordskorpen. Beregningene (figur 1) antyder forskyvninger (slip) på opptil 20 m og vertikal havbunnsbevegelse opp mot 5 m, over en bredde på godt over hundre kilometer. Mye arbeid gjenstår, og skjelvet er ikke ferdig analysert, men det er vanlig å anta at det var noe mindre, men likevel betydelige, vertikale havbunnsbevegelser helt til den nordlige enden av skjelvet.

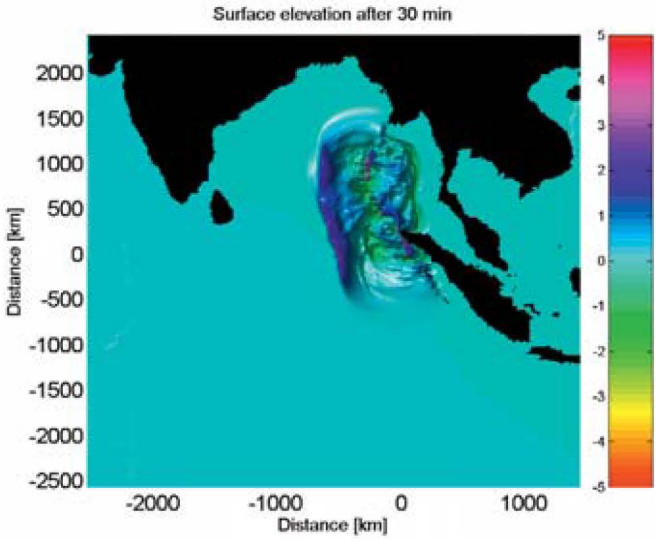
Avlastningen av den overliggende platen gir en hevning av havbunnen nærmest plategrensen og en senkning lenger inne. Under jordskjelvet vil P-bølger forplante seg med lydhastigheten i vannet, og rett etter skjelvet er den vertikale forrykningen av havbunnen tilnærmet overført til havoverflaten. Mens bruddsonen bredde seg nordover, hadde flodbølgene allerede begynt å bre seg ut fra den sydlige enden. Tidsforskyvningen mellom bølgene fra den sørlige og den nordlige enden av forkastningssonen, er likevel av mindre betydning. Et snitt av havbunn og overflate er skissert i figur 2 og viser oss en "N", eller dipolaktig hevning og senkning av overflaten. Dette forklarer hvorfor sjøen noen steder kan trekke seg tilbake når flodbølgene først kommer, mens andre steder vil sjøen stige. Antar vi en utstrekning på 1200×150 km^2 og en gjennomsnittlig vertikalforskyvning av havoverflaten på 2 m, gir dette en energi på $3,5 \cdot 10^{15}$ J, som er omlag 1–2 promille av den anslåtte energien i jordskjelvet. Det er verdt å merke seg at energien for denne tsunamien var noe mindre enn for Krakatau-tsunamien med de dimensjonene som er gitt ovenfor.



Figur 2. Prinsippskisse: Tverrsnitt gjennom forkastning med vertikale deformasjoner av kontinetalplaten og respons av havoverflaten. I dette tilfellet antas at de vertikale forflytningene av havbunnsplaten er små. Skalaene er sterkt fortegnet.

Forplantning over åpent hav

Tsunamien den 26. desember startet altså utenfor Sumatra som en langstrakt hevning og senkning av havflaten. Siden vannstandsendringen er noen få meter og dypet i forkastningsområdet for det meste er stort (ned til mer enn 4000 meter), kan lineær langbølgeteori brukes. Formen av kilden gir en sterk retningsavhengighet i den videre bølgeforplantningen. På tvers av bruddsonen får vi i første omgang en oppsplitting i to nesten plane bølger mot nordøst og sørvest. Den geometriske spredning er sterk ved endene av kilden og blir moderat i de senere delene av forplantningen mot Sri Lanka og Syd- India. Generelt vil geometrisk spredning gi en amplitudefaktor $r^{-\frac{1}{2}}$, der r er avstanden fra kilden. Dette gjelder når r er mye større enn utstrekningen av kilden, og kommer altså ikke til anvendelse for forplantning mot mot Sri Lanka og Thailand. Retningsavhengigheten forklarer hvorfor bølgene var relativt små i Bengalbukta og Bangladesh. Variable dybdeforhold, refraksjoner og refleksjoner fra øyene i kildeområdet, forårsaker snart et komplisert bølgemønster (figur 3). På grunn av den store hastigeten i dyphavet (mer enn 700 km/time) når bølgen fram nesten like fort til Sri Lanka som til Thailand. Strømhastigheten er på den annen side svært liten ute i dyphavet. Betegner vi overflatehevningen i forhold til middelvannsdypet med η, vil vi ha en strømstyrke $u = c\eta/h$, som gir $u = 0,35$ km/time for $\eta = 2$ m og $h = 4000$ m. For den videre bølgeforplantning mot Afrika og andre fjernere kyster, blir jordrotasjon og jordkrumning av betydning.



Figur 3. Beregnet tsunami etter 30 min. Fargeskalaen angir bølgehøyde i meter. (Fra International Centre of Geohazards, Oslo.)

Frekvensspredning (dispersjon) kan også være viktig for tsunamier i dyphavet og gi en ekstra reduksjonsfaktor på fra $r^{-\frac{1}{3}}$ til $r^{-\frac{1}{2}}$, avhengig av initialbetingelsene. Foreløpige beregninger for Indonesia-tsunamien tyder på at dispersjonen ikke var viktig for forplantningen over de dype havstrekningene mellom Sumatra og Sri Lanka.

Økning i bølgehøyde på grunnere vann

Helninger på kontinentalskråninger og havbunnen er generelt så små at lite energi reflekteres før bølgene kommer helt inn til kysten. Kontinentalsokkelen representerer derfor ikke noe effektivt vern mot tsunamier. Når bølgene kommer inn på grunnere vann vil de avbøyes (refrakteres) mot normalt innfall etter Snells lov. Enkle anslag for endring av bølgekarakteristika kan vi få fra lineær teori ved å anta at bølgene kommer inn normalt på dybdekotene. Så lenge lineær teori gjelder, er perioden bevart. Siden bølgehastigheten er proposjonal med $\sqrt{h}$, medfører dette at bølgelengden går som $\sqrt{h}$. Konstant periode og energifluks gir da Greens lov for amplitudeendringen (se ramme).

$$\lambda = \lambda_0\sqrt{\frac{h}{h_0}}, \qquad a = a_0(\frac{h_0}{h})^{\frac{1}{4}}$$

der a er amplituden. Videre er h_0, λ_0 og a_0 henholdsvis vanndyp, bølgelengde og amplitude i et referansepunkt ute på dypt vann. Med utgangspunkt i en amplitude på 1 m i dyphavet, kan vi da sette opp følgende tabell. (Dersom amplituden er 2 m må strømhastigheten fordobles.)

h (m)	a (m)	λ (km)	c (km/t)	u (km/t)
4000	1	100	713	0.18
1000	1.4	50	356	0.50
250	2	25	180	1.4
100	2.5	16	113	2.8
50	3.0	11	80	4.8
20	3.8	7	50	9.4
10	4.4	5	36	26.8

Vi observerer at amplituden vokser ganske langsomt innover grunna. De populære forestillingene om en enorm økning i bølgehøyde er overdrevet. Videre legger vi merke til at strømhastigheten (u) øker langt sterkere. For de minste dypene i tabellen er u/c og a/h ikke lenger små, og ulineære effekter blir viktige. Refleksjon av energi kan også få betydning. Før vi diskuterer ulineariteten, vil vi peke på en forskjell i forholdet til vindsjø og dønning. Ute på åpent hav vil det normalt være vindsjø og dønning med amplituder som er sammenlignbare med, eller endog større enn, tsunamien. Siden energitettheten i tyngdebølger bare avhenger av amplituden, betyr det at disse bølgene inneholder like mye energi som tsunamien i kildeområdet og langt mer dersom man summerer over hele det nordlige indiske hav. Tar vi utgangpunkt i en dønning med periode på 20 s, vil den for $h = 4000$ m svare til $\lambda = 580$ m, $2c_g = c = 100$ km/time, der c_g er gruppehastigheten. Siden energifluksen (energitransport gjennom et snitt) er gruppehastighet ganger energitetthet, vil den for dønningen være bare 7 % av fluksen for en tsunami med samme amplitude. Dønningen begynner ikke å øke i høyde før h blir mindre enn omlag 200 m, og antagelse om konstant energifluks gir da en amplitude som er redusert med en faktor 0,27 i forhold til en tsunami med samme høyde i dyphavet. For tsunamien øker altså bølgehøyden kraftigere inn mot land.

Boks 1. Periodiske tyngdebølger i havet

For små bølgehøyder a, kan man ved hjelp av lineær teori utlede følgende uttrykk for fasehastigheten:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}\tanh(2\pi\frac{h}{\lambda})}$$

hvor g er tyngdeakselerasjonen, h og λ betegner henholdsvis havdyp og bølgelengde. For korte bølger i forhold til dypet ($\lambda \ll h$), har vi tilnærmet $\tanh(2\pi\frac{h}{\lambda}) \approx 1$, som gir

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = 2c_g$$

hvor c_g er gruppehastigheten dvs. hastigheten som energien brer seg med. For lange bølger i forhold til dypet ($\lambda \gg h$), har vi tilnærmet $\tanh(2\pi\frac{h}{\lambda}) \approx 2\pi\frac{h}{\lambda}$, som gir

$$c = \sqrt{gh} = c_g$$

Energitettheten per areal havoverflate er

$$E = \frac{1}{2}\rho g a^2$$

hvor ρ er tettheten av sjøvann. Energifluksen per lengdeenhet langs bølgekammen er

$$F = Ec_g$$

For gruntvannsbølger ($\lambda \gg h$) får vi

$$F = \frac{1}{2}\rho g^{\frac{3}{2}} a^2\sqrt{h}$$

Ved konstant energifluks $F = F_0$, får vi amplituderelasjonen

$$a = a_0(\frac{h_0}{h})^{\frac{1}{4}}$$

Når amplituden blir betydelig i forhold til dypet, blir ulineære effekter viktige. Generelt er ulineær bølgeforplantning et vanskelig tema, men for lange tyngdebølger kan vi trekke viktige resultater ut av enkle betraktninger. En kan betrakte ulineæritet som en følge av at bølgen modifiserer mediet. I vårt tilfelle vil den endre det effektive havdypet og sette opp en strøm. Ut fra tidligere uttrykk for lineær bølgehastighet, ledes man da til følgende uttrykk for lokal, ulineær forplantningshastighet

$$c = \sqrt{g(h+\eta)} + u,$$

hvor η som før nevnt er den vertikale forskyvning av overflaten. Det siste leddet gjenkjennes som Dopplerskiftet på grunn av strømmen som settes opp av bølgen. Denne formelen kan også utledes formelt fra hydrodynamiske grunnlikninger. Følgen av uttrykket ovenfor er f.eks. at en bølgetopp ($\eta > 0$) går fortere enn fronten ($\eta \approx 0$), og at en hevningsbølge etter hvert blir steilere i forkant. Tilsvarende blir en senkningsbølge ($\eta < 0$) steilere i bakkant. Til slutt kan den steile fronten utvikle seg til et vannstandssprang som har forskjellig karakter avhengig av amplitude og dybdeforhold. Bølgen kan da enten bryte direkte i et bratt hydraulisk sjokk eller utvikle et bølgende (undulerende) vannstandssprang der enkelttopper spaltes av fra fronten som solitærbølger. Disse enkelttoppene kan i sin tur bryte. Filmklipp tyder på at det siste har skjedd i alle fall noen steder i Thailand og Malaysia for den aktuelle tsunamien. Bryting er et vanskelig tema innen bølgeteori, og vi skal nøye oss med å påpeke at den tapper energi ut av bølgebevegelsen. Denne effekten har større virkning på vindsjø og dønning enn de mye lengre tsunamiene.

Forplantningen i grunne farvann er også påvirket av lokale topografiske effekter som øyer, grunner, nes og bukter. Dette gir diffraksjon og avbøyning av forplantningsretning med mulighet for fokuseringer eller skjerming. En skal også her være klar over at skjerming av strender og havner på grunn av moloer, rev, nes etc. er mindre effektivt mot tsunamier enn mot vindsjø og dønning. Dette er en følge av at bølgelengden er så stor for tsunamier.

Tsunamien når land

Den siste og avgjørende delen av tsunamiens historie er oppskyllingen på land. Med alle aspekter som gjennombrudd av sanddyner, nedrivning av og strømning omkring vegetasjon og bygninger, er dette en meget vanskelig fase å modellere. Visse generelle trekk kan likevel beskrives. Først av alt er det grunnleggende bildet av en tsunami som en vegg av vann som ruller innover land, feil. Når en brytende, eller steil, bølgefront når strandlinjen kollapser den, og en mektig tunge av vann vil skylle videre innover. Dette ser vi på mange av bildene fra Thailand og Sri Lanka, og vi kan også se det i mindre skala på badestranda en dag med lang dønning. I noen filmklipp ser vi også noen få distinkte inntrengninger på land med kulminasjon eller begynnende tilbaketrekning, før en kraftig og vedvarende inntrengning. Dette kan skyldes utviklingen av et vannstandssprang (se ovenfor) der den langvarige inntrengningen kommer fra den lange hevningen som følger enkelttoppene.

Strømhastigheten for tsunamier er på sitt største akkurat ved strandlinjen, gjerne 50 km/time eller mer. Dersom det er helning oppover land, vil tyngden retardere vannet og en utgangshastighet på 50 km/time vil da kunne gi omlag 10 m oppskyllingshøyde. Er områdene flate, bremses vanninntrengningen av friksjon og motstand mot vegetasjon, bygninger etc., men strømmen vil snu når perioden med hevningsbølge er over. For vindsjø hvor bølgetopp og -dal følges med kort periode, får vi korte inntrengningslengder. Tsunamier gir mye lengre drag med store vannmasser i bevegelse, og skyller derfor langt forbi den vanlige brenningssonen, og de kan derfor oversvømme store områder.

Modellsimuleringer

Numeriske simuleringsmodeller kan brukes til å beregne flodbølger. I den enkleste form av slike modeller deles havet i bokser med kvadratiske sidekanter i havoverflaten som avgrenser en vannsøyle ned til bunnen, og med vertikale sideflater. For hver boks bestemmes et middeldyp på grunnlag av dybdemålinger. I modellen gjøres regnskap for ut og innstrømning. Dersom mer vann strømmer inn enn ut av en boks, må vannstanden i boksen stige (massebevarelse). Likeledes gjøres regnskap for hydrostatisk trykkvirkning på de vertikale sideflatene og friksjonsvirkningen langs bunnflaten. Friksjonen er særlig viktig inn mot land og under oppskylling. Fra Newtons lover kan så akselerasjonen for vannmassene bestemmes. Inn og utstrømning og trykkvirkningen mellom naboboksene er knyttet sammen gjennom et sett av likninger. Med mange bokser blir det et stort sett av likninger som løses ved hjelp av datamaskiner.

Slik kan generering, forplantning og oppskylling av flodbølger simuleres. Det eksisterer mer avanserte dybdemidlede modeller som tar hensyn til avvik fra hydrostatisk trykk og variasjon av strømhastigheten vertikalt i vannsøylen. Videre har man modeller basert på potensialstrømning, eller en tredimensjonal oppdeling i celler (bokser). Ennå er disse modellene for beregningstunge til å brukes i større havområder.

I figur 3 kan vi se eksempel på en simulering for tsunamien i Det indiske hav, med boksstørrelse 2 km × 2 km. Slike modeller er også blitt brukt for å simulere flodbølger fra skred i norske fjorder. Modellsimuleringer er et kraftig verktøy som kan brukes til å prediktere hvilke områder langs fjorden som vil være utsatt for flodbølger fra mulige nye skred. Slik kan en unngå at utsatte områder legges ut til bebyggelse.

Varsling og forebyggende tiltak

Det faglige aspektet ved tsunamier som har fått klart mest oppmerksomhet i mediene, er varslingssystemer. Her kan politikere markere handling, og aktører innen instrumentering kan finne et marked. Varslingsystemer baserer seg gjerne på det eksisterende internasjonale nettverket av seismiske målestasjoner for å detektere jordskjelv som kan generere store tsunamier. Dette kombineres med trykksensorer på havbunnen som kan fange opp en tsunami på vei mot kysten. Dataene må prosesseres og vurderes før et varsel kan sendes ut.

Dessverre er nytteverdien av varslingssystemer begrenset av flere faktorer. Tiden er spesielt kritisk. I tillegg til analyse og risikovurderinger før varslet kan sendes ut, tar det tid å informere og evakuere befolkningen fra utsatte områder. Derfor er utsiktene best for effektiv varsling når tsunamien har krysset lange havstrekninger. Befolkningen på Sumatra, der tsunamien den 26. desember rammet først og tapene var størst, kunne neppe vært hjulpet av noe varslingssystem. Derimot er kunnskap nyttig. Ved jordskjelv må alle søke bort fra stranda og til høyere områder. Det samme gjelder ved enhver unormal endring av vannstand, som f.eks. ved kraftig tilbaketrekning, eller når uvanlige bølgefenomener observeres. Likevel, dersom et varslingssystem kunne ha bidratt til å redde mange tusen liv i Sri Lanka, India og Thailand, ville det naturligvis ha vært av stor verdi.

I Stillehavsområdet der varslingssystemer er i drift, er falske varsler (over 90 %) et problem. Et annet problem er vedlikehold. Begge disse forholdene vil virke spesielt negativt i et område der tsunamier er forholdsvis sjeldne, men kraftige, som i Det indiske hav.

Referanser

1. URL: *http://www.geohazards.no/*
2. URL: *http://www.math.no/*
   (Klikk: Bølger og strømninger under tsunami).
3. URL: *http://www.usgs.gov/*

∞

Einstein's philosophy of science

About ten years ago I spoke with Einstein about the astonishing fact that so many ministers of various denominations are strongly interested in the theory of relativity. Einstein said that according to his estimation there are more clergymen interested in relativity than physicists. A little puzzled I asked him how he would explain this strange fact. He answered, a little smiling, "Because clergymen are interested in the general laws of nature and physicists, very often, are not."

Another day we spoke about a certain physicist who had very little success in his research work. Mostly he attacked problems which offered tremendous difficulties. By most of his colleagues he was not rated very highly. Einstein, however, said about him "I admire this type of man. I have little patience with scientists who take a board of wood, look for its thinnest part and drill a great number of holes where the drilling is easy."

Philipp Frank
From Review of Modern Physics, **21**, 349 (1949)

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Overflatebølger og interferens på vann

Øyvind Guldahl *

Interferens mellom overflatebølger kan enkelt oberveres på et stille vann.

Knutelinjer

Vi tar utgangspunkt i interferensmønsteret som dannes av bølger fra to bølgekilder med samme amplitude og frekvens. Punktene der bølgene fra de to kildene opphever hverandre, ligger på såkalte knutelinjer som sprer seg utover fra området mellom bølgekildene. For alle punktene på én knutelinje er avstandsforskjellen d_n til de to bølgekildene den samme. Dersom bølgekildene er i fase, dvs. svinger i takt, har vi

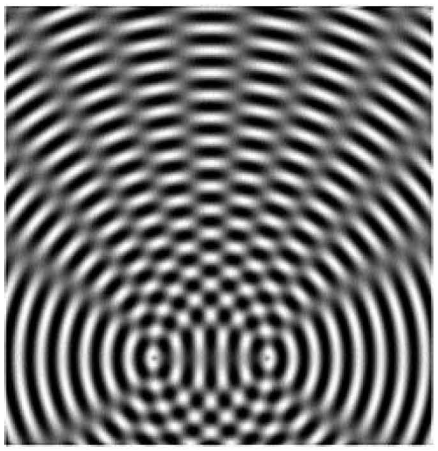
$$d_n = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

der n er et helt tall og λ er bølgelengden. En linje der alle punktene har samme avstandsforskjell til to faste punkter, er en hyperbel. På figur 1 kan vi se knutelinjene som stråler ut fra området mellom bølgekildene. For de to midterste knutelinjene er $n = 0$, for de nest midterste er $n = 1$, og så videre. For de to ytterste knutelinjene på figuren er $n = 4$.

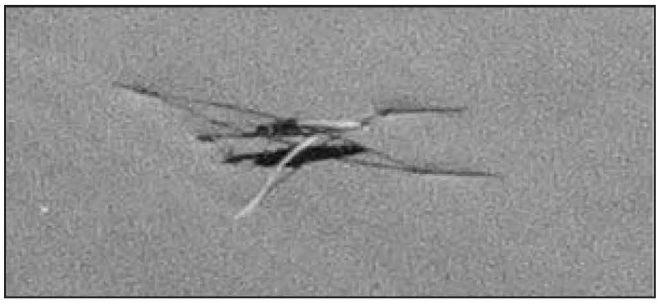
Slike interferensmønstre er det lett å lage på et stille tjern hvis en kaster to steiner eller liknende i vannet samtidig i passe avstand fra hverandre. Men det beste er å vifte med to fingre i vannflata. Da får vi mange bølger etter hverandre med omtrent samme bølgelengde, og vi vil kunne se et interferensmønster som likner på det i figur 1.

Vannløpere

Men hvorfor ikke la insektene som beveger seg på vannflata være bølgekilder? Figur 2 viser et insekt fra familien Gerridae, kalt vannløper eller skomaker. De hopper bortover overflatehinna, opptil en meter i hvert sprang. Når de sparker bakover med det midterste beinparet, får vi to bølgetog som gir et nydelig interferensmønster som figurene 3 og 4 viser.



Figur 1. Datamodell av bølger fra to bølgekilder. Knutelinjene kan ses som stråler ut fra området mellom bølgekildene. Alle punktene på en knutelinje har samme avstandsforskjell til de to bølgekildene.



Figur 2. Vannløperen lever på overflatehinna. Den griper byttet med det forreste beinparet, "ror" med det midterste og styrer med de to bakerste beina. (Det er registrert 8 arter i Norge.)

Dette bølgemønsteret er forskjellig fra det som er vist i figur 1. Knutelinjene går nå ikke utover fra bølgekildene langs hyperbler slik vi lærer i skolefysikken. De går derimot tettere sammen jo mer de fjerner seg fra bølgekildene.

Studerer vi bildene nøyere, ser vi at de forreste bølgene (lengst vekk fra insektet) har kortere

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Figur 3. Dette bildet er tatt omtrent 0,5 s etter frasparket. Vi ser begge de to bølgeringene og interferensstripene bak insektet. Interferensstripene brer seg ikke utover som hyperbler slik som i figur 1, men går tettere sammen jo mer de fjerner seg.

Figur 4. Vannløperen er her kommet ca. 40 cm framover fra der frasparket skjedde.

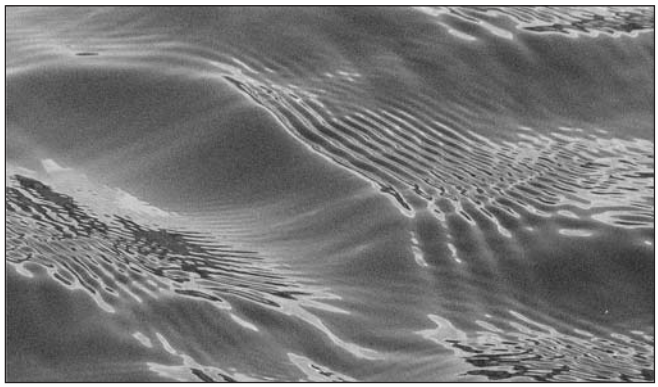
bølgelengde enn de som kommer etter. Derfor ligger knutelinjene tettere sammen i de forreste bølgene. Men hvorfor er bølgelengden mindre i de forreste bølgene?

Bølger i overflatehinna

For store vinddrevne vannbølger er det tyngdekraften og vinden som bestemmer bølgenes form og hastighet. På dypt vann øker bølgefarten når bølgelengden øker. Men dersom bølgelengdene er små nok, spiller tyngden liten rolle i forhold til overflatespenningen. Bølgene fra vannløperen kan betraktes som bølger i overflatehinna. For slike bølger øker bølgefarten når bølgelengden avtar. Bølger i overflatehinna kan vi nesten alltid se på vann når det blåser litt. Figur 5 viser tyngdebølger med bølgelengde 15–20 cm, og overflatehinnebølger i forkant av disse, med bølgelengder 0,5–1 cm.

Rask fourrieranalyse

Den bølgen som oppstår når vannløperen sparker bakover, er ikke en rein sinusbølge, men har en temmelig uregelmessig form. Ved hjelp av fourrieranalyse kan enhver bølgeform beskrives som en sum av sinusformete bølger med mange ulike bølgelengder. Disse sinusbølgene blir her synliggjort fordi de går med ulik fart ut fra utgangspunktet. Vi ser at de korteste bølgelengdene leder foran de lengre. På denne måten gjør naturen selv sin fourrieranalyse raskt og enkelt.



Figur 5. Vi ser overflatehinnebølger som dannes i forkant av vinddrevne bølger.

Lys- og vannbølger

Bølger der farten er avhengig av bølgelengden, kalles *dispersive*. Lysbølger er også dispersive. Når vi sender en hvit lysstråle gjennom et glassprisme, kan vi se et fargespektrum på baksiden av prismet. Dette skyldes at lys med ulike bølgelengder (ulike farger) har ulike hastigheter i glasset, og dermed brytes de i ulike vinkler. Vi kan altså se det samme fenomenet både i lysbølgene fra et prisme og i vannbølgene fra en vannløper: Bølger med ulike bølgelengder skilles fra hverandre på grunn av ulik bølgefart.

Bildene er tatt med digitalkamera.

∞

STUDÉR FYSIKK!

ILC – International Linear Collider

Supraledende teknologi er valgt

Per Osland *

Fysikere har de siste 10 årene arbeidet intenst med utvikling av teknologi for å kunne bygge en lineær elektron-positron-akselerator med en energi opp mot 1 TeV (10^{12} eV). Dette er en faktor 5 mer enn den energien som ble nådd ved CERNs store elektron–positronakselerator, LEP, som ble stengt i 2000 for at konstruksjonen av LHC (Large Hadron Collider) kunne begynne i den samme 27 km lange sirkulære tunnellen.

Fysikkmotivasjonen er i hovedtrekk basert på at en ønsker å forstå elektrosvakt symmetribrudd: *Hvordan henger egentlig elektromagnetismen sammen med mekanismen for radioaktivt betahenfall?* Mange av egenskapene til W og Z-bosonene er blitt nøye studert ved LEP, men Higgs-sektoren er fortsatt helt spekulativ.

Selv om protonene ved LHC vil ha en massesenterenergi på hele 14 TeV, så skal denne energien fordeles på protonets bestanddeler (kvarker, antikvarker og gluoner), slik at tilgjengelig energi i en typisk "hard" kollisjon vil bli mye mindre enn 14 TeV. Dessuten gir en elektron-positron-akselerator mye renere data enn LHC, hvor protonfragmentene i hver kollisjon gir et enormt antall uinteressante hadroner i tillegg til de partiklene som representerer ny fysikk.

Higgspartikkelen antas å bli oppdaget ved LHC, men mange av dens egenskaper, som i detalj vil kunne avsløre hvordan symmetribruddet oppstår, vil bare kunne måles ved en lineærakselerator. Det gjelder spesielt dens koblinger til andre partikler og til seg selv, samt indre egenskaper som spinn og paritet. Det kan også tenkes at Higgs-sektoren er mye rikere enn hva Standardmodellen forutsier (med flere forskjellige Higgspartikler), og at den bryter CP-symmetrien, noe som kunne representere et gjennombrudd når det gjelder å forstå materie–antimaterieasymmetrien i universet. (Den såkalte CP-symmetrien er en symmetri som de fleste naturlover har. Kreftene er uforandret under ombytte av *partikler* og *antipartikler*, og samtidig ombytte av *høyre* og *venstre*.)

Videre er det mange indikasjoner på at supersymmetri kan manifestere seg ved LHC. I dette tilfellet vil en lineærakselerator kunne gi mye mer detaljert informasjon både om spektret og om koblingene. Slike presisjonsmålinger ville være av stor betydning for ekstrapolering av teorien til høye energier hvor enklere mønstre forventes ("Grand Unification"). Det kan også tenkes at W og Z-bosonene har tyngre "brødre", W' og Z'; egenskapene til disse vil lettere kunne studeres ved en elektron–positronakselerator enn ved LHC. Andre spekulasjoner tilsier at man kan oppdage ekstra dimensjoner, noe som ville sette tyngdekraften i et helt nytt lys, og som kunne være relatert til universets "mørke energi". En slik oppdagelse ville derfor ha en meget dyptrekkende betydning for hele vårt verdensbilde. Den mest interessante fysikken er oppsummert i et dokument laget av det amerikanske High Energy Physics Advisory Panel (HEPAP).[1]

Planene om en lineærakselerator har vært fokusert på to hovedretninger når det gjelder det akselererende radiofrekvensfeltet: supraledende og ikke- supraledende kaviteter, omtalt som "kald" (L-band) og "varm" (X-band) teknologi. Prosjektet TESLA, som ble initiert av Bjørn Wiik da han var generaldirektør ved Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) i Hamburg, representerer den supraledende teknologien. (Navnet TESLA er et akronym for "TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator" som vekker assosiasjoner til den serbiske fysikeren Nikola Tesla som dro til USA og er kjent for sine arbeider innen vekselspenning og magnetisme.) Akseleratorstrukturen, kavitetene hvor det akselererende radiofrekvensfeltet genereres, skulle lages av niobium, nedkjølt til superflytende

*Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen

heliums temperatur på −271 °C. I 2001 presenterte DESY en konkret plan (Technical Design Report, eller TDR) for å bygge en slik akselerator i Hamburg. Den skulle nå en massesenterenergi på henholdsvis 500 og 850 GeV i første og annet byggetrinn.

Denne planen var utarbeidet av en arbeidsgruppe ved DESY, med vesentlig støtte fra European Committee for Future Accelerators (ECFA) og interesserte partikkel- og akseleratorfysikere verden over (TDR-en har over 200 forfattere). Rettighetene til å bruke et 30 km langt (hovedsakelig underjordisk) landområde var sikret som "tomt", nordvest for Hamburg. Rapporten inneholder også en detaljert studie av fysikkmulighetene.[2] TESLA var kostnadsregnet til 3136 millioner euro for selve akseleratoren, ved første byggetrinn, til energien 500 GeV. Sammen med en supraledende fri-elektronlaser i røntgenområdet (XFEL) som nå er under konstruksjon, for biologi- og materialstudier, en detektor og diverse annet utstyr, kommer en opp i 4–4,5 milliarder euro.

Varm teknologi (ikke supraledende) ble i hovedsak utviklet og fremmet av grupper ved Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) – hvor man i 1989 hadde bygget en lineærakselerator med samme energi som ved LEPs første byggetrinn, 90 GeV – og ved det japanske nasjonale laboratoriet for høyenergifysikk (KEK). Japanerne presenterte et konkret forslag, Japan Linear Collider (senere omdøpt til Global Linear Collider) Technical Design Report, i 2003. Prisen ble beregnet til et beløp nokså likt TESLA-estimatet.

Parameter	TESLA	NLC/GLC
lengde [km]	33	30
energi [GeV]	500/850	1000–1300
frekvens [GHz]	1.3	11.4
luminositet	3–5	2–3
gradient [MV/m]	25–35/40–45	52–65
kraftforbruk [MW]	140	200-400

Akseleratorparametre for kalde (TESLA) og varme (NLC/GLC – Next Linear Collider/Global Linear Collider) teknologier. (Luminositeten, som er et mål for kollisjonsraten, er i enheter av 10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$.)

Et av hovedargumentene for den varme teknologien var at den lettere kunne oppgraderes til høyere energier, mens de supraledende kavitetene derimot vil bryte sammen ved elektriske felt over 40–50 MV/m. Med en maksimal lengde over 30 km ansett som urealistisk, gir dette en noe ubehagelig øvre grense på den energien som kan oppnås med kald teknologi. Tabellen gir en oversikt over de viktigste parametrene.[2,3] (Som en kuriositet kan man legge merke til at radiofrekvensen for kald teknologi er sammenlignbar med den som brukes for mobiltelefonnettet.)

Situasjonen var den at Europa ville satse på kald teknologi, Japan på varm, mens miljøet i USA var delt. Det var imidlertid klart at det ville være urealistisk å forsøke å finansiere mer enn én slik akselerator. I 2002 bestilte International Committee for Future Accelerators (ICFA) en utredning av forskjellige teknologier, og opprettet en International Linear Collider Steering Committee (ILCSC). Begge teknologiene ble erklært brukbare, ingen "showstopper" ble identifisert. Men for å konsentrere forskningen og utviklingen om *en* teknologi, oppnevnte ILCSC et International Technology Recommendation Panel, ITRP (populært kalt "12 vise menn"), hvor de tre regionene (Nord-Amerika, Asia og Europa) var representert, til å utrede spørsmålet om hvilken teknologi man skulle samles om. Barry Barish fra Caltech har vært leder for dette panelet. Parallelt med dette, bekreftet ICFA våren 2004 at en lineærakselerator var partikkelfysikkens høyeste prioritet når det gjelder en ny akselerator, og at det ville være viktig at den fikk overlapp i tid med LHC.

Anbefalingen fra de vise menn kom i august 2004, den ble enstemmig anbefalt av ICFA, og presentert ved International Conference on High Energy Physics (ICHEP04) i Beijing: valget var *supraledende teknologi.*

Hvorfor supraledende? Flere argumenter blir gitt. Den gir mye større konvertering av den tilførte elektriske energien (bedre utnyttelse av strømforbruket). Dette er et viktig argument, siden strømregningen utgjør en vesentlig del av driftsutgiftene. Erfaringene man har gjort med design og industriell produksjon av supraledende kaviteter for DESYs fri-elektron laser bidrar også til å redusere prisen og øke påliteligheten. Det er dessuten lettere å styre strålen, som må gjøres veldig smal for å få en rimelig høy kollisjonsrate (høy "luminositet"). En av de ting som bidrar til høy luminositet i en kald akselerator, er at hver partikkelpakke ("bunch") kan gjøres lang. Dette gjør det også lettere å korrigere for rystelser i grunnen (fra trafikk, bl.a.) ved lavere frekvens.

Det er selvfølgelig et klart utsagn om Bjørn Wiiks kompetanse som akseleratorfysiker at det var supraledende teknologi som ble anbefalt, i tråd med hans prosjekt. Det gjenstår imidlertid å se hvor

Fra Fysikkens Verden

66. årgang
2004

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 2004

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 2004

Nr. 1:

Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer 2
St. Olavs Orden til Olav Holt
Asgeir Brekke
Per Maltby 70 år
Olav Kjeldseth-Moe
Gründerpris til John Rekstad
Redaksjonen
In Memoriam 5
Finn Tønnessen
Thormod Henriksen
Nobelprisen i fysikk 2003
Asle Sudbø 6
Isaachsens lærebøker i fysikk – et hundreårsjubileum
Trond Harkjerr 9
Indeks FFV 2003 15
Magnetiske kuler og kaffisøl
Lars Egil Helseth 19
Fantomenergi og kosmisk dommedag
Øyvind Grøn og Ingunn Kathrine Wehus 23
Bokomtaler 27
P.E. Sandholt, H.C. Carlson og A. Egeland:
Dayside and Polar Cap Aurora.
Kluwer Academic, Astrophys. and Space Sci., 2002.
Svenn Lilledal Andersen og Otto Øgrim:
Triks på roterommet.
Vitenskapsbilblioteket, Gyldendal, 2003.
Hva skjer 28
Merkedag i norsk fysikk
Trim i FFV 28
Nye Doktorer 29
Dr.scient. Berit Bungum
Dr.scient. Eirik Malinen
Dr.scient. Ståle Ramstad
Dr.philos. Roland Wittje
Nytt fra NFS 31
Nytt styre i NFS

Nr. 2:

Fra Redaktørene 34
FFV Gratulerer 34
Øivin Holter 70 år
Finn Ingebretsen og Asbjørn Kildal
Meltzerprisen til Kjellmar Oksavik
Johan Stadsnes
In Memoriam 36
Wilhelm Løchstøer
Nico Norman
Nytt fra NFS 36
Anne Borg og Steinar Stapnes: Fysikkåret 2005
Kvantemekanikk 100 år etter Planck – I
Jon Magne Leinaas 38
Den gravitasjonelle dra-effekten
Øyvind Grøn 44
Fotballsparkets fysikk
Arnt Inge Vistnes 47
Stereobilder og professor Keyser i 1840
Bjørn Pedersen 50
Hva skjer 53
Anders Isnes: Nasjonalt naturfagsenter opprettet
Olav Steinsvoll: ESS-nytt
Konferanse 55
Gaute T. Einevoll: Biofysikkmøtet 2004
Bokomtaler 56
Audun Holme: Matematikkens historie 2.
Fra de arabiske vise til Niels Henrik Abel.
Fagbokforlaget, 2004.
James B. Hartle: Gravity:
An Introduction to Einstein's General Relativity.
Addison Wesley, 2003.
Nye Doktorer 59
Dr.scient. Ellen Merete Bruzell
Dr.scient. Grunde Løvoll
Dr.scient. Terje Robert Meisler
Dr.scient. Bjørnar Sandnes
Dr.scient. Ane Aanesland
Trim i FFV 62
Fysikksnutt 62
Balanse på vannhinna
Nytt fra NFS 63
Nye medlemmer

Nr. 3:

Fra Redaktørene 66
FFV Gratulerer 66
Øystein Elgarøy
Jøran Moen
Trine Tveter
Kvantemekanikk 100 år etter Planck – II
Jon Magne Leinaas 68
Svart hull informasjonsparadokset
Øyvind Grøn 74
Moderne litografi
Lars Egil Helseth 78
Et biofysisk fenomen:
Er afrikanere lysere enn europeere for fluser?
J. Moan, K. Pagh Nielsen, L. Zhao, J.J. Stamnes og B. Hamre 82
Bokomtaler 85
Peter Atkins: Galileos finger.
Vitenskapens ti største idéer.
Humanist Forlag, 2004.
K. Fossheim and A. Sudbø: Superconductivity,
Physics and Applications.
John Wiley & Sons, 2004.
Hva skjer 87
Alv Egeland og Tore Amundsen:
Birkelandforelesningen 2004.
Trim i FFV 88
Nye Doktorer 89
Dr.scient. Morten Førre
Dr.scient. Rolf J. Korneliussen
Dr.scient. Stein-Arild Tjugum
Dr.scient. Anders Strand Vestbø
Nytt fra NFS 91
Fysikermøtet 2005
Fysikkåret 2005
Nye medlemmer

Nr. 4:

Fra Redaktørene 94
FFV Gratulerer 94
Arne Brataas
Alfred Hanssen
Thomas Tybell
Jørg T. Jebsen og Birkhoffs teorem
Nils Voje Johansen og Finn Ravndal 96
Syklotronen i Oslo 25 år
M. Guttormsen, F. Ingebretsen og S. Siem 104
Nobelprisen i fysikk 2004: Asymptotisk frihet
Bjørn H. Samset 107
Radiosignaler med mange sekunders forsinkelse
Sverre Holm 110
Gravitasjonell rødforskyvning
som astronomisk redskap
Øyvind Grøn 113
Nye Doktorer 116
Dr.ing. Steinar Bjørnstad
Dr.scient. Erik Wolden Dvergsnes
Dr.scient. Jarle Andre Johansen
Dr.scient. Wafaa Khater
Trim i FFV 118
Bokomtale 119
Korrigering av bokomtale
Nytt fra NFS 119
Fysikkåret 2005
Nye medlemmer

∞

Forfatterregister 2004

Andersen, Sven Lilledal og Otto Øgrim:
Fysikksnutt: Balanse på vannhinna 62
Borg, Anne og Steinar Stapnes:
Nytt fra NFS: Fysikkåret 2005 36
Borg, Anne:
Nytt fra NFS: Fysikkåret 2005 91
Borg, Anne:
Nytt fra NFS: Fysikkåret 2005 119
Brekke, Asgeir:
Gratulerer: St. Olavs Orden til Olav Holt 2
Egeland, Alv:
Gratulerer: Jøran Moen 66
Egeland, Alv og Tore Amundsen:
Hva skjer: Birkelandforelesningen 2004 87
Einevoll, Gaute T.:
Konferanse: Biofysikkmøtet 2004 55
Ersland, Grete Kvamme:
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2005 91
Grebstad, Jostein:
Gratulerer: Thomas Tybell 95
Grøn, Øyvind og Ingunn Kathrine Wehus:
Fantomenergi og kosmisk dommedag 23
Grøn, Øyvind:
Den gravitasjonelle dra-effekten 44
Grøn, Øyvind:
Svart hull informasjonsparadokset 74
Grøn, Øyvind:
Gravitasjonell rødforskyvning
som astronomisk redskap 113
Guttormsen, Magne, Finn Ingebretsen og Sunniva Siem:
Syklotronen i Oslo 25 år 104
Harkjerr, Trond:
Isaachsens lærebøker i fysikk for realgymnaset –
et hundreårsjubileum 9
Helseth, Lars Egil:
Magnetiske kuler og kaffisøl 19
Helseth, Lars Egil:
Moderne litografi 78
Henriksen, Thormod:
In Memoriam: Finn Tønnessen 5
Holm, Sverre:
Radiosignaler med mange sekunders forsinkelse 110
Ingebretsen, Finn og Asbjørn Kildal:
Gratulerer: Øivin Holter 70 år 34
Isnes, Anders:
Hva skjer: Nasjonalt naturfagsenter opprettet 53
Johnsen, Nils Voje og Finn Ravndal:
Jørg T. Jebsen og Birkhoffs teorem 96
Kjeldseth-Moe, Olav:
Gratulerer: Per Maltby 70 år 3
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Audun Holme: Matematikkens historie 2.
Fra de arabiske vise til Niels Henrik Abel.
Fagbokforlaget, 2004. 56
Knutsen, Henning:
Bokomtale: James B. Hartle: Gravity:
An Introduction to Einstein's General Relativity.
Addison Wesley, 2003. 58
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Peter Atkins: Galileos finger.
Vitenskapens ti største idéer.
Humanist Forlag, 2004. 85
Leinaas, Jon Magne:
Kvantemekanikk 100 år etter Planck – I 38
Leinaas, Jon Magne:
Kvantemekanikk 100 år etter Planck – II 68
Løvhøiden, Gunnar:
Gratulerer: Trine Tveter 67
Moan, J., K. Pagh Nielsen, L. Zhao, J.J. Stamnes og B. Hamre:
Et biofysisk fenomen:
Er afrikanere lysere enn europeere for fluer? 82
Norman, Nico:
In Memoriam: Wilhelm Løchstøer 36
Osnes, Eivind:
Bokomtale: Svenn Lilledal Andersen og Otto Øgrim:
Triks på roterommet. Vitenskapsbiblioteket,
Gyldendal Barn & Ungdom, 2003. 28
Osnes, Eivind:
Gratulerer: Øystein Elgarøy 66
Pedersen, Bjørn:
Stereobilder og professor Keyser i 1840 50
Samset, Bjørn H.:
Nobelprisen i fysikk 2004: Asymptotisk frihet 107
Shantsev, Daniel:
Bokomtale: Kristian Fossheim and Asle Sudbø:
Superconductivity, Physics and Applications.
John Wiley & Sons, 2004 86
Korrigering av bokomtale 119
Stadsnes, Johan:
Bokomtale: P.E. Sandholt, H.C. Carlson og A. Egeland:
Dayside and Polar Cap Aurora. Kluwer Academic,
Astrophysics and Space Science, Vol 270, 2002 27
Stadsnes, Johan:
Gratulerer: Meltzerprisen til Kjellmar Oksavik 35
Steinsvoll, Olav:
Hva skjer: ESS-nytt 55
Sudbø, Asle:
Nobelprisen i fysikk 2003 6
Sudbø, Asle:
Hva skjer: Merkedag i norsk fysikk 28
Sudbø, Asle:
Gratulerer: Arne Brataas 95
Vistnes, Arnt Inge:
Fotballsparkets fysikk 47

∞

og når en slik akselerator blir bygd. DESY (Hamburg), KEK (Japan) og Fermilab (Chicago) antas å være de mest aktuelle vertskap. DESYs TESLA-prosjekt var i 2001–2003 til vurdering hos det tyske vitenskapsrådet, som bestemte seg for å legge det på is i påvente av en internasjonal avklaring. Frielektronlaseren, XFEL, som er en del av dette prosjektet, er imidlertid under konstruksjon.

De finansieringsmodellene som diskuteres, opererer med en totalpris på ca. 5 milliarder euro (eller 6 milliarder US-dollar), hvorav vertslandet antas å dekke 30-40 %. Resten vil bli delt mellom interesserte partnere. Byggetiden anslås til 8–10 år fra en beslutning er tatt. For tiden arbeider en med designutredelse som trolig vil inneholde sentrale elementer av TESLA-prosjektets design. Men det skjer nå i et globalt perspektiv. En direktør for å lede dette Global Design Initiative, vil bli utpekt i løpet av vinteren 2005. Man håper å presentere prosjektet for bevilgende myndigheter rundt 2007.[4]

Referanser

1. http://ypp.hep.net/final-report0102.pdf http://sbhepnt.physics.sunysb.edu/~grannis/ilcsc/lc-consensus.pdf
2. R. Brinkmann *et al.*: *TESLA Technical Design Report.* DESY-2001-011 (2001)
3. *www.slac.stanford.edu/xorg/accelops*
4. http://www.desy.de/%7Eschreibr/ecfa/technology choice.html

∞

Naturkonstanter og livsbetingelser

Ingolf Kanestrøm *

I følge fysikernes verdensbilde er naturprosessene styrt av naturlovene, og resultatene av naturprosessene er sterkt avhengige av verdiene til naturkonstantene som inngår i naturlovene. Naturkonstantene er bestemmende for universets struktur og sammensetning, og er dermed avgjørende for livsbetingelsene på jorda.

Slike fundamentale naturkonstanter er: lyshastigheten (c), massen til elementærpartikler som protonet (m_p), nøytronet (m_n) og elektronet (m_e), planckkonstanten (h), boltzmannkonstanten (k), gravitasjonskonstanten (G), elektronets ladning (e) osv. Visse kombinasjoner av disse konstantene er dimensjonsløse og har spesiell fysisk betydning. Her kan nevnes koplingskonstanten, eller finstrukturkonstanten for gravitasjon, $\alpha_G = 2\pi G m_p^2/hc = 5 \cdot 10^{-39}$. Denne konstanten har så liten verdi at en lenge tvilte på om den kunne ha noen betydning. En annen viktig konstant er finstrukturkonstanten $\alpha = 2\pi e^2/hc \approx 1/137$. Den er et mål på styrken av den elektromagnetiske vekselvirkningen, og spiller en vesentlig rolle der elektromagnetismen er av stor betydning. At α_G er så mye mindre enn α, reflekterer det faktum at gravitasjonskreftene mellom to protoner er mye svakere enn de elektromagnetiske kreftene.

Astrofysikeren Eddington mente at de dimensjonsløse konstantene kunne utledes matematisk, mens fysikeren Dirac mente at naturkonstantene var så spesielle at de måtte stå i sammenheng med andre tall av samme størrelsesorden, og som karakteriserer strukturer i naturen. Nå mener de fleste fysikerne at de dimensjonsløse konstantene er foreskrevet av naturen; de kan ikke beregnes, og de er ikke relatert til andre tall.

*Institutt for geofag, Universitetet i Oslo

Hvor kritiske er verdiene av naturkonstantene for livsbetingelser?

For at liv skal kunne eksistere på jorda, må universet frembringe de byggeelementene og de naturlige prosessene som er nødvendige for liv. Ovenfor har vi listet opp en rekke naturkonstanter som inngår i naturvitenskapene. Før vi ser mer på hvor "kritiske" disse konstantene er for naturprosessene, skal vi se kort på de viktigste kreftene som omhandles i naturvitenskapene.

Fysikerne har kartlagt fire fundamentale krefter som i stor grad bestemmer hvordan materie og stråling vekselvirker med hverandre, og dermed bestemmer hovedtrekkene ved universet. Disse fire kreftene er gravitasjonskraften (tyngdekraften), den elektromagnetiske kraften, den sterke kjernekraften og den svake kraften. Styrken av kreftene er gitt som:

Sterk (kjerne)kraft	$= 15$
Svak kraft	$= 7,03 \cdot 10^{-3}$
Elektromagnestisk kraft	$= 3,03 \cdot 10^{-12}$
Gravitasjonskraft	$= 5,90 \cdot 10^{-39}$

Det faktum at gravitasjonskraften er 39 størrelsesordener mindre enn den sterke kraften, er kritisk for den kosmiske ordningen. Spesielt er dette avgjørende for at stabile stjerner og planetbaner kan dannes. Dersom gravitasjonskraften hadde vært en faktor 10^{12} sterkere, ville universet ha vært langt mindre og livshistorien mye kortere. En midlere stjerne ville ha hatt en masse av størrelsesorden 10^{-12} ganger solas masse, og levetiden ville ha vært bare ca. ett år. På den andre siden, dersom gravitasjonskraften hadde vært litt svakere, så ville ikke noen stjerne eller galakse ha kunnet blitt dannet i det hele tatt. Den verdensberømte britiske fysikeren Stephen Hawking, har påpekt at veksten av universet ligger så nær grensen mellom kollaps og vekst at man ikke har vært i stand til å måle avviket. Vekshastigheten må defor ha vært riktig for at stjerner og galakser skulle dannes. Ekspansjonshastigheten er så kritisk at den må være finjustert innen én del av 10^{55}.

Forholdet mellom de andre kreftene og deres størrelse er ikke mindre kritisk. Dersom den sterke kraften hadde vært bare litt svakere, ville hydrogen ha vært det eneste stabile elementet i universet. Ikke noe annet atom ville ha kunnet eksistere. Dersom den sterke kraften hadde vært litt sterkere i forhold til den elektromagnetiske, ville atomkjerner bestående av to protoner ha vært et stabilt trekk ved universet. Dette betyr at der ikke kunne ha vært noe hydrogen. Dersom noen stjerner eller galakser i det hele tatt kunne dannes, ville de ha blitt forskjellige fra de vi har nå.

For at liv skal være mulig, må mer enn førti elementer kunne bindes sammen til å danne molekyler. Et molekyl består av to eller flere atomer, og hvert atom har en kjerne bestående av nukleoner (protoner og nøytroner). Vi skal nå se litt nærmere på hvordan man kan få de rette nukleonene, elektronene, atomene og molekylene.

Riktig antall nukleoner

I det første øyeblikket etter dannelsen inneholdt universet nukleoner og antinukleoner. Antinukleonene utslettet tilsvarende antall nukleoner og genererte en enorm mengde energi. Alle stjerner og galakser er dannet av de nukleonene som ble til overs. Men for at det skulle bli nukleoner til overs, måtte det i utgangspunktet være flest av disse. Dersom den overskytende delen i utgangspunktet hadde vært mindre, ville det ikke ha blitt nok materie til å danne galakser, stjerner og tunge grunnstoffer. Og dersom den overskytende delen hadde vært større, kunne galakser dannes, men de ville kondenseres så effektivt at det ville hindre utstråling, og ingen av galaksene ville deles opp og danne stjerner og planeter.

Nøytronet har $0,138$ % større masse enn protonet. Denne ekstra massen tilsier at det er nødvendig med mer energi for å danne et nøytron enn et proton. Da universet ble nedkjølt etter Big Bang, ble det produsert flere protoner enn nøytroner, omtrent sju ganger så mange. Dersom nøytronet hadde vært enda $0,1$ % tyngre, ville det ha blitt dannet så få nøytroner at det ikke ville ha blitt et tilstrekkelig antall til å danne atomkjernene til alle de tunge elementene som er nødvendige for liv.

Ekstramassen til nøytronet i forhold til protonet, bestemmer nedbryting av nøytroner til protoner, eller hastigheten hvorved et proton bygges opp til et nøytron. Dersom nøytronet hadde hatt $0,1$ % mindre masse, ville så mange protoner bygges opp til å danne nøytroner at alle stjernene i universet raskt ville bryte sammen til nøytronstjerner eller svarte hull. Konklusjonen blir at dersom det skal være muligheter for liv på jorda, må nøytronmassen være finjustert til bedre enn $0,1$ %.

Det er andre størrelser som også må være finjustert. Man mener at protoner kan brytes ned til mesoner. Når jeg her skriver "mener", skyldes det at nedbrytningen av protoner til mesoner ikke

er observert på grunn av lang nedbrytningstid ($4 \cdot 10^{32}$ år). Men prosessen passer med den øvrige teorien. Dersom protoner nedbrytes langsommere enn antydet ovenfor, ville ikke dagens univers inneholde nok nukleoner til å lage det nødvendige antall galakser, stjerner og planeter. Dette skyldes at den faktoren som bestemmer nedbrytningshastigheten også bestemmer forholdet mellom nukleoner og anti-nukleoner i skapelsesøyeblikket. En mindre nedbrytningshastighet ville derfor medføre at antall nukleoner ville ha nærmet seg antall antinukleoner. Dermed ville for mange nukleoner bli annihilert.

Dersom nedbrytningen av protoner til mesoner hadde gått raskere, ville det bli for mange nukleoner i forhold til antinukleoner. Dessuten ville det bli frigjort så mye energi at det ville ødelegge eller skade liv.

Riktig antall elektroner

Dersom ikke antall elektroner var likt antall protoner innen en nøyaktighet på én del av 10^{37} eller bedre, så ville de elektromagnetiske kreftene i universet overvinne gravitasjonen i en slik grad at galakser, stjerner eller planeter ikke kunne ha blitt dannet. Dette er et så strengt krav til presisjon at vi ikke kan forestille oss det.

Danne riktige atomer

Biologiske molekyler kan ikke dannes dersom det ikke forekommer et tilstrekkelig utvalg av atomer av forskjellig form og størrelse. For at det skal skje, må det foreligge en delikat balanse mellom naturkonstanter som styrer styrken på sterke og svake vekselvirkninger, gravitasjonskraften og grunntilstandsenergien i atomkjernene. Den sterke vekselvirkningen avgjør i hvilken grad protoner og nøytroner bindes sammen i atomkjernene. Dersom denne kraften er for svak, vil ikke protoner og nøytroner kunne holdes sammen, og det ville bare ha vært hydrogen i universet. På den andre siden, dersom den sterke vekselvirkningen var litt sterkere enn det som er observert, ville protoner og nøytroner være så sterkt sammenbundet at ingen av dem ville være frie. I det tilfellet ville det ikke være hydrogen i universet, bare tunge elementer. Livets kjemi er umulig uten hydrogen, og liv ville ikke ha vært mulig om den sterke vekselvirkningen hadde vært 2 % svakere, eller 0,3 % sterkere, enn det vi observerer. Vi ville ikke ha hatt mye kjemi dersom det ikke var store muligheter til å bygge opp en rekke forskjellige stabile strukturer som kan vekselvirke. For at dette skal være mulig, må atomene ha store strukturer med åpent rom mellom atomkjernen og elektronene. For at dette skal være mulig, må både finstrukturkonstanten α ($\alpha = 1/137$) og forholdet mellom elektronmassen og protonmassen ($n_e/m_p = 1/1836$) være små. De små verdiene gjør det mulig å danne lange kjeder av molekyler, som DNA. Men dersom disse konstantene hadde vært for små, ville det ikke være mulig å bygge stabile atomer.

Den svake vekselvirkningen styrer bl.a. radioaktive prosesser. Dersom vekselvirkningen var mye større, ville materien i universet fort bli omdannet til tunge stoffer. Dersom den var mye svakere, ville materien bestå av de letteste elementene. I begge tilfeller ville grunnstoffene som er nødvendige for liv, for eksempel karbon, oksygen, nitrogen og fosfor, enten ikke ha eksistert eller de ville ha forekommet i for små mengder. Dessuten ville det være slik at dersom den svake vekselvirkningen ikke var kritisk balansert, så ville de livsnødvendige elementene som bare produseres i kjernen av superstjerner, aldri slippe ut av kjernen. Supernovaer ville da ikke kunne forekomme.

Styrken på gravitasjonskraften bestemmer temperaturen i kjernene av stjernene. Dersom kraften var større, ville temperaturen i stjernenes indre bli så høy at de ville "brenne opp" for fort til at det kunne produseres livgivende elementer. En planet som skal opprettholde liv, må være knyttet til en stjerne som både er stabil og som "brenner" over lang tid. Dersom gravitasjonskraften var for svak, ville stjernene ikke bli varme nok til at kjernefusjon kunne forekomme, og det ville ikke produseres tyngre elementer enn hydrogen og helium.

Astrofysikeren Fred Hoyle har påvist at grunntilstandsenergien til atomkjernene til helium, beryllium, karbon og oksygen må være justert i forhold til hverandre om livet skal eksistere. C^{12} har et energinivå som bare er litt høyere enn summen av energinivåene til Be^8 og He^4. Uten denne finjusteringen kunne en ikke forvente tilstrekkelig produksjon av karbon. Energinivået til O^{16} har nøyaktig riktig verdi for å hindre at all karbon går over til oksygen, eller til å sikre tilstrekkelig produksjon av O^{16} for liv. Dersom energiene hadde avvik i forhold til hverandre på mer enn 4 %, ville det ikke dannes et univers med tilstrekkelig oksygen eller karbon til at liv skulle kunne eksistere.

De rette molekylene

For at liv skulle kunne oppstå på jorda, måtte mer enn førti forskjellige elementer kunne bindes sammen til molekyler. Molekylære bindinger er avhengige av minst to faktorer, styrken til den elektromagnetiske kraften og forholdet mellom protonmassen og elektronmassen. Dersom den elektromagnetiske kraften hadde vært betydelig sterkere, ville elektronene ha vært så sterkt bundet til atomene at atomer ikke ville kunne "dele" elektroner med andre atomer. (Men dersom denne kraften hadde vært betydelig svakere, ville elektroner ikke kunne ha vært bundet til atomkjerner i det hele tatt, og atomer ville ikke kunne eksistere.) Det er "delingen av elektroner" som binder atomene sammen til molekyler. I dette tilfellet kunne en ikke danne molekyler. Dersom flere enn noen få molekyler skulle dannes, må den elektromagnetiske kraften være svært godt balansert.

Størrelsen og stabiliteten av elektronbanene om atomkjernen er avhengig av forholdet mellom protonmassen og elektronmassen. Derfor må også dette forholdet være kritisk balansert. Dersom det ikke var slik, ville de kjemiske bindingene som er nødvendige for å lage store biologiske molekyler, ikke eksistere.

Stjernemasse

Forskning viser at forholdet mellom den elektromagnetiske kraften og gravitasjonskraften er en svært viktig faktor. Dersom forholdet disse imellom bare økte med én del av 10^{40}, ville bare store stjerner dannes. Dersom forholdet ble redusert tilsvarende, ville bare små stjerner dannes. Både store og små stjerner er nødvendige for å skape livsbetingelser. De store må eksistere, for bare i disse stjernene produseres livsnødvendige elementer. Men de små stjernene, som sola, må og eksistere, for det er de som brenner lenge nok til å opprettholde planeter med livsbetingelser.

Innledningsvis nevnte jeg at de fleste fysikerne mener at naturkonstantene er en del av naturen. Per definisjon beskriver naturlovene fenomener som er i overensstemmelse med regulære mønstre som gjentar seg. En kan ikke utføre observasjoner i naturen der konstantene har andre verdier. De presise verdiene utgjør spesifikke trekk av naturlovene. Derfor synes det høyst usannsynlig at noen lov kan forklare hvorfor naturkonstantene har nøyaktig de verdiene de har. Astrofysikeren Fred Hoyle har sagt at *en fornuftig fortolkning av fakta tilsier at et superintellekt har drevet gjøn med fysikken, som med kjemien og biologien, og at det ikke finnes noen blinde krefter verdt å snakke om i naturen.* I en bok, *"The Emperor's New Mind"* (1989), side 440, stiller oxfordfysikeren Roger Penrose spørsmålet: "Hvor spesiell var Big Bang?" Han svarer at en enkelt parameter - volumet av det opprinnelige faserom – krever en så stor nøyaktighet at "Skaperens hensikt må ha vært nøyaktig innen én del av $10^{10^{123}}$." Penrose hadde en kommentar til dette: *"En kan ikke skrive dette tallet fullt ut ... siden det ville være 1 etterfulgt av 10^{123} påfølgende nuller – flere nuller enn det er nukleoner i universet. Slik er den presisjonen som er nødvendig for å sette universet i dets bane."*

Det antropiske prinsipp

Vi har nå omtalt noen naturkonstanter som må ha verdier innen svært trange intervaller om det skal kunne eksistere liv i universet. Forskningen har avdekket at det finnes minst 35 parametre som må anta svært presist definerte verdier om liv skal eksistere. Fysikerne har laget modeller av den reelle verden i forskjellige skalaer, fra den mikroskopiske verden av subatomære partikler til kosmos. Et slående trekk ved disse modellene er at mennesket selv ikke har noen plass. Dette er ikke overraskende siden de fleste fysikerne anser mennesket, eller mer generelt bevisstheten, som irrelevant for universets funksjonalitet. Mennesket betraktes som passive tilskuere til naturlovene som fungerer over alt og til alle tider. Dette skjer uavhengig av menneskets eksistens.

Noen fysikere har reagert på dette upersonlige verdensbildet. De mener at noen trekk ved den fysiske verden er kritisk avhengig av menneskets tilstedeværelse. Man kan ta for seg universets størrelse: Dersom universet hadde vært mye større, eller mye mindre, ville vi ikke ha vært her for å observere det, sier den amerikanske fysikeren R.H. Dicke. Dessuten passer mennesket på en måte inn i universets struktur. Enkel fysikk viser at innen en størrelsesorden er massen og størrelsen av nesten alle naturlige objekter bestemt av finstrukturkonstantene α og finstrukturkonstanten for gravitasjon, α_G. Alle stjernene har en masse tilnærmet lik α_G^{-1} ganger protonmassen. De største planetenes masse, som Jupiter, er mindre enn dette med en faktor $\alpha_G^{3/2}$. Massen til en typisk galakse er tilnærmet lik $\alpha^4 \cdot \alpha_G^2$ ganger protonmassen, m_p. Selv menneskets masse passer inn i dette bildet. Den er gitt ved

$(\alpha/\alpha_G)^{3/4}$ ganger protonmassen.

Vi har sett at det er mange trekk ved universet som er avgjørende for liv i universet. Noen vil si at det er sterkt avhengig av menneskets bevissthet. Antagelsen om at visse avgjørende trekk ved universet er bestemt av menneskets eksistens, er kjent som *det antropiske prinsipp*. Dette prinsippet sier at det vi kan forvente å kunne observere må være begrenset til nødvendige betingelser for at vi som observatører kan være til stede. Filosofen Sir Francis Bacon uttrykker det slik; "Dersom mennesket ble tatt bort fra verden, ville resten av verden være på villspor, uten mål og hensikt". Det antropiske prinsipp må riktignok betegnes som metafysikk. Det kan ikke falsifiseres slik Popper krever, for at en hypotese skal kunne betegnes som vitenskapelig.

Litteratur

1. Michael J. Denton: *Nature's Destiny.* The Free press, New York (1998)
2. John Leslie, Ed.: *Modern Cosmology & Philosophy.* Prometheus Books, New York (1998)
3. Hugh Ross: *The Creator and the Cosmos.* NAVPRESS, Colorado (2001)
4. Hugh Ross: *The Fingerprint of God.* Whitaker House, New Kensington (1989)

∞

Niels Henrik Abel og partikkelfysikken

Gunnar Løvhøiden *

Nils Henrik Abel levde for 200 år siden. I sitt korte liv (1802–1829) tenkte han tanker som gjør ham til en av de største matematikere som har levet. I dag er det til og med slik at beskrivelsen av den fysiske verden deles opp i abelske og ikke-abelske teorier. Spesielt i den teoretiske partikkelfysikk er Abels navn en stadig følgesvenn i alle viktige avhandlinger. Hvordan kan det ha seg at Abels navn hele tiden påkalles når den moderne partikkelfysikken ikke en gang var "oppfunnet" på hans tid?

Det gis tusenvis av eksempler på dette, men vi nøyer oss her med å vise to artikler på figur 1. Den ene er en berømt publikasjon fra 1973 som ble belønnet med Nobelprisen i 2004, og den andre er av nyere dato.

For å forstå sammenhengen vil vi først ta en tur innom Abels matematikk. Da blir det klart for oss at hans matematikk var så allmenn og så fundamental at man ikke har kunnet komme utenom Abels tenkning i en beskrivelse av fundamental fysikk. Vi

VOLUME 30, NUMBER 26 PHYSICAL REVIEW LETTERS 25 JUNE 1973

Ultraviolet Behavior of Non-Abelian Gauge Theories*

David J. Gross† and Frank Wilczek
Joseph Henry Laboratories, Princeton University, Princeton, New Jersey 08540
(Received 27 April 1973)

It is shown that a wide class of non-Abelian gauge theories have, up to calculable logarithmic corrections, free-field-theory asymptotic behavior. It is suggested that Bjorken scaling may be obtained from strong-interaction dynamics based on non-Abelian gauge symmetry.

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com
SCIENCE DIRECT®

Nuclear Physics B 684 [PM] (2004) 369–383

NUCLEAR PHYSICS B

www.elsevier.com/locate/npe

Homotopy and duality in non-Abelian lattice gauge theory

Romain Attal

Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Énergies, Université Pierre et Marie Curie 4, Place Jussieu, F-75252 Paris cedex 05, France

Received 21 November 2003; received in revised form 13 January 2004; accepted 21 January 2004

Figur 1. Avhandlinger der begrepet "abelsk" står sentralt.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

skal ikke bedrive matematikk, men vi blir nødt til å ta frem noen utrykk og formler der vi leser og identifiserer størrelser som forhåpentligvis vil overbevise oss om den dype sammenheng som finnes mellom partikkelfysikk og den abelske matematikk. Vi må også diskutere noen elementer i teorien for elementærpartiklenes fysikk.

Abels matematikk

I min gymnastid for 40 år siden, lærte vi at "faktorenes orden er likegyldig". Dette ble eksemplifisert ved at for eksempel $2 \times 3 = 3 \times 2$, eller mer allment at $a \times b = b \times a$. Denne loven blir kalt den kommutative lov og har hatt høy status i den matematiske verden. Den store franske matematiker Augustin Louis Cauchy (1789–1857) sa at "dersom a og b er hele tall, så er $ab = ba$. Derfor er ab identisk med ba samme hva a og b står for og samme hva operasjonen er som forbinder dem."

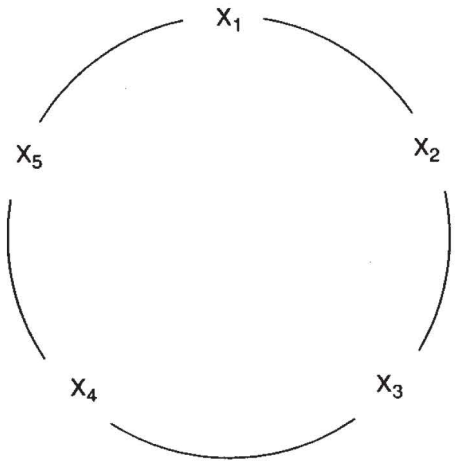
Abel var den første som knyttet kommutativitet til løsbarhet av ligninger. Dette nevnes i et brev til August Crelle i Berlin, skrevet i 1828. Her skriver han: "Løsningen av disse ligningene er grunnlagt på visse relasjoner mellom røttene. Jeg har prøvd å generalisere metoden ved å anta at to røtter i en gitt ligning er forbundet slik at man kan uttrykke ved hjelp av en rasjonal funksjon, den ene roten som en funksjon av den andre."

Abel gir relasjonen mellom røttene en enkel form. Han kaller den første roten x_1, antar videre at den neste roten kan skrives som $x_2 = f(x_1)$, der $f(x_1)$ er en rasjonal funksjon av x_1. (En rasjonal funksjon er en funksjon som lar seg uttrykke ved hele tall eller brøker.) Abel antar videre at den neste roten er samme funksjon av den forrige roten, $x_3 = f(x_2) = f(f(x_1)) = f^2(x_1)$, som betyr at den samme funksjonen er anvendt to ganger. Han fortsetter så å anvende funksjonen f på de etter hverandre følgende røtter, og får denne rekken av røtter:

$$x_1, f(x_1), f^2(x_1), f^3(x_1), ..., f^{n-1}(x_1)$$

der n er ligningens grad. For femtegradsligningen, $n = 5$, er $x_6 = f^5(x_1) = x_1$ siden ligningen bare kan ha 5 røtter. Disse kan arrangeres i en sirkel som vist i figur 2. Dette viser en syklisk symmetri av røttene i slike løsbare "abelske ligninger", som er navnet de er kjent under. Abels store oppdagelse er at i disse løsbare ligningene er to vilkårlige røtter forbundet ved hjelp av en rasjonal funksjon. Slik er alle røttene forbundet med rasjonale funksjoner.

Det er ytterligere én avgjørende betingelse. Hvis x er en rot i en slik ligning og to andre røtter er gitt ved $f(x)$ og $g(x)$, som er to rasjonale funksjoner av x, så konkluderer Abel med at ligningen alltid er løsbar dersom $g(f(x)) = f(g(x))$. Det vil si at rekkefølgen som funksjonene blir brukt i ikke spiller noen rolle. Omvendt er ligningen vanligvis ikke løsbar dersom rekkefølgen spiller en rolle. Inntil Abel oppdaget dette hadde alle grunnleggende aritmetriske og algebraiske operasjoner vært antatt å være kommutative. Abels oppdagelse forbinder løsbarhet med kommutativitet og åpner dermed hele den viktige matematiske diskusjonen om kommutativitet. Dette var første gang at tanken om at matematiske operasjoner muligvis kunne være ikke-kommutative, ble fremsatt.



Figur 2. Syklisk ordning av røttene i en femtegradsligning.

Oppdagelsen av at rekkefølgen av matematiske operasjoner kan spille en viktig rolle, er en fundamental oppdagelse med rekkevidde langt ut over matematikken og med viktige anvendelser i den moderne teoretiske fysikk. Abel organiserte røttene i sine ligninger i et syklisk mønster. I slike tilfeller er relasjonene mellom røttene kommutative fordi det ikke spiller noen rolle hvilken vei vi går rundt sirkelen. Abel understreker at denne kommutative symmetri er et grunnleggende mønster. Likevel er denne innsikt bare begynnelsen, for det forklares ikke hvordan man kan bestemme hvorvidt mønsteret for en gitt ligning er syklisk eller ikke-syklisk.

Abel har nok sett at mye arbeid gjensto. Hans brev i 1828 røper ikke hvordan han ville behandle spørsmålet om kommutativitet videre, og hans livsløp endte den 6. april 1829. Hans etterfølgere utvidet og belyste den subtile forbindelse mellom kommutativitet og ligningers løsbarhet, men Abels navn lyser over dem alle og er blitt nesten syno-

nymt med begrepet kommutativitet i alle teoretiske beskrivelser av naturen. Den mest kjente av hans etterfølgere er en annen stor matematiker, Evariste Galois (1811- -1832), som døde tragisk i en duell bare 21 år gammel. Galois ga kanskje de viktigste bidragene til det store arbeidet som generaliserte Abels geniale første innsikt til en komplett forståelse av ligningers løsbarhet.

Fysikk – beskrivelse av naturen

Spørsmålet om orden og rekkefølge av operasjoner er avgjørende i moderne fysikk, og kan knyttes opp mot reversibilitet av naturlige prosesser. Termodynamikkens annen hovedsetning uttaler at naturlige prosesser er irreversible. Varme strømmer fra varme til kalde legemer, og ikke omvendt, med mindre man utfører arbeid og også produserer varme til resten av universet. Etter hvert som kvanteteorien fant sin form avslørte den ikke-kommutativiteten i sitt indre. Paul Dirac viste at fysiske størrelser, ikledd algebra, ikke kommuterte. Han viste i sin berømte ligning, at en partikkels posisjon q og bevegelsesmengde p tatt som operatorer ikke kommuterer, men beskrives av relasjonen $pq - qp = ih/2\pi$, der h er Plancks konstant og i er den imaginære enhet. Siden størrelsen h er ørliten ($h = 6,6 \times 10^{-34}$ Js), vil ikke-kommutativiteten vise seg bare på den atomære skalaen.

Vi vil så ta for oss den teoretiske beskrivelsen av fysiske systemer. Blant alle størrelser har virknings integralet kanskje den mest sentrale plass i fysikken. Det betegnes med symbolet S, og er definert som

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(x)dx$$

der Lagrange-funksjonen L er gitt ved

$$L = T - U$$

og T og U er systemets kinetiske og potensielle energi. Ved hjelp av virkningsintegralet kan vi formulere en fundamental lov om den minste virkning hvis klassiske formulering fastslår at virkelige prosesser i naturen er ekstremale. Dette beskrives matematisk ved at variasjonen i virkningsintegralet er lik null,

$$\delta S = 0$$

Dette kalles *variasjonsprinsippet* og ble innført i fysikken av Fermat i 1662. Prinsippet er et matematisk uttrykk for at "naturen følger den letteste og korteste vei". Variasjonsprinsippet ble videreutviklet av store fysikere og matematikere som Maupertuis, Euler, Lagrange og Hamilton. I lang tid ble virkningsprinsippet bare sett på som et vedheng til Newtons lover. Den universelle rolle som virkningen egentlig besitter, ble klar først med arbeidene av Helmholtz, Planck og Noether. Konserveringslovene i fysikken, for eksempel konservering av energi, bevegelsesmengde og spinn, følger av invariansen av virkningen under spesielle matematiske transformasjoner.

Men den søteste rosinen i virkningspølsen ligger ikke i konserveringslovene, men i det faktum at virkningen inneholder beskrivelsen av all dynamikk i vekselvirkningen mellom partikler og kraftfelter. Minste-virkningsprinsippet anvendt på S og L gir partiklenes bevegelsesligninger. Derfor er det å finne en teori for elementærpartiklene det samme som å finne den fundamentale Lagrange-funksjon som beskriver den partikkelfysiske verden, og løse bevegelsesligningene som følger av denne. Vi skal diskutere hvilke felter og partikler som inneholdes i den fundamentale Lagrange-funksjonen. Og spesielt skal vi se at vi finner igjen Abels finger i diskusjonen om feltenes kommutativitet.

Den elektromagnetiske vekselvirkningen er vekselvirkningen mellom det elektriske feltet og elektriske ladninger. Dette er den best studerte vekselvirkningen i naturen, og er grunnlaget for nesten alle prosesser og fenomener vi har rundt oss i den fysiske, kjemiske og biologiske natur. *Kvanteelektrodynamikken* (på engelsk: Quantum Electro Dynamics (QED)) er teorien som beskriver disse vekselvirkninger mellom ladning og felter.

Fra et teoretisk ståsted kan betydningen av kvanteelektrodynamikken (QED) knapt overvurderes. Det er det enkleste og best studerte kapittel i kvantemekanikkens store bok. Den tjener derfor også som modell for konstruksjonen av de mer kompliserte teorier for sterk og svak kjernekraft, og universelle teorier som tar mål av seg til å beskrive hele verdensaltet i en stor enhetlig teori.

Grunnlaget til QED ble lagt av Dirac i slutten av 1920-årene, og videreutviklet av Feynmann, Schwinger, Tomonaga, Dyson og andre i 1940- og 50-årene. QED introduserte den første antipartikkelen, positronet, som er et "positivt elektron". Det var innenfor rammen av QED at fysikere først forsto at partikler og krefter er åpenbaringer av mer kompliserte og fundamentale størrelser, nemlig kvantefelter, som er beskrevet av matematiske operatorer. For eksempel vil operatoren $A_\mu(x)$

skape eller oppsluke et kvant av det elektromagnetiske feltet i punktet x. Operatoren $\psi(x)$ skaper et positron eller annihilerer et elektron i punktet x, mens den konjugerte operatoren $\overline{\psi}(x)$ skaper et elektron eller annihilerer et positron. Lagrange-funksjonen for QED inneholder disse operatorene i en vakker matematisk ramme,

$$L(x) = \overline{\psi}(x)[(i\frac{\partial}{\partial x_\mu} + eA_\mu)\gamma_\mu - m]\psi(x) - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}(x)F_{\mu\nu}(x)$$

der

$$F_{\mu\nu}(x) = \frac{\partial A_\nu}{\partial x_\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu}$$

er operatoren for den elektromagnetiske feltstyrken, e er den elektriske ladningen, størrelsen m er elektronmassen og γ_μ er de fire Dirac-matrisene. Den første og tredje termen beskriver bevegelsen av elektroner og positroner, den siste termen beskriver fotonenes bevegelser, mens termen $\overline{\psi}A\psi$ beskriver vekselvirkningene mellom fotonene og e^+og e^-.

Teorien for vekselvirkningene mellom gluoner og kvarker kalles *kvantekromodynamikken* (på engelsk: Quantum Chromo Dynamics (QCD)). Lagrange-funksjonene for QCD ligner mye på Lagrange-funksjonen for QED, men kompliseres ved at det er tre forskjellige fargeladninger i QCD, mens det bare er én elektrisk ladning i QED. Ytterligere komplisert blir det ved at kraftformidlerne i QCD, gluonene, vekselvirker seg imellom, mens fotonene, som er kraftformidlerne i QED, ikke vekselvirker med hverandre. I Lagrange-funksjonen for QCD blir den elektriske ladningen e erstattet av den sterke koblingskonstanten g. I QCD blir vektorpotensialet A_μ i Lagrange-funksjonen en matrise i fargerommet, i motsetning til QED der A_μ bare er et tall. Vi skriver vektorpotensialet som

$$A_\mu = A^i_\mu \lambda_i/2,\ i = 1, 2, ..., 8$$

Her er A^i_μ vektorpotensialene for åtte gluonfelter, og λ^i er åtte Gell-Mann matriser. Lagrange-funksjonen for QCD blir da

$$L(x) = \overline{\psi}(x)[(i\frac{\partial}{\partial x_\mu} + gA_\mu)\gamma_\mu - m]\psi(x) - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}(x)F_{\mu\nu}(x)$$

hvor den elektriske ladningen e er erstattet med fargeladningen g. Dessuten er den siste termen som beskriver vekselvirkningen mellom gluonene mer kompleks i QCD enn i QED:

$$F_{\mu\nu}(x) = \frac{\partial A_\nu}{\partial x_\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu} - ig[A_\mu A_\nu - A_\nu A_\mu]$$

I QED er A_μ bare et tall, og kommutatoren $[A_\mu A_\nu - A_\nu A_\mu]$ blir lik null. Men for ikke-abelske gluonfelter er størrelsene A_μ matriser, og da blir denne kommutatoren ikke lik null. Fordi disse størrelsene ikke kommuterer, blir QCD-teorien som beskriver elementærpartiklenes verden en ikke-abelsk teori.

Sluttord

Modellene som beskriver den fysiske verden kan deles i abelske og ikke-abelske teorier, og QED og QCD er gode eksempler på slike teorier. Av ovenstående kan vi få det inntrykk at abelske teorier er de mest vanlige og kanskje naturlige, og at ikke-abelsk teori er mer eksotisk og uvanlig. Dette er kanskje fordi QED beskriver fenomener som vi er mer fortrolige med og som er av mer dagligdags natur. Imidlertid må vi huske at overalt, dypt i atomkjernenes indre, huserer kvarker og gluoner beskrevet av ikke-abelsk teori. Av energimessige grunner observerer vi dem ikke, men fenomenene her er likeså vanlige som dem som det menneskelige øye kan oppfatte.

Ved nærmere ettertanke, basert på våre menneskelige dagligdagse erfaringer, er det kanskje ikke så merkelig at naturen beskrives med ikke-abelske, eller ikke-kommutative, teorier. Vår erfaring på den menneskelige arena lærer oss at en handling, når den er utført, ofte ikke kan gjøres ugjort. Basert på våre andre daglige erfaringer med kausalitet, burde vi kanskje heller ha blitt forbauset over at kommutativitet spiller en så stor rolle i modellene. Litt primitivt sagt betyr kausalitet at en virkning følger etter en annen, og at det etter en årsak–virkningkjede produseres et observerbart resultat. I den abelske verden skulle det da ikke spille noen rolle i hvilken rekkefølge påvirkningene kommer, mens i den ikke-abelske verden er rekkefølgen avgjørende. Ser vi slik på det, venter vi oss kanskje at de aller fleste fysikkteorier burde være ikke-abelske fordi vi daglig erfarer at det ofte er av avgjørende betydning i hvilken rekkefølge påvirkningene kommer.

Litteratur

1. Peter Pesic: *Abel's Proof – An Essay on the Sources and Meaning of Mathematical Unsolvability.* The MIT press, Cambridge, Mass., London, England (2003)
2. L.B. Okun: *Particle Physics – The Quest for the Substance of Substance.* Harwood Academic Publishers, Chur – London – Paris – New York (1985)

∞

Nye Doktorer

Signe Danielsen

Cant.scient. Signe Danielsen forsvarte 19. november 2004 sin avhandling *Chitosan mediated DNA condensation as a basis for gene delivery: Influence of polyelectrolyte molecular parameters on the condensation behavior,* for dr.scient.-graden ved NTNU.

Kompaktering av DNA har interesse ved transport av gener frem til celler for genterapi. Som et alternativ til virus har polykationbaserte genleveringssystemer vært gjenstand for økt interesse. Signe Danielsen har studert polykationet kitosans evne til å kompaktere DNA.

Kitosan er en biologisk nedbrytbar polymer, fremstilt av det naturlig forekommende polysakkaridet kitin. Ved å bruke atomært kraftmikroskop har Danielsen studert strukturene som dannes når DNA komplekseres med kitosan. Hun har funnet at både struktur og stabilitet til kompleksene avhenger av molekylære parametre til kitosanene (ladningstetthet og kjedelengde). I tillegg har hun funnet at egenskapene til løsningen (pH, ionestyrke og temperatur) der komplekseringen finner sted, er viktige parametre å kontrollere. Dette arbeidet vil bidra til forståelse av hvordan ulike parametre påvirker effektiviteten til polykationbaserte genleveringssystemer, slik at mer sofistikerte systemer kan utvikles.

Doktorarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Bjørn T. Stokke som hovedveileder og professor Catharina de Lange Davies som medveileder. Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd og Institutt for fysikk, NTNU. Signe Danielsen er nå ansatt som fysiker ved St.Olavs Hospital i Trondheim.

∞

Jesper Friis

Siv.ing. Jesper Friis forsvarte 18. desember 2003 avhandlingen *Quantitative Convergent Beam Electron Diffraction and Charge Density Studies* for graden dr.ing. ved NTNU.

Type og styrke på kjemiske bindinger i krystaller er i høy grad bestemt av fordelingen på valenselektronene. Eksperimentelle studier av valenselektronenes fordeling er derfor interessant, men krever veldig høy nøyaktighet. Tradisjonelt gjøres slike målinger med røntgendiffraksjon og synkrotronstråling. Men for enkle krystaller, ofte viktige i halvlederindustrien, er det vanskelig å oppnå tilstrekkelig presisjon med røntgen. Det er derimot mulig med såkalt konvergentstråle-elektrondiffraksjon hvor strålen i et elektronmikroskop blir fokusert til et veldig lite område på prøven. På denne måten er det mulig å finne perfekte krystallinske områder på prøven, som gir opphav til diffraksjonsbilder som kan sammenlignes med teoretiske simuleringer. Fordelingen av valenselektronene kan da bestemmes ved å finjustere ulike parametere i den teoretiske modellen inntil de simulerte intensitetene i diffraksjonsbildet stemmer overens med de eksperimentelle.

I dette arbeidet har konvergentstrålediffraksjon og teoretiske beregninger vært benyttet til å studere ladningsfordeling og bindingsforhold i kopper (Cu), magnesium (Mg) og strontiumtitanat ($SrTiO_3$). De eksperimentelle resultatene er blitt sammenlignet med teoretiske beregninger basert på "density functional theory" (DFT), og har muliggjort tester av ulike DFT funksjonaler og "self interaction"-korreksjoner brukt i DFT beregninger.

Professor Randi Holmestad var veileder for prosjektet som var støttet av Norges forskningsråd. Friis er nå post.doc. på Institutt for materialteknologi ved NTNU.

∞

Nils Erland L. Haugen

Cand.scient. Nils Erland Leinebø Haugen forsvarte 29. november 2004 avhandlingen *Energy spectra and scaling relations in numerical turbulence with laboratory and astrophysical applications* for dr.scient.-graden ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

I avhandlingen er det studert hvordan bevegelsesenergi fordeler seg på de forskjellige størrelsesskalaene i en turbulent gass, både for nøytrale og ioniserte gasser. Den magnetiske energifordelingen er svært viktig når det gjelder hvordan "masseoverføringsskiven" som skaper deler av en stjerne – i tillegg til eventuelle planeter – fungerer.

Haugen har også studert hvordan en får såkalt dynamoaktivitet i en ionisert gass, hva slags magnetfelt denne dynamoaktiviteten genererer, og hva den magnetiske energifordelingen er.

Nils Erland L. Haugen tok cand.scient.-eksamen i ved Institutt for fysikk, NTNU, i 1999. Doktorgradsarbeidet er utført ved Institutt ved fysikk, NTNU, med professor Axel Brandenburg ved Nordita som hovedveileder.

∞

Harald Krüger

Cand.scient. Harald Krüger disputerte 14. oktober 2004 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen *Estimating the Permeability Using Adaptive Multiscale Estimation.*

Beskrivelse av egenskapene til et petroleumreservoar er viktig for planlegging og optimalisering av petroleumsutvinningen. Avhandlingen har tatt for seg bruk av produksjonsdata som informasjonskilde for å beskrive reservoarbergartens egenskaper med hensyn til væskestrømning. Metoden som er brukt til å estimere reservoaregenskapene fra produksjonsdataene lar detaljnivået i de estimerte reservoaregenskapene bli bestemt av informasjonen i produksjonsdataene. Informasjon fra flere ulike typer produksjonsdata, som for eksempel brønntrykk og oljerate, er brukt for å oppnå best mulig detaljnivå i estimatene. Avhandlingen viser at selv om detaljnivået i estimatene kan økes noe ved å introdusere flere datatyper, så er slik bruk av ulike datatyper vanskelig og ikke alltid vellykket. Hvorvidt det lønner seg å sammenholde flere datatyper er avhengig av hvilke datatyper som eventuelt kombineres.

Harald Krüger ble cand.scient. ved Universitetet i Bergen i 2000, og ble deretter ansatt som stipendiat ved Fysisk institutt. Han har vært tilknyttet prosjektet "Forward and inverse modelling of tracer flow in hydrocarbon reservoirs", finansiert gjennom Norges forskningsråd. Veiledere har vært professor II Jan-Erik Nordtvedt, professor Kristofer Kolltveit og førsteamanuensis Jan R. Lien. Krüger arbeider nå hos Norsk Hydro i Bergen.

∞

Gjertrud Maurstad

Siv.ing. Gjertrud Maurstad forsvarte 22. oktober 2004 sin avhandling *Polyelectrolyte complexes and multilayers assembled from biopolymers: Electrostatically driven formation of mesoscale structures,* for graden dr.ing. ved NTNU.

Strukturene som dannes når motsatt ladete polymerer vekselvirker, er tema i doktoravhandlingen, og strukturene er avbildet ved bruk av et såkalt atomært kraftmikroskop.

Vekselvirkningen har funnet sted både i fortynnet løsning (dannelse av polyelektrolytt komplekser) og ved oppbygging av alternerende lag på en overflate (polyelektrolytt multilag). For å undersøke betydningen av kjedestivhet, har Maurstad benyttet ulike polymerer i begge systemene. Komplekser og multilag dannet med samme polymerer er sammenlignet for å belyse de generelle aspekter ved interaksjonsmekanismen. Både komplekser og multilag har anvendelser innen flere områder, for eksempel kompaktering av DNA for genterapi, og det er derfor viktig å forstå bedre hvilke faktorer som påvirker strukturene som dannes.

Arbeidet vil bidra til en økt forståelse av hvilke faktorer som er viktige ved dannelsen av polyelektrolyttkomplekser og multilag. I fremtiden ser en for seg en rekke anvendelser av slike systemer, og en økt forståelse av parametervalg vil da bidra til en bedre skreddersydd design av systemene for de ulike bruksområdene.

Doktorarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Bjørn T. Stokke som veileder. Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd og Institutt for fysikk, NTNU.

∞

Stine Nalum Næss

Siv.ing. Stine Nalum Næss forsvarte 15. juni 2004 avhandlinga *Nanoparticles in dilute solution: Theory and experiments* for dr.ing.-graden ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Avhandlinga omhandler utvikling og implementering av en ny og mer presis brownsk dynamikkteori av nanopartikler i løsning. Nanopartiklene blir modellert som ikke-sfæriske subenheter lenket sammen i en kjede ved hjelp av fjærpotensialer eller stive føringer. Løsningsmiddelet, f.eks. vann, blir modellert som et kontinuum. Lengdeskalaen og tidskalaen i slike brownske dynamikksimuleringer er, henholdsvis, nanometer og nanosekund. En viktig del av avhandlinga fokuserer på de generaliserte koordinatene som beskriver orienteringa til nanopartikkelen. Ved å velge kartesiske rotasjonsvektorer som generaliserte koordinater istedenfor de tradisjonelle eulervinklene, blir de brownske dynamikkalgoritmene mer effektive. De teoretiske framskrittene gjør det mulig å gi en bedre tolkning av eksperimentelle data.

Næss har også utført eksperimentelle målinger på nanopartikler i løsning. Ved å måle statisk og dynamisk lysspredning fra kitin løst i lut, er molekylære egenskaper som hydrodynamisk radius, treghetsradius, molekylvekt, 2. virialkoeffisient og konformasjon bestemt. Hun har også studert aggregatdannelsen til ulike vannløselige karotenoider ved hjelp av dynamisk lysspredning.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Arnljot Elgsæter som hovedveileder og professor Arne Mikkelsen som medveileder. Stine Nalum Næss ble ansatt som NFR-stipendiat ved NTNU i 2000. Hun er nå ansatt som post.doc. ved Institutt for fysikk, NTNU.

∞

Trim i FFV

FFVT 1/05

Potetkoking. Vi har to timeglass; det ene bruker 14 minutter på å tømme seg, og det andre 22 minutter. Hvordan kan vi på hurtigste måte koke en potet i 30 minutter?

Løsning FFVT 4/04

Gullkjedet. Fire deler av et gullkjede, hver med tre ledd, skulle skjøtes sammen ved bare å åpne tre ledd. Dette kan gjøres ved at alle de tre leddene i en av kjedebitene brukes som skjøteledd.

Gassballong i bil. Lufta utenfor ballongen har større treghet enn den lettere gassen i ballongen. Ved akselerasjon forover vil den tyngre lufta pakkes tettere sammen bakerst i bilen og forskyve ballongen forover. På samme måten vil ballongen forskyves mot innersvingen når bilen svinger.

Dette prinsippet brukes i sentrifugalseparatorer til å skille tunge og lette stoff i en blanding.

Tilsvarende prinsipp brukes også i miniatyriserte akselerasjonssensorer. Der varmer en opp en liten del av en innestengt gassmengde som da blir lettere enn resten av gassen. Ved akselersjon vil den varme gassen bevege seg i samme retning som akselerasjonen, sett i forhold til resten av gassen. Ved å måle temperaturen flere steder i gassen kan akselerasjonen bestemmes. En nærmere forklaring med bilder og animasjon, finnes på Internett: *www.memsic.com*

Genserproblemet. Skrift på forsiden av genseren vil fortsatt være på brystet etter at genseren er snudd som forklart i FFV 4/04.

∞

Nytt fra NFS

Fysikarmøtet 2005

Fysikarmøtet 2005 vert halde på Brakanes hotell, Ulvik i Hardanger, 11. til 14. august. I høve Fysikkåret 2005 og 100-årsjubileet for Einsteins "mirakuløse år", vil *Einstein* stå sentralt. Eit anna hovudtema vil vera *energi.*

Som opptakt til Fysikarmøtet vert det onsdag 10. august arrangert ei Birkeland-markering av Verdsåret for fysikk i Håkonshallen i Bergen, med m.a. verdspremiere på eit teaterstykke om Einstein, og ei rekkje foredrag med energi i fokus. Det vert felles båttransport frå Bergen til Brakanes hotell.

Faglege høgdepunkt under Fysikarmøtet:

- Statsråd Kristin Clemet:
  Satsing på fysikk i skole og forskning.
  (Statsråden deltek også i paneldebatt.)
- Cecilia Jarlskog, Lunds universitet:
  How did Einstein get the Nobel Prize?
- Clifford Will, Univ. of Washington:
  Was Einstein right?
- Rocky Kolb, Fermilab, University of Chicago:
  Dark Matter, Dark Energy, and Inflation.
- Jean-Pierre Revol, CERN:
  Global energy needs in the 21st century.
- Philip Scott, University of Leeds:
  Why can physics be difficult to learn?

Sosialt / kulturelt:

- "Blåtur"
- Uroppføring av Edvin Østergaard sin Einstein-inspirerte komposisjon.
  Musikarar: Fliflet/Hamre m.fl.
- Omvising ved Sima kraftverk
- Tur til Kjeåsen fjellgard

Meir om Fysikarmøtet 2005 og program for arrangementet i Håkonshallen finn ein på Internett: *www.ift.uib.no/fymo05*

For arrangementskomiteen
Grete Kvamme Ersland
(sekretær)
Institutt for fysikk og teknologi, UiB
(Grete.Ersland@ift.uib.no)

∞

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk

Norsk Hydro ASA vil i 2005 gi 25 000 kr til en fagpris i fysikk som skal deles ut 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.

Simrad Optronics pris i elektro-optikk

Simrad Optronics A/S vil i 2005 gi 15 000 kr til en fagpris i elektro-optikk.

Prisen kan gis til én eller flere norske forskere som har sitt arbeidssted i tilknytning til norske institusjoner. Prisen gis for forskningsarbeid av høy faglig kvalitet innenfor elektro-optikk eller innenfor et fagområde der elektro-optiske metoder er anvendt. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodeses. Arbeidet bør være av nyere dato, fortrinnsvis innenfor de fem siste år.

Undervisningsprisen

Norsk Fysisk Selskap, men støtte fra Aschehoug, Cappelens Forlag, NKI-forlaget, Norsk Undervisningsforbund og Statoil, vil i 2005 dele ut en Undervisningspris på 15 000 kr.

Prisen deles ut til én eller flere som underviser i grunnskolen eller videregående skole. Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet.

For mer informasjon om prisene, se Internett *http://www.norskfysikk.no/nfs/priser/priser.h tm*

Begrunnede forslag til kandidater kan sendes Norsk Fysisk Selskap, Institutt for fysikk, NTNU, Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim, innen 15. april.

∞

Fysikkåret 2005 er i full gang

Vi er kommet godt ut i året 2005, og flere fysikkårsarrangement er gått av stabelen. Det internasjonale fysikkår ble offisielt åpnet med konferansen "Physics for Tomorrow", som ble avholdt i UNESCO-hovedkvarteret i Paris, 13–15. januar. En rekke nobelprisvinnere i fysikk var invitert til å holde foredrag på konferansen, som dekket fysikk i sin fulle bredde. Deltagere kom fra hele verden, og det var spesielt lagt vekt på stor detagelse fra ungdom og studenter. En ekstra fin ramme rundt dette arrangementet var bildene fra "Huygens" ferd gjennom atmosfæren til Titan, som ble presentert av ESAs sjefsforsker.

Den offisielle åpningen av Fysikkåret i Norge ble arrangert som en del av Realfagskonferansen 2005 i Tromsø, 23–25. januar. Åpningssermonien besto av oppsending av selvlagde, fargeglade varmluftsballonger av papir ved 5. klassinger fra Tromsdalen skole, en verdig startmarkering av Det internasjonale fysikkåret. Forøvrig inkluderte fysikkårsmarkeringen ved realfagskonferansen et Birkeland-arrangement med foredrag knyttet til fysikk og moderne næringsutvikling og rom- og polarforsking i Nord-Norge.

Etter en litt forsinket start på grunn av mediedekningen av naturkatastrofen i Sørøst-Asia i romjula, er nå Einsteins hjørne å finne i Dagbladet hver dag. Oppgavene gjengis i etterkant på nettstedet for Fysikkåret, *www.fysikk2005.no.* Starten på Fysikkåret lover bra for synligheten av fysikk i 2005. En stor takk til alle som har bidratt så langt i arrangementer og i medier.

Anne Borg

∞

Nye medlemmer 25. januar 2005

Christian Andre Andresen
Institutt for fysikk, NTNU, Høgskoleringen 5,
7491 Trondheim

Patrick Blomquist
IMT, UMB, PB 5003, 1432 Ås

Finn Hanisch
Mæbø, 4780 Brekkestø

Henning Frydenlund Hansen
Institutt for fysikk, NTNU, Høgskoleringen 5,
7491 Trondheim

Are R. Raklev
Institutt for fysikk, UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Hans Magne Ådland
Hans Øverlandsvei 39B, 1363 Høvik

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

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

Styremedlemmer:
Professor Gaute Einevoll
Inst. for matem. realfag og teknologi, NLH.
Professor Ruth Esser
Inst. for fysikk, UiTø.
Professor Jon Otto Fossum
Inst. for fysikk, NTNU.
Professor Ulf Kristiansen
Inst. for elektronikk og telekom., NTNU.
Førsteaman. Jon Samseth
Høgskolen i Akershus.
Professor Jan S. Vaagen
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
Lektor Eimund Aamot
Levanger vgs.

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

Fra Fysikkens Verden

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

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

Redaksjonskomité:
Førsteaman. Åshild Fredriksen
Inst. for fysikk, UiTø.
Professor Per Osland
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU.
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk inst., UiO.

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

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