Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2007
69. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Olav Steinsvoll:
Nøytronkilder før og nå 40
Leif Halbo:
Mål og vekt i Norge – I 46
Ingolf Kanestrøm:
Globale klimaendringer 50
Silje Rødseth og Berit Bungum:
Hvem er fysikkstudenten? 54
Jan Pålsgård og Christian Callin:
Begrepet arbeid i skolefysikken . . 57
Fra Redaktørene 38
FFV Gratulerer 38
Kolbjørn Adolfsen
In Memoriam. 39
Hartmut Pilkuhn
Fysikk i skolen 60
Ikke skyt på pianisten!
Hva skjer? 60
Fysikkolympiaden 2007
Kommentar 61
Relativitetsteorien og GPS
Bokkronikk 63
Greene: The Fabric of the Cosmos
Bokomtaler 69
Plebański og Krasiński: Cosmology
Wyller: Tid og rom
Nye Doktorer. 72
PhD Jan Kenneth Bekkeng
PhD Magnus Willum Haakestad
Dr.ing. Steinar Kragset
PhD Roman Shchelushkin
PhD Stein Olav Skrøvseth
Trim i FFV 74
Nytt fra NFS 75
Årsmøtet i NFS 2007
Nye medlemmer

Skålvekt i bronse fra eldre jernalder, funnet i grav på Ringerike
@ Kulturhistorisk museum, UiO
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Det er to åpenbare årsaker til den nyvakte interesse for energiressurser: Man nærmer seg den globale "Hubbert peak" som indikerer en nedgang i de tilgjengelige oljeressurser, og man observerer begynnende klimaforandringer pga. fossilt CO_2–utslipp. Utvalget av alternative ikke–fossile energiressurser er begrenset. For at en potensiell ressurs skal kunne defineres som en energiressurs, må den tilfredstille et enkelt, men grunnleggende krav: "Energitilbakebetalingstiden" må være vesentlig kortere enn ressursens levetid. Hvis tidene er like lange, er det intet å hente. En energiressurs må produsere "netto energi", dvs. energi inn $\ll$ energi ut. Et fullstendig regnskap for "inngangsenergien" må omfatte energi til bygging av fabrikker, demninger, transport, utvinning og bearbeiding av råmaterialer, samt jevnlig energitilførsel. Pris pr. enhet energi reflekterer i stor grad ressursens inngangsenergi. Jo høyere andel netto-energi, dess lavere pris. En potensiell energiressurs kan være energi–negativ og følgelig en ikke-ressurs. Men med en gunstig teknisk/vitenskapelige utvikling, kan den bli energi–positiv og dermed kvalifisere som en reell energiressurs. To aktuelle eksempler på alternative energiressurser kan illustrere dette.

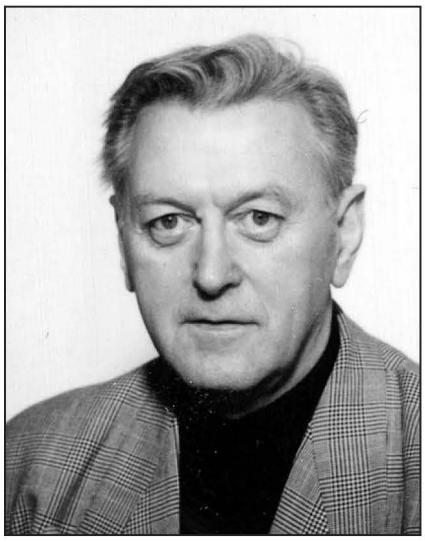
Fotovoltaiske solpaneler har i løpet av de siste tiår gjennomgått en utvikling slik at energitilbakebetalinstiden nå er av størrelsesorden 1/10 av levetiden. Energiprisen er fortsatt høy, og installasjon og bruk er derfor avhengig av subsidier.

Biobrensel har fått mye oppmerksomhet, særlig fordi det åpenbart er et politisk ønske om å blande bio-ethanol i bensin og derved bidra til å redusere netto utslipp av CO_2. I USA, som er den største produsent av dette brensel, er det en til dels aggressiv debatt om biobrensel er energi–positiv, eller rett og slett energi–negativ. Som energiressurs med mulighet for å redusere utslipp av CO_2 er bio-brensel i beste fall marginal. For USA, som forlengst har passert sin "Hubbert peak", er det imidlertid et hovedpoeng å redusere behovet for oljeimport ved å konvertere kull/gass til drivstoff for biler. Vi har vanskelig for å se den gunstige effekt av å benytte et drivstoff hvor CO_2–utslippet allerede har skjedd før bilen har startet.

∞

FFV Gratulerer

Kolbjørn Adolfsen 70 år



Tidligere administrerende direktør ved Andøya Rakettskytefelt Kolbjørn Adolfsen fylte 70 år den 26. mai. Han har gjennom sitt mangeårige virke på Andøya Rakettskytefelt gjort en stor innsats for norsk romforskning. Andøya Rakettskytefelt (ARS) ble opp rettet i 1962, og den første forskningsraketten, Ferdinand 1, ble skutt opp i ionosfæren den 18. august samme år. I dag kan skytefeltet se tilbake på mer enn 900 rakettoppskytninger og slipp av 500 vitenskapelige ballonger. Disse plattformene har brakt et meget stort antall vitenskapelige instrumenter opp i en del av jordens atmosfære som ellers er vanskelig tilgjengelig for eksperimentelle studier. Oksebåsen ved Andenes ble valgt som et særlig gunstig sted for utforskning av nordlyset og den øvre polare atmosfære ved hjelp av sonderaketter.

Kolbjørn ble ansatt som elektroingeniør i 1964 og har fulgt utviklingen av skytefeltet gjennom mer enn 40 år. Han ble stasjonssjef i 1989 og var administrerende direktør fra 1997 til han ble pensjonist i 2005.

Andøya Rakettskytefelt er ikke en forskningsinstitusjon, men har forskerne som sine kunder. Skytefeltets filosofi er, og har alltid vært, å legge forholdene til rette slik at kundene kan oppnå maksimalt vitenskapelig utbytte av sine eksperimenter. Kolbjørn har, i sine år som leder, vært den fremste eksponent for denne filosofien. Vi som har vært brukere av ARS' tjenester vet at han har

pågangsmot og visjoner. Han har ledet en entusiastisk stab som ikke så problemer, men kun utfordringer i arbeidet med å tilfredsstille krevende kunder. Resultatet er at ARS har opparbeidet et renommé som et internasjonalt ledende arktisk observatorium.

Det kan være nyttig å se utviklingen ved ARS i perspektiv. De første 30 årene var preget av en stor og økende aktivitet i vitenskapelige studier ved hjelp av sonderaketter. ARS ble sentrum for en rekke store internasjonale rakettkampanjer som utforsket den øvre atmosfære og ionosfæren i Arktis. Etter hvert ble rakettaktiviteten mindre og det ble også klart at veien til forståelse av de kompliserte atmosfæreprosessene må gå gjennom et samspill mellom rakett- og bakkebaserte målinger. Rakettene gir detaljerte øyeblikksbilder, mens observasjoner fra bakken kan gi tidsserier som beskriver hvordan atmosfærens tilstand utvikler seg i tid. Kolbjørn så denne utviklingen og var blant initiativtakerne til bygging av ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) på fjelltoppen Ramnan like ved ARS. Etter intens lobbying hos norske politikere og myndigheter, ble observatoriebygget realisert på rekordtid, og internasjonale og norske forskningsgrupper kunne installere sine, til dels store og kostbare, instrumenter. I dag har ALOMAR vært i drift i 13 år og er det ypperste observatorium av sitt slag i verden. I 1997 ble utskytningsbasen SvalRak i Ny- Ålesund, innviet, og fra denne basen kan ARS nå tilby forskerne helt unike muligheter for studier av dagnordlyset og polarkløften.

Kolbjørn utvidet også skytefeltets virksomhet til å omfatte undervisning i romfysikk og romteknologi, samt tjenester for Forsvaret. ARS har nå tre datterselskaper og mangfoldet i virksomheten gir trygghet for bedriften og de ansatte. Staben har i Kolbjørns tid som leder blitt doblet og teller nå 50 personer. Andøya Rakettskytefelt er en viktig, høyteknologisk bedrift i lokalsamfunnet på Andenes.

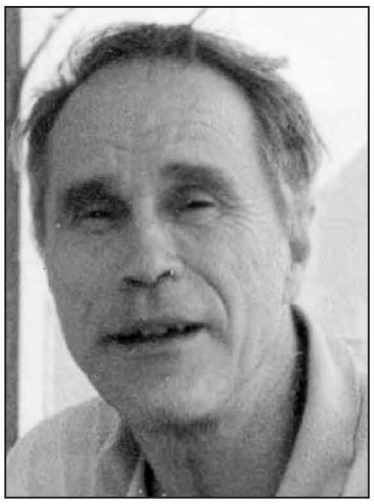
Kolbjørn Adolfsen ble i 2005 hedret med Kongens fortjenstmedalje i gull for sin innsats. Kolbjørn er i dag en meget aktiv pensjonist og har startet eget firma, Andøy Vekst. Vi, hans venner og kolleger, ønsker ham til lykke med jubileet!

Eivind Thrane

∞

In Memoriam

Hartmut Pilkuhn (1936–2006)



I romjula kom den triste meldinga om at Hartmut Pilkuhn døde på julekvelden 2006. Vi visste han hadde hatt kreft, men han virka nokså frisk da han var i Oslo siste gang i august. Han ringte meg i første halvpart av desember. Da hadde han tydeligvis fått et forvarsel om at helsa ikke var bra. Men at det skulle gå så fort hadde neppe noen trudd.

Hartmut Pilkuhn var mesteparten av sitt voksne liv professor i Karlsruhe, Tyskland. Han var en kort periode på 1970- talet ansatt ved Fysisk institutt i Oslo. Han var gift med Aud Andresen fra Drammen. De fikk etter hvert fire barn som alle snakker flytende norsk. Familien har i alle år hatt tett kontakt med slekt og venner i Norge. Hartmut har besøkt Fysisk institutt i Oslo ei rekke ganger. De siste åra var han i Norge store deler av sommeren, på for- og ettersommeren ved Fysisk institutt, og midt på sommeren på hytta i Fjågesund, Telemark.

Hartmut blei født i Øst-Preussen, i et område som nå ligger dels i Polen og dels i Russland. Familien hans kom over til de vestre delene av Tyskland på slutten av den andre verdenskrigen. Hartmut studerte i Braunschweig, Hamburg og København. Doktorgraden tok han i Stockholm på instituttet der Oskar Klein ennå fungerte. Etter dette var han på CERN en periode. Han kom til Universitetet i Lund som dosent midt på 1960-talet og arbeidde hos Källän. Dette var ei tidsavgrensa stilling, og på slutten av 1960-talet kom Hartmut Pilkuhn til

Universitetet i Karlsruhe som professor ved Institut für Theoretische Kernphysik (nå Institut für Theoretische Teilchenphysik).

Hartmut skreiv flere arbeid innafor partikkelfysikk for hadroner. Han gjorde bruk av S-matriseteori, dispersjonsrelasjoner, og mer fenomenologiske metoder. De seinere åra arbeidde han med relativistisk kvantemekanikk for system av to bundne partikler. Hartmut skreiv også flere bøker. Den mest kjente er sannsynligvis "The interactions of hadrons" som kom ut alt i 1967 på forlaget North Holland.

Hartmut var genuint interessert i fysikk og all naturvitenskap. Han kunne ofte bli svært engasjert når han kom over noe han syns var interessant. Han døde så altfor tidlig. Vi lyser fred over Hartmut Pilkuhns minne.

Jan Olav Eeg

∞

Nøytronkilder før og nå

Olav Steinsvoll *

Nøytronspredning er blitt et stadig viktigere redskap for å undersøke stoffers indre struktur og dynamikk, og det er oppstått et behov for rikelig tilgang på frittløpende nøytroner med forskjellig energi (bølgelengde). Nøytronkildene har samtidig utviklet seg fra små, enkle reaktorer til store, teknisk avanserte innretninger i milliardkronersklassen. Flere typer av slike kilder beskrives her.

Nøytroner kan vise stoffers indre struktur og dynamikk

Synlig lys var det første bølgefenomenet som ble brukt til å undersøke materialers mikroegenskaper. Senere kom røntgenbølger i tillegg. Utviklingen innen den fysiske forståelsen av naturen førte til at elementærpartikler, slik som elektroner, med sin forsvinnende lille masse også ble tillagt bølgeegenskaper. Lys- og røntgenbølger vekselvirker med elektronene i materialer. Det samme gjør elektronbølger som sendes målrettet inn i materialer. Vekselvirkningen hefter bølgene. Ved hvert atom oppstår elementærbølger som interferer, og det oppstår spredningsfenomener, diffraksjon, som forteller om stoffets fysiske, atomære, elektriske og kjemiske oppbygning. Gjennomtrengende bølgefenomener har vist seg å være det beste verktøy for materialstudier og materialutvikling.

Nøytronet ble oppdaget av J. Chadwick i 1932.[1] Frittløpende nøytroner fra nøytronkilder er enestående elementærpartikler ettersom de ikke har ladning og dermed ikke vekselvirker med materialers elektroner, men derimot med atomenes kjerner. Nøytronene er også partikler med forholdsvis liten masse slik at bølgeegenskapene kommer fram. Dessuten er de små magneter og opptrer derfor også som magnetiske bølger. De kan derfor avlese kompliserte magnetiske strukturer. Dette betyr at spredning av målrettede nøytronmateriebølger gir oss nye, supplerende materialdata utover det som kan finnes ved røntgen- og elektrondiffraksjon. Som uladde, nøytrale partikler kan nøytroner trenge dypt inn i materialer og komme ut av dem med viktige materialopplysninger.

Foruten de statiske strukturforholdene, kan nøytronbølger også fortelle oss om de dynamiske forholdene i materialer, altså om atomenes svingninger bort fra sine strukturelt bestemte likevektsstillinger ved ulike temperaturer, og om koplete magnetiske spinnbevegelser og vibrasjoner. Langsomme, såkalte termiske nøytroner har bevegelsesenergi i samme område som molekylære og ato-

*IFE, Kjeller

mære bevegelser (meV—eV), og bølgelengden er omtrent lik atomavstander (10^{-10} m). Nøytrondiffraktometre viser stoffers struktur, og spektrometre viser dynamikken.

Mulige nøytronkilder

Mer enn halvparten av vår verden består av nøytroner, men de ligger innelåst i atomkjerner og er vanskelig å frigjøre ettersom bindingsenergien i atomkjerner er ganske høy. Kraftige nøytronkilder er vanskelige å bygge og dyre i anskaffelse og drift.

Den tekniske utviklingen av nøytronkilder fra den første reaktor i 1942 fram til vår tid, er gått gjennom mange utforminger. Ledemotivet har hele tiden vært å finne de mest effektive løsninger for å skaffe flest mulig frie nøytroner med minst mulig oppvarming av kilden. Det er kjøleproblemet som er den begrensende faktor ved konstruksjon av nøytronkilder. Anvendelsesområdet for nøytronspredning begrenses også av nøytronkildenes "lysstyrke". Derfor er utviklingen også gått i retning av stadig kraftigere nøytronkilder. Noen karakteristiske eksempler vil illustrere tendensen.

Fisjon og mulig kjedereaksjon

Etter at fisjonen, eller todelingen av atomkjerner av uran ved bombardement av nøytroner, ble oppdaget av Hahn, Strassmann og Meitner i 1939, ble det funnet at fisjonen ble etterfulgt av utsendelser av hurtige nøytroner, såkalte forsinkede nøytroner. Senere viste det seg at det bare var den sjeldne uranisotopen ^{235}U (0,7 %) som gjennomgikk en delingsprosess hvor mer enn to hurtige nøytroner ble sendt ut under og etter delinga. Det gikk ganske raskt opp for fysikerne at dette kunne gi grunnlag for en kjedereaksjon som under visse forhold kunne vedlikeholde seg selv, altså et selvdrevet, kritisk arrangement. Det frigjøres i snitt 2,4 nøytroner per fisjon der 1,4 nøytroner er nødvendige for å vedlikeholde kjedereaksjonen, mens ett nøytron er til fri disposisjon. Samtidig avsettes 200 MeV varmeenergi per frigjort nøytron som selv har en hastighet som tilsvarer 2 MeV i kinetisk energi.

For å lage en kontrollert kjedereaksjon med bruk av langsomme, termiske nøytroner, burde man dele opp brenselet og sette inn et stoff, en såkalt moderator, som ved kollisjoner senket hastigheten av de utsendte hurtige nøytronene i fisjonen før de traff en ny ^{235}U-kjerne, og samtidig holdt nøytronene unna absorpsjon i ^{238}U-kjerner. Stoffer som inneholder lette atomkjerner slik som protonet i hydrogen, H, kjernen deutron i hydrogenisotopen deuterium, D, og kjernen i karbon, C, var mulige kandidater.

Lettvann, H_2O, er den mest effektive moderatoren ettersom man bare trenger en tykkelse på 2,4 cm for at nøytronene skal få redusert sin energi fra 2 MeV til termiske energier rundt 25 meV, altså nesten åtte tierpotenser ned. Ulempen er at lettvann også absorberer nøytroner. Tilsvarende tall for tungtvann, D_2O, er 14,2 cm, og nøytronabsorpsjonen er betydelig mindre. Derfor blir hoveddelen i en tungtvannsmoderert reaktor ganske stor.

Minimumstørrelsen av en heterogen termisk reaktor er gitt av konsentrasjonen av uran (rent metall eller oksid) og graden av ^{235}U-anriking i brenselet, og dessuten av reaktorformen, symmetrien i plasseringen av brenselselementene, moderatortypen og reflektortypen som brukes. Reaktorkjernen må også over en viss såkalt kritisk størrelse for at en selvdrevet kjedereaksjon i brenselet kan finne sted.

Atomalderens begynnelse

Det var nettopp en fysisk utprøving av disse tankene Enrico Fermi gjorde under tribunen til en universitetsstadion i Chicago under annen verdenskrig, den 2. desember 1942.[2,3,4] Som et eksperiment bygde hans gruppe den første kuleformete, heterogene ansamling av naturlig uran med grafitt som moderator og reflektor, "Chicago Pile #1", altså CP-1. Dette vellykkete eksperimentet bekreftet at en selvdrevet kjedereaksjon i naturlig uran virkelig kunne finne sted. CP-1 ble etter 3 måneders drift tatt fra hverandre og innmaten brukt til å bygge CP-2, en reaktor med sylindersymmetri, uranstaver som brensel, tungtvann som moderator og grafitt som reflektor.

Tungtvannsmodererte reaktorer

Den første norske forskningsreaktoren JEEP (Joint Establishment Experimental Pile) ble bygd på Kjeller utenfor Oslo, i et samarbeid mellom Nederland, som skaffet uran, og Norge, som skaffet tungtvann for nøytronmoderasjon fra Norsk Hydros fabrikk på Rjukan.[5,6] Reaktoren kom i gang sommeren 1951. Dette var den første alminnelig tilgjengelige nøytronkilden for sivil forskning i verden.

Stormaktene holdt ennå sine kilder avstengt for utlendinger. De norske entusiastene, Odd Dahl og Gunnar Randers, hadde fått anledning til å se CP-2 på en rundtur i USA sommeren 1946, og brukte den som grunnlag for konstruksjonen av JEEP. I midten av de gjennomgående kanalene i reaktorkjernen la en plugger av grafitt som moderator og spredningskilder for termiske nøytroner. Nøytronene ble brukt til forskning innen reaktorfysikk, kjernefysikk, fisjonsfysikk, materialfysikk, biologi og til isotopproduksjon. Reaktoren utviklet 450 kW termisk effekt på det meste. Den ble nedlagt i 1966.

Under planleggingen av den neste forskningsreaktoren JEEP II på Kjeller i 1960-årene, prøvde man å unngå ulempene ved de kommersielt tilgjengelige forskningsreaktorene der den termiske nøytronfluksen var høyest i midten av radielle gjennomgående nøytronkanaler. IFA og det norske entrepenørfirmaet NORATOM ønsket å gå ut på verdensmarkedet med en prototyp tungtvannsmoderert forskningsreaktor med 3,5 % anriket uranoksidbrensel som både kunne produsere isotoper for medisin og industri, og dessuten kunne levere godt modererte nøytronspektre for nøytronspredning uten for mye gammastråling. Løsningen ble å lage en tett sammenpakket reaktorkjerne ("undermoderert") og omgi den med en sylindrisk, kombinert reflektor/moderator av tungtvann der radielle nøytronkanaler fikk sine kildeflater.[7] Med denne konstruksjonen topper den termiske nøytronfluksen seg i reflektorområdet i en radiell avstand der endeflatene for nøytronkanalene ligger. Fluksen av hurtige nøytroner og gammastråling har avtatt betydelig i denne avstanden. Samtidig ligger bestrålingskanalene for isotopproduksjon lenger inne, i et område med jevn nøytronfluks. Maksimum av den termiske nøytronfluksen ligger derfor inne i reflektoren i et område av form som en sylinder sentrert i reaktorkjernen, en utspredd kilde. Reaktoren kunne denne våren feire jubileum etter 40-års strålende innsats og kontinuerlig modernisering.

I løpet av de siste 10 årene er instrumentparken rundt JEEP II også gjennomgått en fornyelse. To gamle spektrometre og tre pulverdiffraktometre er faset ut og er i ferd med å bli erstattet av fire moderne pulverdiffraktometre med store vertikale åpningsvinkler for tilpasning til de vide kildeflatene. Dynamiske problemer løses best på enkrystaller og ved bruk av spektrometre ved de nye høyflukskildene.

Reaktorer med flere moderatorer

Ved de eldre, kontinuerlig virkende forskningsreaktorene var gjerne moderatoren, eller reflektoren (grafitt, tungtvann eller lettvann), også kilde for de termiske nøytronene for brukerinstrumentene utenfor reaktoren.

Etter hver er en gått inn for å bruke to typer moderatorer, en primærmoderator for reaktoren i seg selv, gjerne lettvann, og i tillegg en ytre sekundærmoderator, gjerne tungtvann, som både er reflektor, et skjermingsinstrument (reduserer gamastråling) og kilde for tilsluttet forskningsutstyr der det brukes termiske nøytroner. I tillegg er moderne forskningsreaktorer utstyrt med en lavtemperatur moderator i reflektoren for å minskede de termiske nøytronenes gjennomsnittlige energi ytterligere, i form av en beholder med flytende hydrogen (21 K) som kilde for "kalde", langbølgete nøytroner. Noen reaktorer har dessuten et stykke termisk godt isolert grafitt som kilde for "varme", kortbølgete nøytroner. Grafitten varmes av gammastråling. Uttaket av nøytroner til forskningsinstrumentene skjer gjennom endeflatene av lange kanaler med tverrsnitt rundt 100 cm^2. Samarbeidet mellom disse moderator-, koplings- og føringselementene utgjør det man kaller "nøytronikken" i systemet.

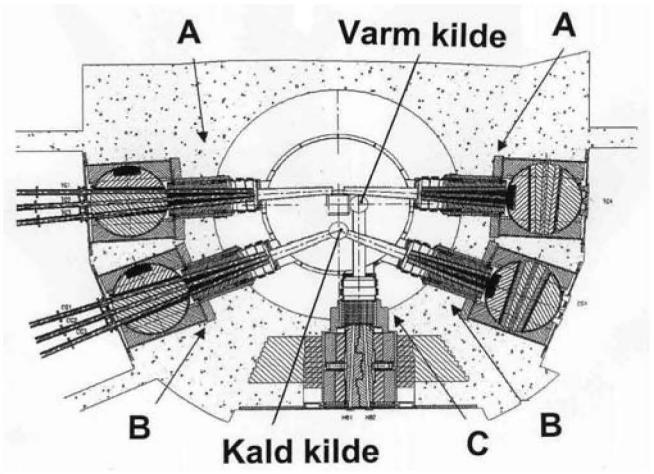
Fra brukersiden er det også krav om å få plass til flest mulig spredningsinstrumenter rundt kilden. De nye, kraftige nøytronkildene er blitt stadig mindre med årene, og man har lært seg å føre de termiske nøytronene i svakt krumme lederør med reflekterende vegger, "gaider", fra sekundærkildene til en mengde instrumenter samlet i store haller i tilknytning til kilden. Instrumentene ser derfor ikke rett inn i kilden. En unngår da gammastråling og hurtige nøytroner, og får god plass ved instrumentene.

Det er nødvendig med en høy primær "lysstyrke" eller nøytronfluks, i nøytronkilden også fordi det er så mange tapsbringende behandlingsledd underveis i strålegangen fram til bruksområdene, slik som nøytronfiltre, kollimatorer, kryostater, magneter og trykkenheter.

En ny nøytronkilde i Australia

Den nye nøytronkilden, OPAL, utenfor Sydney i Australia, er på 20 MW og skal bruke brensel med 19,7 % anrikning av ^{235}U, (HEU, "Highly Enriched Uranium"). (Dette er i pakt med USAs tidligere

president Jimmy Carters forordning om ikke å tillate salg og bruk av uran med høyere anriking enn 20 % for å forhindre spredning av atomvåpen.) Lettvann og tungtvann blir også brukt på riktig måte, lettvann til moderator for selve reaktoren, og tungtvann som reflektor og som sekundærkilde for termiske nøytroner for spredningsinstrumentene. Reaktorkjernen blir derfor svært liten, se figur 1. Nøytronkanalene ender parvis inntil sekundærkilder for forskjellige nøytrontyper. Forskningsinstrumentene er plassert for enden av "gaidene" i en lang hall, se figur 2.

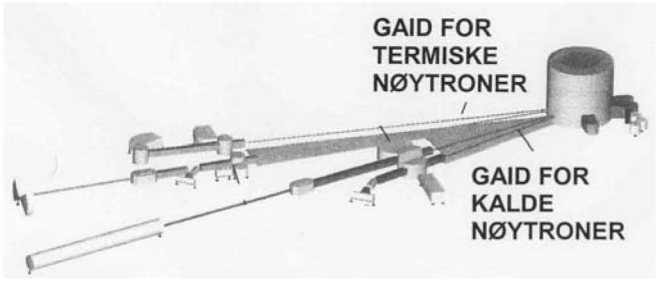


Figur 1. Tverrsnitt av den sentrale delen av den termiske forskningsreaktoren OPAL i Australia. Selve reaktorkjernen er den lille firkanten i midten som er moderert og kjølt av lettvann. Reaktoren er omgitt av en kombinert tungtvanns-reflektor/sekundærkilde der to og to tangentielt stilte lederør med beamsplittere fører nøytroner ut av reaktoren til en instrumenthall. A- gaidene leder termiske nøytroner. To spektrumskiftere for nøytroner, en kald og en varm kilde, befinner seg også i tungtvannet. Kalde kanaler, B-gaider, og varme kanaler, C-gaider, leder nøytronene ut.

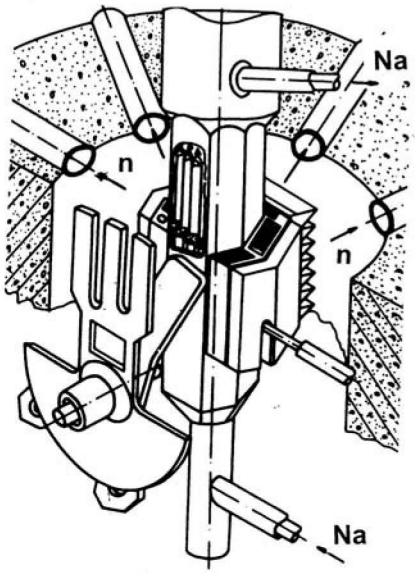
En pulset, hurtig forskningsreaktor

I hurtige reaktorer med plutonium, ^{239}Pu, som brensel, er det ikke nødvendig med en moderator. Kjedereaksjonen holdes i gang av de hurtige nøytronene som kommer direkte fra fisjonene, og reaktoren går "prompt kritisk" i korte perioder. "Etterklangstida" for de forsinkede nøytronene ved plutoniumfisjon er kortere enn ved uranfisjon, og plutonium brukes som brensel for å gi korte nøytronpulser.

En slik kraftig forskningsreaktor, IBR2, (2 MW) kom i gang i 1978 i Dubna, Russland, se figur 3.[8] Tynne pinner av plutoniumoksid, PuO_2, er plassert i en blokk av nikkel, og to store, motsatt roterende reflektorer av nikkel inn til reaktorkjernen oscillerer reaktoren inn og ut av kritisk tilstand. Den innerste reflektoren roterer med frekvens 25 Hz mens den ytterste roterer med 5 Hz. Kritikaliteten oppstår når



Figur 2. En skjematisk tegning av instrumenthallen knyttet til OPAL-reaktoren. Lange lederør for nøytronene fører fram til instrumentene, 4 forskjellige diffraktometre ved den termiske linja, et reflektometer, et diffraktometer og et småvinkelinstrument ved den "kalde" linja. Et treaksespektrometer står inntil reaktorveggen på motsatt side.



Figur 3. Skjematisk tegning av IBR2-reaktoren i Dubna. I midten ses reaktorkjernen, en sekskantet samling av kassetter med plutoniumoksid uten moderator, i en holder av nikkel. Den er gjennomhullet, og lar flytende natrium strømme gjennom og kjøle reaktoren. Det ligger nøytronreflektorer og termiske moderatorer ved fem sidekanter rundt kjernen. Utenfor den sjette sidekanten roterer to nikkelreflektorer hver sin vei og med forskjellig rotasjonshastighet. Den innerste roterer med 25 Hz, mens den ytterste roterer med 5 Hz. Med jamne mellomrom er de samtidig utenfor reaktorkjernen, og reaktoren går over i prompt kritisk tilstand med utbrudd av hurtige nøytroner med en frekvens på 5 Hz. Maksimum effekt i energipulsen er 1500 MW.

begge er samtidig foran reaktorsiden. Dessuten er det i hver nøytronkanal en synkront roterende chopper som åpner for hovedutbruddet av nøytroner og stenger for mellomliggende svakere utbrudd. Her er det kanalene for kjølemidlet, flytende natrium, som "spiler ut" reaktorkjernen. Med en effekt på bare 2 MW i middel, men med 1500 MW i hovedpulsen, har denne reaktoren en lysstyrke i pulsen som overgår alle kraftige termiske reaktorer med to størrelsesordener. Fysikkavdelingen ved IFE har i mange år hatt et godt samarbeid med polske fysikere fra Krakow i å bruke det kombinerte diffraktometer/spektrometer NERA ved IBR 2, i sin forskning.

Ved pulsede nøytronkilder kan man med fordel bruke flygetidsteknikk i nøytronspredningsinstrumentene.[9] Det modererte termiske nøytron spektret i pulsen er ganske bredt og går fra 30 til 0,1 Å, eller fra 0,1 til 10 eV. Lar man en slik polykromatisk puls få løpe over lange flygebaner fram til prøven i et instrument, vil forskjellige bølgelengder ankomme etter hverandre i tid. Med detektorer synkronisert med ankomsttidene for spektret i pulsen, kan man gjøre målinger over et stort bølgelengde- eller energiområde for hver puls. Flygebanen for NERA er 109 m lang, går i en bro over en vei og ender i en bunker for instrumenter.

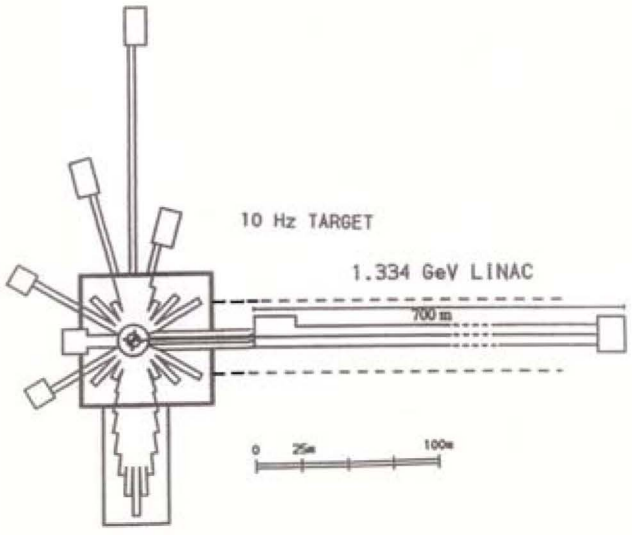
Pulsete spallasjonskilder

Ved alle kontinuerlige reaktorkilder for nøytroner er produksjonen av nøytroner knyttet til fisjon av isotoper av uran. Nøytronfluksen ved høyfluksforskningsreaktorer, HFR, nådde sitt maksimum på slutten av 1970-tallet.[10] Nøytronspredning og annen bruk av nøytroner til forskning, er begrenset av nøytronfluksen ved kildene. For å få høyere fluks har man sett på mulighetene ved såkalte pulsete spallasjonskilder for nøytroner der man bruker akseleratorer til frigjøring av nøytroner. Det viser seg at disse kan gi pulsmaksima på 10–100 × HFR, mens middelfluksen over tid ligger på HFR-nivå.

Ved å skyte akselererte protoner med en energi på 1 GeV mot tunge kjerner, bly eller kvikksølv, kan man splintre ("spall") disse kjernene i mindre bestanddeler som alle inneholder for mange nøytroner til å holde seg stabile.[11,12] Overskuddet av nøytroner kommer ut i rask rekkefølge, og utgjør i gjennomsnitt 36 nøytroner per "spallasjon" med energier omkring 3 MeV. Dessuten er avsatt varmeenergi per frigjort nøytron bare 23 MeV, en tidel av hva som blir avsatt per nøytron ved fisjon. Kjøleproblemet er derfor blitt betydelig redusert. Target, eller målet for de akselererte protonene, kan lages så lite som to knyttnever, kjøles for 5 MW, og nøytronkilden får en ekstrem høy "lysstyrke" i pulsen.

En europeisk spallasjonskilde?

En felles europeisk kraftig pulset nøytronkilde av denne typen, *European Spallation Source*, ESS, er blitt utredet og planlagt over en tiårsperiode, se figur 4. Man tar sikte på å bygge en lineærakselerator som leverer en pulset strøm av protoner med energi på 1,3 GeV. Et skandinavisk framstøt for å få en slik kilde til Universitetet i Lund i Sverige, er nå blitt tatt over fullt og helt av den svenske regjeringen, med dansk støtte. Anleggskostnadene er anslått til 10 milliarder kroner, og Sverige, som eventuelt vertskapsland, har lovt 3 milliarder kroner som "fødselshjelp". Landet forskutterer på en måte Danmarks og Norges part i søknaden. Norge, gjennom IFE, var med i utredningsarbeidet for ESS fra 1997, og var deretter med på det første søknadsframstøtet i 2002 for å få anlegget til Lund.[13] Deretter mistet Forskningsrådet og Kunnskapsdepartementet sin interesse for ESS og nektet å støtte videre deltakelse økonomisk.



Figur 4. Den planlagte europeiske spallasjonskilden, ESS. Protoner akselereres i en 700 m lang lineærakselerator til energier rundt 1,36 GeV og treffer "target", et tungmetallmål av kvikksølv, og en langpulskilde, LPT. Kvikksølvkjernene splintres i mindre enheter som sender ut overskuddsnøytroner i alle retninger. Rundt nøytronkilden står forskjellige moderatorer som mater flygetidsinstrumenter for diffraktometri og spektrometri gjennom lange flygebaner.

Den nye norske regjeringen har nå en gylden anledning til å ordne opp i forholdene og ta på seg ansvaret for den norske delen av prosjektet. Norsk forskning vil ha stort utbytte av å delta i dette store anlegget som forhåpentligvis vil bli plassert i vårt nærområde i Skåne. Dessuten vil den skandinaviske søknaden stå sterkere i europeiske øyne hvis det rike Norge er aktivt med på laget. Det er mange land som konkurrerer om anlegget, som nevnt i ref. 13. I det siste er også Ungarn (Budapest) og Spania (Bilbao) kommet med.

En fordel ved spallasjonskilder er at de lager nøytroner uten bruk av en kjedereaksjon i spaltbart materiale, og når protonakseleratoren slås av, stopper produksjonen av nøytroner. Dette er en ekstra sikkerhetsfordel. Spallasjonskilder er gjerne pulsete kilder slik at man kan bruke flygetidsspektrometri og flygetidsdiffraktometri som ved de pulsete, hurtige reaktorene. Tiden mellom pulsene brukes til løpetid og analyse av de innkommende og/eller spredde nøytronenes energi/hastighet. Target for protonstrålen er kvikksølv, Hg, som sirkuleres gjennom en avkjølingsenhet. Kvikksølv brukes mye innen indu strien, og man vet hvordan man skal behandle store mengder ($\approx$1 m^3). De radioaktive spaltingsproduktene etter spallasjon i kvikksølv er få og kortlivede.

Utvidet bruksområde

De nye pulsede, høyfluks-nøytronkildene av spallasjonstypen i USA, Japan, Kina og kanskje en gang i Europa, vil etter hvert åpne for større bruk av nøytroner innen alle naturfagene. Dette gjenspeiles i instrumentutvalget som planlegges ved kildene. Ved hver kilde vil det bli tilgang til ca. 25 ulike spredningsinstrumenter, både nøytrondiffraktometre og nøytronspektrometre for polariserte og upolariserte nøytroner. Dette er utstyr som skal til for å studere struktur og dynamikk i alle slags stoffer og konstruksjonsmaterialer. For biologi er utviklingen av instrumenter for høyoppløst småvinkelspredning av særlig betydning.[14] Dessuten ser en for seg at man kan studere virkemåten av store maskinkomponenter "in vivo" ved nøytrongjennomlysning. Utviklingen innen elektronikk og data har også gjort instrumentene mer brukervennlige slik at de kan brukes av ikke-spesialister.

Referanser

1. O. Steinsvoll: *60 år siden nøytronet ble oppdaget.* Fra Fysikkens Verden, **54,** Nr. 3, 70–75 (1992)
2. Directory of Nuclear Reactors, IAEA, Wien, Vol. II, s 315, CP-1
3. C. Bernardini and L. Bonolis (eds): *Enrico Fermi, His Work and Legacy.* Springer Verlag, Berlin (2001)
4. O. Steinsvoll: *Nøytronfysikkens begynnelse og utvikling.* Fra Fysikkens Verden, **54,** Nr. 4, 100–107 (1992)
5. Directory of Nuclear Reactors, IAEA, Wien, Vol. II, s 263, JEEP
6. T. Riste: *Den første atomreaktoren på Kjeller.* Fra Fysikkens Verden, **58,** Nr 1, 12–22 (1995)
7. Directory of Nuclear Reactors, IAEA, Wien, Vol. VI, s 183, JEEP II
8. User guide for experimental facilities at JINR, Dubna, Russland (1991)
9. J. Peters and W. Jauch: *Single crystal time-of flight neutron diffraction.* Science Progress, **85,** 297 (2002)
10. O. Steinsvoll: *Nøytrontilgang og nøytronbruk i framtida.* Fra Fysikkens Verden, **50,** Nr. 1, 8-13 (1998)
11. J. Finney and U. Steigenberger: *Neutrons for the future.* Physics World, **10,** (12), 27 (1997)
12. N. Watanabe: *Neutronics of pulsed spallation neutron sources.* Rep. Prog. Phys. **66,** 339 (2003)
13. O. Steinsvoll: *ESS – Den europeiske spallasjonskilden for nøytroner – i Skandinavia?* Fra Fysikkens Verden **65,** Nr 1, 12–22 (2003)
14. O. Steinsvoll: *Småvinkelspredning av nøytroner i biologisk forskning.* Fra Fysikkens Verden, **53,** Nr. 1, 18-23 (1991)

∞

Husk adresseforandring!

Mål og vekt i Norge – I
Fra Magnus Lagabøte til SI-systemet

Leif Halbo *

Eksperimentell fysikk er basert på målinger, og nye teorier må underbygges ved måleresultater. Samtidig er nye metoder og teknikker for måling basert på avansert fysikk. I dag kan sekundet måles med en nøyaktighet på 10^{-12} i det nasjonale labo ratoriet i Justervesenet og i nasjonale laboratorier i andre land. Liknende nøyaktighet kan oppnås for andre størrelser. Måling og veiing har tradisjoner tilbake til Moseloven, og i Norge til Magnus Lagabøtes landslov fra 1274, og tidligere. I denne artikkelen presenteres en kort historikk om mål og vekt i Norge, i forbindelse med at Justervesenet fyller 175 år i år. I en følgende artikkel vil vi beskrive noen av prinsippene for måling av grunnenhetene i SI systemet, og fortelle om måleteknisk forskning og internasjonale avtaler i dag.

Krav i loven – rot i praksis

Hovedhensikten med måling har fra gammel tid vært å ha styring på handel, skatter og avgifter. Juks ble straffet i henhold til lov. Moseloven sier: *"Dere skal ikke gjøre urett mot noen når dere bruker lengdemål, vekt eller hulmål. Riktig vekt, riktig lodd, riktig tørrmål og riktig væskemål skal dere bruke"* (Tredje Mosebok, kapittel 19, vers 35–36). Ved juks truet Herren med straff. I loven som gjaldt i Nidaros på 11-1200-tallet sto det: *"Den som bruker gale lodd, gale punder og bismervekter, eller gale skjepper og øl-asker, skal bøte 9 ertuger for hver ting"*. I den første norske landsdekkende lov, Magnus Lagabøtes landslov av 1274, er et kapittel viet mål og vekt, og straff for juks, *" ...for at fåkunnige mennesker så meget mindre kan bedras, hvor de enn komme i landet ... "* [1,2]

Enheter for vekt og volum i Magnus Lagabøtes lov:

- Vekt, diverse varer (korn, mel, fisk, jern etc): 1 skippund (148 kg) = 24 vetter; 1 vett = 28 1/2 mark og 8 ertuger; 1 mark = 8 øre; 1 øre = 3 ertuger
- Vekt av smør: 1 smørpund = 24 mark (= 1 bismerpund = 5,1 kg)
- Volum av gryn: 1 såld (97,2 l) = 6 mæler; 1 mæle = 3 settunger (2 såld rug skal veie 1 skippund)
- Volum av honning, øl, tran etc: 1 ask (10,8 l) = 4 boller; 1 bolle = 4 juster

Relateringen av disse enhetene til dagens enheter angitt i parenteser, er fra ref. 3. De gamle enhetene varierte over tid og fra landsdel til landsdel. De verdiene som er angitt her er regnet som de mest "troverdige" ut fra lodd og målekar som er funnet ved utgavniger. Mange andre enheter har også vært i bruk i Norge.

Verdi for betaling var definert ved vekten av sølvmynter eller vekt/volum/areal av en vare med kjent kvalitet, slik som areal av dyreskinn.

At bismervekten og loddene var korrekte, skulle sikres ved "måleteknisk sporbarhet" til de mest nøyaktige målenormaler, som lagmannen hadde. Kalibrering foregikk på tinget. Hver sysselmann tok med sine normaler til tinget og fikk kontrollert dem mot lagmannens normaler. Sysselmennene hadde så ansvar for årlig kontroll av vekter og lodd hos handelsmenn og bønder i sitt distrikt. Men selv om prinsippene var i orden, var realitetene ikke så gode. I praksis varierte enheter og verdier på enhetene fra landsdel til landsdel og skapte et forvirrende rot, godt egnet for svindel utført av lure handelsmenn. Men flotte lodd hadde de, se figur 1.

*Justervesenet og Universitetsstudiene på Kjeller/UiO

Figur 1. Vektlodd fra middelalderen kunne være små kunststykker, her formet som hester. Disse loddene er kommet fra ulike steder i Norge. (Kulturhistorisk museum, UiO. Foto: E. Irgens Johnsen.)

Mer orden i dansketiden

Det var først under dansketiden at det ble mer orden. Astronomen Ole Rømer laget et mer enhetlig dansk–norsk målsystem som ble lov i 1698. Her var lengdeenhetene *favn* (6 fot), *alen* (2 fot), *fot, tomme* (1/12 fot) og *linje* (1/12 tomme). For volum var enhetene bl.a. *potte* (1/32 kubikkfot), ulike størrelser av *tønner* (for øl, korn, tjære etc) og *skjeppe* (18 potter). For vekt var enhetene *dansk pund* (vekten av 1/62 kubikkfot vann), *lispund* (16 danske pund), *skippund* (20 lispund) og *bismerpund* (12 danske pund). Sølv ble veiet med *kølnisk pund* som var 16/17 av et dansk pund. Tungvint var det med deling på 2, 12, 16, 17 etc, og liten sammenheng i navnene på enheter. Normalene ble oppbevart i København, så dit måtte man reise for nøyaktig kontroll og kalibrering. Systemet var komplisert, men nå var det sentrale myndigheter som håndhevet det. Rømer vurderte å basere foten på lengden av en pendel med svingetid 1 sekund, men allerede da mente han at det ikke ville bli nøyaktig nok pga. tyngdeakselerasjonens variasjon med breddegrad, høyde over havet med mer.

Men om det ble en rimelig grad av likhet i det dansk–norske riket, var det andre systemer og enheter i andre land. Det var 232 ulike versjoner av pund som varierte fra 301 til 2377 gram; 96 versjoner av fot varierte mellom 19 og 51,4 cm. Det var også rom for politisk og selvstendighetsmarkering i målsystemene. Etter at Norges union med Danmark var slutt i 1814, benyttet den dyktige fysikkprofessor Christopher Hansteen anledningen til å lage et eget "norsk" målsystem som ble lovbestemt i 1824. I motsetning til Rømer definerte Hansteen en "norsk fod" slik: *"12/38 av Længden paa den enkelte Pendul der ved 45 grader nordlig Bredde, ved Havets Overflade i lufttomt Rum, gjøre een Svingning i een Secund af Middeltid"*.

Norsk styring på mål og vekt

Justervesenet etablert i 1832

Som en del av Hansteens lov, ble Justervesenet opprettet med ansvar for kalibrering og kontroll av målenormaler i Norge. "Reglement for Justeervæsenet" ble vedtatt ved Kgl. res. 6. juli 1832. Justervesenet hørte under Justisdepartementet. Ordet justering ble brukt tidligere, og allerede av Ole Rømer. Det kommer åpenbart fra *jus* og *justus* (latin) som betyr rett og rettferdig. Her betyr det *å kontrollere riktigheten av.* Det er synd at ordet justering i daglig tale har fått en litt annen mening, nemlig å endre innstilling på et måleinstrument slik at det viser mest mulig riktige verdier. Dette kalles *innregulering* av måleteknikere.

Øverste myndighet i Justervesenet var "Opsynskommissionen for Maal og Vægt", som ga råd til statsforvaltningen, kontrollerte de mest nøyaktige målenormalene og førte tilsyn med justerkontoret i Christiania. Dette kontoret produserte, kontrollerte og solgte målenormaler til magistratene (borgermestre, rådmenn, byfogder) andre steder i landet, og disse kontrollerte politiets normaler. Politiet utførte kontrollen med handelsmennenes vekter og målekar.

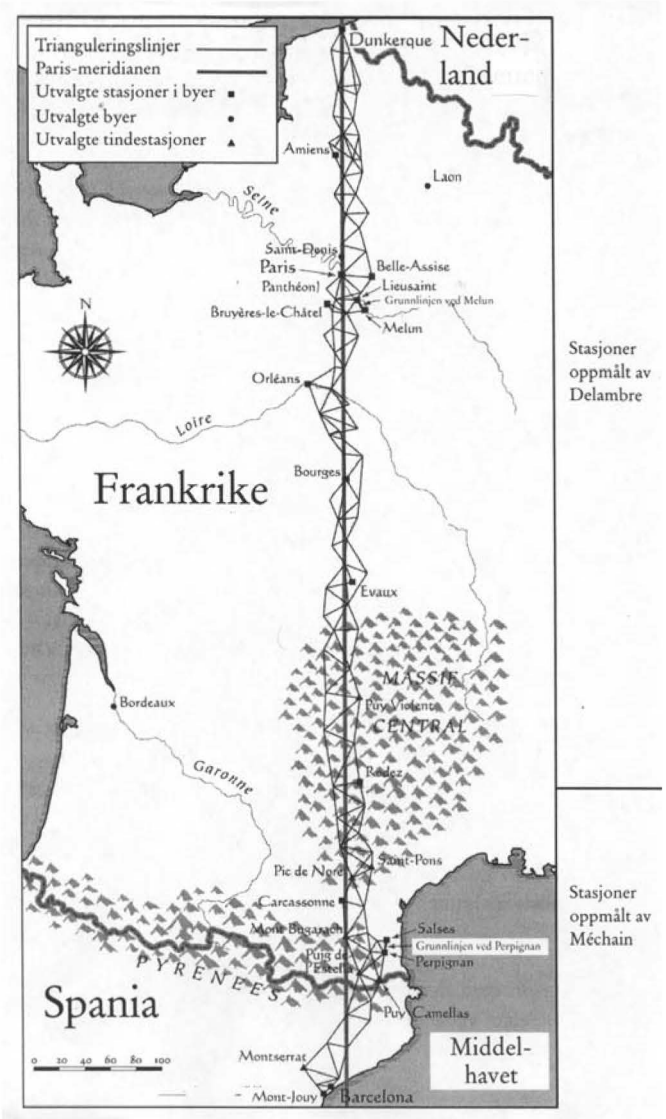
Men ettersom tiden gikk, økte handelen over landegrensene. Forvirring og juks ved mål og vekt i handelen økte også på grunn av kompliserte systemer og omregninger. Stadig flere innså at internasjonalt samarbeid måtte til – først vitenskapsmenn, så handels- og industrifolk.

Meterkonvensjonen

Franskmennene var pionerene for å få til et internasjonalt målsystem. For at alle skulle akseptere et slikt system måtte det forankres i et "naturmål" som alle hadde det samme eierskap til, mente de. Lengeenheten ble definert som 1/10 000 000 av avstanden fra ekvator til Nordpolen, og ble kalt *meter* (metron = mål eller måleredskap, på gresk). Enheten hadde dekadisk inndeling for første gang, i desimeter, centimeter osv. Volumenheten kubikkmeter var definert som volumet av en kube med side 1 m, og masseenheten gram var knyttet til lengdeenheten ved at den var massen av 1 cm^3 rent vann ved temperaturen for isens smeltepunkt.

Franskmennene foreslo at tiden også skulle være dekadisk inndelt, men det ble fort gitt opp. Jorden skulle deles i grader som var dekadisk oppdelt. Dette var under den franske revolusjon omkring 1790, da man skulle starte på nytt med det meste.

Men å finne den nøyaktige avstanden fra ekvator til nordpolen var ikke så enkelt.[4,5] To basisstrekninger som var ca. 12 km lange, ble målt opp ved å legge ca. 4 m lange linealer etter hverandre mange ganger. Disse strekningene ble definert som sider i trekanter, og ved hjelp av triangulering i et nettverk av trekanter langs en meridian som gikk gjennom Dunkerque og Barcelona, figur 2, kunne lengden av denne meridandelen beregnes. Dertil ble breddegradene for de to endepunktene funnet ved



Figur 2. Nettet av trekanter som ble brukt for å bestemme lengden av en meter ved oppmåling mellom Dunkerque i Frankrike og Barcelona i Spania, 1792–1799. Arbeidet ble utført av to grupper under ledelse av vitenskapsmennene Delambre og Méchain.

astronomiske målinger, og jordens størrelse kunne beregnes i forhold til lengden av linjalene. Under revolusjonens kaos i Frankrike og krig med Spania, der endepunktet Barcelona lå, tok arbeidet 7 år, med store strabaser. Men resultatet, sammenliknet med dagen nøyaktige satelittmålinger, var en lengde for meteren som avvek fra definisjonen med bare 0,229 mm, en fantastisk bragd!

Det tok nær 100 år for verden å akseptere at dette var det beste utgangspunktet for et globalt målsystem. Tregheten med å gjennomføre en slik drastisk forandring var stor i alle land. I Norge var Hansteen blant de sterkeste motstanderne, og han kjempet for sitt gamle system med nebb og klør. Men vitenskapsfolk og handelsnæringen var de sterkeste, spesielt den delen av næringslivet som drev eksport og import. En foregangsmann og forkjemper var samfunnsbyggeren, strategen og vitenskapsmannen Ole Jacob Broch.[6]

Den 20. mai 1875 ble Meterkonvensjonen vedtatt. Norges storting ratifiserte avtalen bare seks dager senere, før alle andre. (Sverige, som vi var i union med, var lite begeistret for dette, og ratifiserte om igjen senere, på vegne av begge landene.) Metrisk mål og vekt ble innført i Norge ved lov av 1875.

Deretter tok det 14 år å få laget originaler og nøyaktige kopier av meteren og kilogrammet i en 90 % platina og 10 % iridiumlegering for alle de 18 medlemslandene. Denne legeringen var den aller mest stabile og motstandsdyktige mot "tidens tann". Arbeidet ble startet i Meterkonvensjonens måleinstitutt, *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), i Sevres utenfor Paris. Det var prestisjestrid mellom Frankrike og de andre landene. Frankrike ville ha kontrollen. Imidlertid var Pt/Ir-materialet som franskmennene laget (250 kg – en betydelig metallverdi!) ikke tilfredsstillende med hensyn til renhet og fysiske egenskaper. Et enormt prestisjetap! Firmaet Johnson Mathew i England, overtok arbeidet, og en internasjonal komité overtok styringen. Ole Jacob Broch var direktør for BIPM mens dette ble gjennomført, og de nasjonale normalene ble levert i 1889.[7]

Våre riksprototyper i Norges Bank

De norske riksprototypene, kilogram nr. 36 og meter nr. 3, figur 3 og 4, var meget verdifulle og ble straks plassert i Norges Bank, i et hvelv med fire låser. For å hente dem ut og kalibrere andre normaler mot dem, måtte justerdirektøren, riksarki-

Figur 3. Detalj av den norske meter-riksprototypen. En meter var avstanden mellom to fine streker på denne, hvorav den ene er risset inn på det blanke området midt på bildet. Det uvanlige tverrsnittet er for å få stivhet og liten bøying som forlenger eller forkorter avstanden mellom strekene, hvis staven bare hviler på enkelte punkt. Meterstaven er nå på museum i Justervesenet.

varen og to professorer møte fram samtidig med sine nøkler. Historien forteller ikke om de fire også måtte overvære hele kalibreringsprosessen (som varte i flere døgn) før klenodiene kunne bringes tilbake på plass.

En krevende oppgave for Justervesenet i denne tiden var å lage et stort antall normaler til praktisk bruk over hele landet, for å få til den virkelige innføringen av metersystemet i Norge.

SI-systemet i stadig utvikling

I begynnelsen var det fire grunnenheter i det metriske systemet: for *lengde, masse, tid* og *temperatur*. Deretter ble systemet utvidet med nye grunnenheter og avledede enheter, inntil det fikk nær sin nåværende form *"Systéme International"* (SI), i 1960. Seks av de syv grunnenhetene er nå knyttet til faste og upåvirkelige naturkonstanter, og enhetene "realiseres" ved eksperimenter som kan gjentas hvor som helst. Bare kilogrammet er den samme fysiske enheten som i 1889. Hvert 4. år møtes Generalkonferansen i Meterkonvensjonen og vedtar endringer i definisjoner og anbefalte målemetoder basert på

Figur 4. Den norske kilogram-prototypen oppbevares i Justervesenet under to glassklokker for å skjermes mot støv og smuss. På grunn av den høye egenvekten (ca. 21 600 kg/m^3) for platinairidium-legeringen er loddet bare 39 mm i diameter og høyde.

ny teoretisk viten og mer nøyaktige verdier for naturkonstantene som enhetene er knyttet til.

Den praktiske realiseringen av enheten *meter* var opprinnelig avstanden mellom to streker på en metallstav. I 1960, da laseren kom i bruk, ble definisjonen endret til 1 650 763,73 bølgelengder i vakuum av lyset som tilsvarer overgangen mellom energinivåene $2p_{10}$ og $5d_5$ i ^{86}Kr-atomet. Den nye definisjonen førte til at den relative usikkerheten i realiseringen av meteren ble redusert til ca. 10^{-8}, langt mindre enn før. I 1983 ble definisjonen endret til den som gjelder i dag: strekningen lyset går i vakuum på 1/299 792 458 sekund.

Enheten *ampère* har beholdt sin definisjon knyttet til kraften mellom to strømførende parallelle ledere, men den praktiske realiseringen gjøres nå ved måling av volt og ohm basert på kvanteeffekter.

Tid ble opprinnelig definert ut fra lengden av et middelsoldøgn, men er nå knyttet til energitilstander i cesiumatomet. Dette kommer vi tilbake til i en senere artikkel.

SI-systemet må pleies og voktes

SI-systemet og Meterkonvensjonen har skaffet oss et målsystem som hele verden aksepterer.

En liten reservasjon er her på sin plass: Verdens fremste teknologinasjon, USA, kan neppe sies å være fullverdig medlem av "SI-familien". I USA lever pund, gallon, fot og mile i beste velgående, til tross for at USA signerte Meterkonvensjonen i 1875. Tilpasningen er meget kostbar og langsom. Det sies: "They approach the metric system – inch by inch".

Det kaoset i mål og vekt som eksisterte tidligere, er vanskelig å sette seg inn i for oss i dag. Ett felles system gjør at en bildel laget i Norge nå passer inn i en bil fra Tyskland, og et forskningsresultat fra USA kan bekreftes eller motbevises ved forsøk i Japan. Men for at systemet skal virke, må landene ha tillit til målinger i andre land. Det forutsetter nasjonale laboratorier med normaler som stemmer overens med SI enhetene, og som kan kalibrere måleutstyr med sporbarhet til grunnenhetene. Dette er Justervesenets oppgave i Norge, og det krever infrastruktur og internasjonalt samarbeid. Hvordan dette fungerer, kommer vi tilbake til i neste artikkel.

Referanser

1. Ragnhild Hutchison: *Fra mangfold til enhet – Justervesenet og historien om mål og vekt i Norge.* Justervesenet (2006)
2. Leif Halbo: *Kvalitetsstyring og måleteknikk – i laboratorium, produksjon og tjenestevirksomhet.* Gyldendal Akademisk (2006)
3. A.W. Brøgger og Asgaut Steinnes: *Gammel mål og vekt i Norge.* Kildeforlaget, Oslo (1982)
4. Øivin Holter: *Le MÈTRE – En arv fra Revolusjonen.* Fra Fysikkens Verden, **51**, Nr. 3, s 56 (1989)
5. Ken Alder: *The measure of all things.* Free Press (2006)
6. Jens Arup Seip: *Ole Jacob Broch og hans samtid.* Gyldendal (1971)
7. Anne Marit Karlsen: *Innføringen av det metriske systemet i Norge.* Volund, Norsk Teknisk Museum, s. 7 (2001)

∞

Globale klimaendringer – Hva vet vi?

Ingolf Kanestrøm *

Oppsummeringen av arbeidet til gruppen som har utarbeidet klimarapporten "The Physical Science Basis", ble frigitt i februar. Jeg vil gi et kort sammendrag av hovedpunktene i "Summary for Policymakers".(1) Til forskjell fra situasjonen før 2001-rapporten ble utgitt,(2) har forskerne nå fått mer "sikre" data, og modellene er blitt bedre.

Det vil alltid være usikkerhet knyttet til forståelsen av et så komplisert system som det globale klimasystemet. Det finnes imidlertid sterke indikasjoner på at vi nå har en betydelig global oppvarming. Disse indikasjonene kommer fra observasjoner av økende temperatur både på landjorda og i havet, og fra fenomener som økt havnivå, reduksjon av breer og forandringer i fysiske og biologiske systemer. Det er svært sannsynlig at denne oppvarmingen for en stor grad skyldes menneskelig aktivitet.

Strålingspådriv

Før vi går inn på noen resultater i oppsummeringen, skal jeg omtale et sentralt begrep, nemlig *strålingspådriv.* Ulike komponenter i klimasystemet

*Institutt for geofag, Universitetet i oslo

vil ha ulik effekt. For å kunne sammenligne betydningen av de forskjellige komponentene, vil det være nyttig å ha en felles målestokk.

Sola er vår viktigste energikilde. Solarkonstanten som angir innstrålt energi per flateenhet normalt på stråleretningen ved atmosfærens yttergrense, er 1367 Wm^{-2}. Energifluksen fra sola er mye større enn fluksen fra andre stjerner og fra energiproduksjonen i jordas indre. Dersom netto innstrålt solenergi er lik utgående termisk stråling ved atmosfærens yttergrense, vil jorda være i strålingsbalanse. Nå kan vi tenke oss at denne strålingsbalansen forrykkes. Det kan skje ved forandringer i netto innstråling fra sola, eller ved at termisk stråling fra jorda og atmosfæren forandres. Det siste kan skje ved forandret refleksjon fra overflaten eller forandret absorpsjon i atmosfæren. Ubalansen vil føre til forandringer i temperaturforholdene slik at ny strålingslikevekt kan oppnås. Avviket fra strålingsbalansen som fremkalles av en parameter i klimasystemet, for eksempel økt CO_2 i atmosfæren, kalles *strålingspådrivet* knyttet til denne forandringen. I følge klimamodellene vil en fordobling av CO_2-innholdet i atmosfæren forårsake et strålingspådriv på om lag 4 Wm^{-2}.

I stedet for å se på strålingsbalansen ved atmosfærens yttergrense, har man i klimaforskningen valgt å se på ubalansen ved toppen av troposfæren (tropopausen) som befinner seg i en høyde på ca. 10 km. I IPCC-rapporten av 1995[3] blir strålingspådrivet definert som *"The global and annual mean change in the net irradiance at the tropopause from a radiative perturbation after allowing the stratosphere temperature to re-adjust to the radiation equilibrium, but with the surface and troposphere temperature held fixed at their unperturbed values"*. (Stratosfæren er atmosfæren fra tropopausen opp til ca. 50 km.) Grunnen til dette valget av definisjonene er at massen av stratosfæren er liten slik at den raskt vil innstille seg på en ny likevekt.

Virkningen på temperaturen, T, av et gitt strålingspådriv, Q, er gitt ved den enkle ligningen

$$\Delta T = \lambda Q \qquad (1)$$

der λ er klimasystemets følsomhet. Denne formelen sier at når strålingsbalansen ved atmosfærens yttergrense forandres, vil det påvirke overflatetemperaturen. Ligning (1) forutsetter at klimasystemet er kommet i en ny likevektstilstand. Det betyr at ligningen vil angi temperaturøkningen når systemet er kommet i en ny likevekt etter at Q har virket.

Drivhusgasser

Drivhusgasser er gasser som slipper gjennom det meste av solstrålingen, men absorberer termisk stråling fra bakken og atmosfæren. Foruten vanndamp er de viktigste drivhusgassene: karbondioksid (CO_2), metan (CH_4), lystgass (N_2O), halokarboner og ozon (O_3). Atmosfærens innhold av drivhusgasser har siden år 1750 økt betydelig på grunn av menneskelig aktivitet. Innholdet av drivhusgasser er nå betydelig høyere enn de preindustrielle verdiene bestemt ut fra iskjerner som dekker et tidsrom på mange tusen år. I isen finnes det luftbobler. Når det indre trykket i isen blir tilstrekkelig stort lukkes disse luftlommene. De vil da inneholde luft med sammensetning lik atmosfærens sammensetning på det tidspunktet. Den globale økningen av CO_2 skyldes i hovedsak bruk av fossilt brensel og forandringer i bruk av jordoverflaten. Forandringer i konsentrasjonen av metan er i hovedsak knyttet til landbruket.

CO_2 har økt fra en preindustriell verdi på ca. 280 til 379 ppm i 2005 (ppm står for andel per million). Atmosfærens konsentrasjon i 2005 overstiger klart det naturlige variasjonsområdet over de siste 650 000 år (180–300 ppm) avledet av iskjerner.

Den preindustrielle konsentrasjonen av metan var ca. 715 ppb (andel per milliard), men var i 2005 kommet opp i 1774 ppb. Også her overstiger konsentrasjonen klart det naturlige variasjonsområdet på 320–790 ppb.

Konsentrasjonen av nitrogenoksider har økt fra preindustriell verdi på ca. 270 til 319 ppb.

IPCC konkluderer nå med at det er svært stor sikkerhet (>90 %) for at netto effekt av menneskelig aktivitet er en oppvarming og at strålingspådrivet nå er på 1,6 (0,6–2,4) Wm^{-2}.

Antropogene bidrag fra ulike komponenter i Wm^{-2} (negative verdier betyr avkjøling), er:

- CO_2: 1,66 (1,49–1,83)
- CH_4: 0,48 (0,43–0,55)
- O_3 i troposfæren: 0,35 (0,25–0,65)
- Halokarboner: 0,34 (0,31–0,37)
- N_2O: 0,16 (0,14–0,18)
- Sot på snø: 0,1 (0,0–0,2)
- H_2O i stratosfæren: 0,07 (0,02–0,12)
- Kondensstriper fra fly: 0,01 (0,003–0,03)
- Albedo til skyer: -0,7 -(1,8–0,3)
- Aerosoler, direkte effekt: -0,5 -(0,9–0,1)
- Forandring av overflatealbedo: -0,2 -(0,4–0,0)
- O_3 i stratosfæren: -0,05 (-0,15–0,05)

Totalt bidrag: 1,6 (0,6–2,4) Wm^{-2}.

Naturlig bidrag:

- Solstråling: 0,12 (0,06–0,03) Wm^{-2}.

Observerte nyere klimaendringer

Oppvarming i klimasystemet er nå utvetydig. Det kommer klart frem av observert økning i temperaturen til den globale midlere atmosfære og havet, utbredt smelting av snø og is, og heving av det globale midlere havnivå.

Elleve av de siste 12 årene (1995–2005) kan rangeres blant de 12 varmeste årene siden man begynte å måle overflatetemperaturen med instrumenter. Den lineære trend for temperaturøkningen (en rett linje tilpasset de observerte verdier) for 100-året 1901–2000 var 0,6 °C. For perioden 1906–2005 er denne økt til 0,74 °C (0,56–0,92). Den totale temperaturøkningen fra 1850–1899 til 2001–2005 er 0,76 °C.

Urbane "varmeøyer" (oppvarming pga. energibruk i byer og tettsteder) er reelle, men lokale. De har en ubetydelig innvirkning, $< 0,006$ °C per dekade over land, og naturligvis ingen effekt over hav. Nyere analyser av ballong og satellittmålinger for temperaturen i den lavere og midlere troposfære viser at disse er i samsvar med bakkemålinger av temperaturen.

Observasjoner siden 1961 viser at den globale midlere temperaturen i havet har økt ned til en dybde på mist 3000 m.

I perioden 1961–2003 økte havnivået med 1,8 (1,3–2,3) mm per år. For perioden 1993–2003 var økningen 3,1 (2,4–3,8) mm per år. Den totale heving av havnivået for det tjuende århundre er estimert til 0,17 m.

Satellittdata for 1978 viser at den midlere årlige utbredelse av sjøisen i Arktis er blitt redusert med 2,7 (2,1–3,3) % per dekade. Sommerverdiene er redusert med 7,4 % per dekade.

Paleoklimatisk perspektiv

Paleodata (tempearturdata avledet av årringer i trær og lignende) støtter fortolkningen av data som viser at temperaturøkningen de siste 50 årene er uvanlig stor, i det minste for de siste 1300 år. Den siste gangen polarområdene i en betydelig periode var signifikant varmere enn nå (ca. 125 000 år siden), ledet redusert volum av polarisen til en heving av havnivået med 4 til 6 meter. Data fra iskjerner indikerer at den midlere polare temperatur for mellomistiden for 125 000 år siden var 3 til 5 °C høyere enn nå. Det skyldes i hovedsak andre verdier for jordas baneparametre, som jordaksens helning i forhold til baneplanet og jordbanens eksentrisitet.

Fortolkning av klimavariasjonene

I arbeidet med å utarbeide den siste klimarapporten har man hatt lengre og bedre tidsserier av data enn man hadde da 2001-rapporten ble skrevet. IPCC har vurdert om de observerte klimaforandringene er i samsvar med hva man kunne vente ut fra observerte ytre strålingspådriv, og om de er inkonsistente med alternative rimelige fysiske fortolkninger. De konkluderer med at det meste av den observerte økning i den globale midlere temperatur svært sannsynlig skyldes den observerte økning i konsentrasjonen av drivhusgasser. Dette er en klarere konklusjon enn det mann finner i 2001-rapporten. Der leser vi: "Det meste av oppvarmingen vi har observert over de siste 50 år skyldes sannsynligvis økningen i konsentrasjonen av drivhusgasser." Merkbare antropogene virkninger kan nå merkes i andre deler av klimasystemet, som oppvarming av havene, ekstremtemperatur og i vind systemene.

Det er sannsynlig at den økte konsentrasjonen av drivhusgasser alene ville ha ført til en større opp varming enn den som observeres, da utslipp fra vulkaner og antropogene aerosoler kan ha oppveiet for noe av oppvarmingen som ellers ville ha funnet sted.

Analyser utført ved hjelp av klimamodeller sammenlignet med observasjoner, kan for første gang sette oss i stand til å anslå følsomheten, λ, av klimasystemet, se ligning (1). Følsomheten for et likevektsklima er et mål på klimasystemets respons på et vedvarende strålingspådriv. Følsomheten ligger sannsynligvis i området 0,5 til 1,1 $°C\,W^{-1}m^2$, med 0,75 $°C\,W^{-1}m^2$ som det beste estimat.

Prognoser

Temperatur

Siden 2001-rapporten ble utarbeidet har man til rådighet en rekke simuleringer utført med et stort utvalg av klimamodeller. I tillegg har man betydelige informasjoner fra observerte data. Det tilsier at man har et kvantitativt grunnlag for å vurdere en rekke aspekt ved fremtidige klimaforandringer.

Modellberegningene er basert på en rekke antagelser av fremtidige utslipp eller konsentrasjoner av klimagasser. De ulike scenariene for konsentrasjonen av klimagasser er gitt i "Special Report on Emission Scenarios".[4]

For de kommende to dekadene viser modellberegninger basert på en rekke utslippsscenarier en oppvarming på 0,2 °C per dekade. Selv om konsentrasjonen av drivhusgasser skulle bli holdt på år 2000- nivået, vil en forvente en oppvarming på 0,1 °C per dekade.

IPCC-rapporten av 1990, antydet at temperaturen ville stige med 0,15 til 0,3 °C per dekade i perioden 1995 til 2005. Dette kan sammenlignes med den observerte verdi på 0,2 °C per dekade. Dette tyder på at prognosene for den nære fremtid er gode.

Dersom man fortsetter å slippe ut drivhusgasser på dagens nivå eller høyere, vil det forårsake videre oppvarming og utløse mange forandringer i det glo bale klimasystemet i de neste 100 år, forandringer som svært sannsynlig vil bli større enn de vi har observert i det tjuende århundre. Temperaturen for dekaden 2090–2099 vil bli høyere enn temperaturen for dekadene 1980–1999 med 1,8 °C (1,1–2,9) for det laveste utslippsscenariet, og 4,0 °C (2,4–6,4) for det høyeste scenariet.

Tilbakekoplinger

Det finnes en rekke tilbakekoplinger i klimasystemet. Her skal bare nevnes et par av slike. En oppvarming av klimasystemet vil redusere evnen til land og hav til å ta opp CO_2 og dermed øke den andelen av antropogene CO_2-utslippene som vil forbli i atmosfæren. Denne tilbakekoplingen kan øke den tilsvarende temperaturøkningen med ca. 1 °C. Metaninnholdet i atmosfæren vil bli sterkt påvirket av en eventuell oppvarming. Store mengder metan er lagret i bakken der det er permafrost. Der vil vi ha metan i "isfasen". Ved en global oppvarming vil mer av denne gassen gå over i gassfase og frigjøres til atmosfæren. Dermed vil metaninnholdet i atmosfæren øke, og det vil forsterke oppvarmingen.

Havnivå

Beregningene av heving av havnivået er beheftet med større usikkerhet enn temperaturberegningene. Man har beregnet havnivået for dekaden 2090–2099 og sammenlignet med verdien for 1980– 1999. For det høyeste utslippsscenariet når man en verdi på 0,26–0,59 m. Dette er en lavere verdi enn det som ble gitt i 2001-rapporten. Det skyldes bedre informasjon om usikkerhet i de beregnede bidragene. Men man har ikke tatt hensyn til usikkerheten vedrørende tilbakekoplinger i klima–karbon syklusen. Heller ikke omfatter modellberegningene bidraget som skyldes økte strømninger i isen på Grønland og i Antarktis, da slike data mangler i litteraturen. Senere tids litteratur antyder at denne flyten i isen har økt raskere enn antatt.[5–7] Dersom effekten av økt strømning i isen øker lineært med økningen i den globale temperaturen, må verdiene for økt havnivå, nevnt ovenfor, økes med 0,1 til 0,2 m. Høyere verdier kan ikke utelukkes, men her behøves mer kunnskaper.

Summary for Policymakers understreker at konsentrasjonen av karbondioksid, metan og lystgass har økt betydellig på grunn av menneskelig aktivitet. Konsentrasjonen er nå betydelig høyere enn de preindustrielle verdiene bestemt ved materiale fra iskjerner. Økningen i mengden av karbondioksid skyldes i hovedsak bruk av fossilt brensel og forandringer i bruk av landområdene. Økningen i konsentrasjonen av metan og lystgass skyldes i hovedsak landbruket Det er nå høyere sikkerhet i beregnet mønster av oppvarming og andre regionale mønstre av forandring av vindsystemer, nedbør, ekstremfenomener og isforhold. Oppvarming og heving av havnivået på grunn av antropogene påvirkninger, vil fortsette på grunn av den lange tidsskalaen forbundet med klimaprosesser og tilbakevirkninger selv om konsentrasjonen av klimagassene kunne stabiliseres.

Litteratur

1. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC: *Summary for Policymakers,* (2007)
2. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC: *Climate Change 2001, The Science of Climate Change,* (2001)
3. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC: *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change* (1995)
4. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC: *Special Report on Emission Scenarios* (2000)
5. R.A. Kerr: *Climate Change. A Worry Trend of Less Ice, Higher Seas.* Science 24 March, 1698-1701 (2006)
6. Isabella Vellcogne and John Wahr: *Measurements of Time Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctia.* Science 24 March, 1754-1756 (2006)
7. Andrew Shepherd and Duncan Wingham: *Recent Sea-Level Contributions of the Antarctic and Greenland Ice Sheets.* Science 16 March, 1529–1532 (2007)

∞

Hvem er fysikkstudenten?

Silje Rødseth og Berit Bungum *

Det snakkes i dag mye om mangelen på realfaglig arbeidskraft i Norge og hva årsaken til det kan være. I stedet for å fokusere på alle som ikke velger et realfaglig studium, ser vi her nærmere på hvem de er, de som har valgt å studere fysikk. Hva er det de finner interessant i faget? Hva har motivert dem til å velge nettopp fysikk, og hvordan ser de på sin framtidige yrkeskarriere?

Norges, og mange andre industrialiserte lands næringsliv, står overfor utfordringer som krever høy kompetanse innenfor realfagene. Samtidig sees en tendens til at det blir stadig vanskeligere å rekruttere ungdommer til slike studier. Resultater fra ROSE (*The Relevance of Science Education*) og andre undersøkelser, tyder på at studie- og yrkesvalg i vårt samfunn i stor grad er blitt et selvrealiseringsprosjekt hvor spørsmålet *"Hva skal du bli?"* er erstattet med *"Hvem vil du være?"*.(1) Utdanningsvalg er følgelig en viktig del av de unges identitetsbygging. Hvis fysikkstudenter er som unge mennesker flest, er det deres interesse for dette fagområdet som har brakt dem til slike studier, og de finner en form for selvrealisering i det å studere nettopp fysikk.

I denne artikkelen presenterer vi noen resultater fra en undersøkelse som tar sikte på å belyse fysikkstudentens faglige interesser, motivasjon og begrunnelser for sitt studievalg, samt deres tanker om sin framtid med fysikk. Utarbeiding av denne undersøkelsen og analyse av resultatene, var en del av en prosjektoppgave i sivilingeniørstudiet Fysikk og matematikk, ved NTNU.(2)

Gjennomføring av undersøkelsen

Undersøkelsen *"Hvem er fysikkstudenten?"* ble gjennomført blant begynnerstudenter i fysikk ved NTNU i Trondheim, høsten 2006. Utvalget av studenter var de som tok emnet FY1001 *Mekanisk fysikk*, som inngår i sivilingeniørstudiet, realfagstudiet og integrert lærerutdanning i realfag. Dette emnet er det første møtet med fysikkfaget på universitetsnivå for studentene på disse studieprogrammene. Studentene fikk utdelt et skjema hvor de fleste spørsmål hadde forhåndsdefinerte svarkategorier, mens noen spørsmål var åpne. Spørreskjemaet ble utdelt i en forelesning i begynnelsen av semesteret, noe som sikret en høy svarprosent.

144 studenter svarte på undersøkelsen, som tilsvarer en svarprosent på hele 96. Av disse var 90 studenter på sivilingeniørstudiet Fysikk og matematikk, 25 studenter på bachelorstudiet Fysikk, og 18 var studenter på 5-årig Lærerutdanning i realfag. I tillegg fikk vi inn svar fra noen studenter som primært studerte andre fag, men disse har vi holdt utenfor analysene i denne sammenhengen.

Hvilke fysikktemaer interesserer?

Resultatene fra undersøkelsen viser at når studentene ser tilbake på fysikkundervisningen på videregående skole, er det noen temaer de fant klart mer interessante å lære om enn andre. Dette framgår av Tabell 1, som viser middelverdier for temaer fra skolefysikken. Temaene var forhåndsdefinerte slik at de i hovedtrekk samsvarer med emner fra læreplanen for videregående skole.

Resultatene viser at universet som tema var det aller mest populære, med en middelverdi på 1,68, hvor verdien 1 representerer "svært interessant" og 2 er "interessant". Annen moderne fysikk som relativitetsteori og kvantefysikk, kom også høyt opp. Dette gir et bilde av fysikkstudenten som undrende og nysgjerrig. Det er de nyere og til dels uutforskede deler av fysikken som fenger mest, noe som kanskje kan bety at fysikkstudentene tiltrekkes av erkjennelsesmessige utfordringer og ubesvarte spørsmål. De mer tradisjonelle (og nyttige?) delene av skolefysikken, som elektrisitet og magnetisme, havnet be-

*Institutt for fysikk, NTNU

tydelig lenger nede. Unntaket blant disse er temaet krefter og bevegelse, som synes å være mer populært enn annen tradisjonell skolefysikk. Helt på bunn finner vi historisk fysikk, som dreier seg om vekselvirkningen mellom fysikk og samfunn gjennom tidene. Her var det under 20 % som mente dette temaet var interessant eller svært interessant, og middelverdien ligger vesentlig lavere enn for de øvrige temaene. Historisk fysikk er blitt vektlagt i læreplaner i nyere tid med tanke på å tydeliggjøre faget som menneskelig kulturprodukt. Det ser imidlertid ikke ut til at dette temaet har engasjert studentene i særlig grad.

Tabell 1. Studentenes interesse for ulike fysikktemaer. Svaralternativene gikk fra 1 (svært interessant) til 5 (ikke interessant).

Tema	Middelverdi
Universet	1,68
Relativitetsteori	1,74
Krefter og bevegelse	1,84
Kvantefysikk	1,93
Atom- og kjernefysikk	1,95
Lys og bølger	2,05
Magnetisme	2,16
Induksjon	2,33
Gjøre eksperimenter	2,39
Elektrisitet	2,44
Termofysikk	2,58
Historisk fysikk	3,08

Det er interessant å se disse resultatene i sammenheng med undersøkelser gjort blant elever i grunnskole og videregående skole. I prosjektet *FysikkUtdanning i Norge* (FUN) fant man at det for elever som hadde valgt fordypning i fysikk i videregående skole, var verdensrommet, relativitetsteori og andre "spektakulære" emner som fascinerte mest i fysikkfaget.[3] Gjennom prosjektet *The Relevance of Science Education* (ROSE) fant man at norske 15-åringer også satte temaer som omhandlet verdensrommet høyt når de ble presentert for en lang rekke mulige temaer å lære om i naturfag.[4]

Vår undersøkelse tyder på at de temaene fra naturfag og skolefysikk som interesserer hele kullet av elever mest, også representerer en viktig inspirasjon for den gruppen som senere velger fysikkfaget som sin studievei. Det kan altså se ut til at de unge som har valgt fysikk videre har en tilsvarende interesseprofil innen faget som sine medelever som ikke har valgt fysikk. Forskjellen er kanskje bare at de som velger fysikk er interesserte *nok*?

Hva inspirerer til fysikkstudier?

På et åpent spørsmål om hva som har inspirert til å lære mer om fysikk, kom det inn svar fra 67 av studentene. Blant disse er det 15 som nevner lærere, og det er ulike egenskaper ved dem studentene mener har hatt betydning for deres studievalg. Her er noen eksempler:

- Ein fagleg dyktig og strukturert lærar på vgs.
- Læreren min i Fysikk fra videregående var veldig flink og formidlet faget på en spennende måte, og dette gav mersmak
- Dyktig lærer. Veksling mellom undervisning og regning i timene
- Morsom lærer som dro alt ut til et ekstrempunkt for å gjøre det morsomt

Som eksemplene viser, er det ikke entydig gitt hva som kjennetegner en god lærer. Elevene fokuserer både på faglig dyktighet og variert undervisning, og at læreren evner å framstille faget som morsomt. Læreren har utvilsomt en sterk innvirkning på elevenes forhold til fysikk, og dersom læreren oppfattes som god, kan han eller hun spille en vesentlig rolle i å inspirere elever til videre studier.

Andre inspirasjonskilder studentene oppgir, er ulike fysikkfenomener de har observert og undret seg over. Slike fenomener nevnes like ofte som læreren. Erfaringer både fra bilkjøring, langrenn og stjernekikking er med. Mange skriver om fenomener som har med verdensrommet å gjøre, i samsvar med at "universet" ble rangert høyest blant temaene fra skolens fysikkfag. Flere nevner at de har hatt tilgang til informasjon om dette i form av bøker og stjerneatlas fra de var ganske små. En skriver:

- Jeg fikk min første atlas da jeg var 7 år. Der var det et helt kapittel om stjerner og universet. Jeg syns det var kjempespennende og har siden vært interessert i fysikk.

Utover naturfenomener, lærere, familie og andre inspirasjonsfaktorer, er det flere som oppgir at de ganske enkelt er nysgjerrig på verden, tiltrekkes av utfordringer og filosofiske betraktninger.

- Er bare generelt nysgjerrig, men jeg ser koordinatsystemer overalt hvor jeg går
- Fysikk kan besvare det meste av ting en kan lure på og tenke over

- Har alltid vært fascinert av naturen rundt oss og universet generelt ...Kan ting som skjer alltid forklares, og finnes det noe mer enn det vi oppfatter?
- Er bare veldig nysgjerrig på alt rundt meg og dets funksjon og mening

Studentene ble også spurt om hvilke faktorer de mener har hatt direkte betydning for dem i selve utdanningsvalget. Tabell 2 viser middelverdiene for ulike forhåndsdefinerte faktorer.

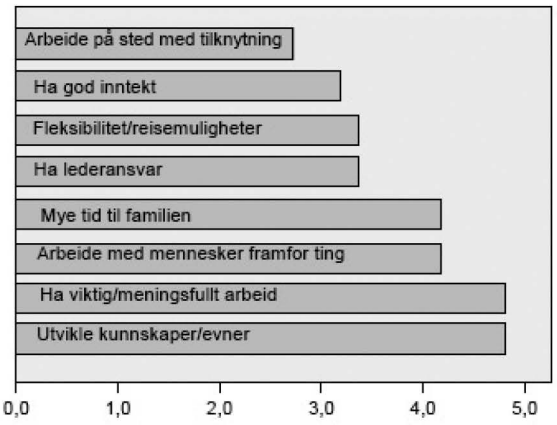
Tabell 2. Årsaker til valg av fysikkstudium. Svaralternativene gikk fra 1 (helt enig) til 4 (helt uenig).

Årsak til valg av fysikk	Middel
Interesse for naturens oppbygning	1,50
Interesse for teknologi	1,61
Studiets bredde og jobbmuligheter	1,86
Interesse for matematikken i studiet	2,67
Eliminerte det som var uaktuelt	3,33
Tilfeldig valg, visste lite om studiet	3,50

På de to øverste plassene i tabellen finner vi interesse for fagfeltets ulike aspekter, henholdsvis naturens innerste vesen og muligheter faget skaper for teknologien. Dette er helt i tråd med at ungdom i dag velger seg utdannelse primært på bakgrunn av hva de er interessert i. Samtidig ser studentene framover mot arbeidslivet og mener at studiets bredde er viktig for framtidige jobbmuligheter. Like bevisste synes studentene å være på at studievalget ikke har vært basert på tilfeldigheter. Så mye som 65 % av respondentene oppgir at de er helt uenig i påstanden om at de har gjort et tilfeldig valg innefor realfag.

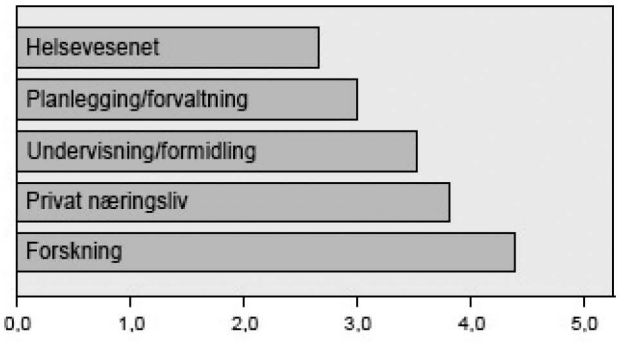
Fysikkstudentenes syn på framtida

Studentene ble også spurt om hva de ser som viktig i en framtidig jobb. Det framkom at det vesentligste for fysikkstudentene i undersøkelsen, er at jobben de får oppleves som viktig og meningsfull, se figur 1. Sett i sammenheng med hvor viktig interessen var for dem i studievalget, gir det et bilde av fysikkstudenten som målbevisst og lærevillig. Arbeidsplassens geografiske beliggenhet ser ikke ut til å ha stor betydning, og det samme gjelder behovet for å få lederansvar i jobben. Da er god inntekt en viktigere faktor, samt å ha tid til familien. Ser vi her en generasjon fysikere på full fart inn i tidsklemma?



Figur 1. Hvor viktige er ulike faktorer med hensyn til jobb? Middelverdier hvor svaralternativene gikk fra 1 (ikke viktig) til 5 (svært viktig).

Når det gjelder hvilken type jobb de kan tenke seg, er studentene mangfoldige og holder mulighetene åpne. Vi ser av figur 2 at forskning og privat næringsliv er mest aktuelt. Blant dem som ser helsevesenet som en aktuell arbeidsplass, var det ikke overraskende en overvekt av kvinner. 45 % av de kvinnelige respondentene så helsevesenet som en aktuell eller svært aktuell, arbeidsplass, mens bare 20 % av de mannlige mente det samme.



Figur 2. Hva slags jobb ønsker fysikkstudentene? Middelverdier hvor svaralternativene gikk fra 1 (ikke aktuelt) til 5 (svært aktuelt).

Konklusjon

Resultatene fra undersøkelsen "Hvem er fysikkstudenten" viser at våre studenter har gjort sine studievalg ut fra en genuin interesse for fysikk. De framstår som undrende unge mennesker som har latt seg fascinere av fysikk relatert til verdensrommet og andre emner som er grensesprengende for

vår erkjennelse. Som inspirasjon til sitt studievalg henviser mange til egen nysgjerrighet, samt dyktige og engasjerende lærere i skolens fysikkfag. Kanskje er derfor nettopp læreren og verdensrommet to nøkkelfaktorer når det gjelder videre rekruttering til fysikk. I "Kunnskapsløftet" er verdensrommet blitt et eget hovedområde i naturfag, og i videregående skole har emner som er erkjennelsesmessig utfordrende fått en tydelig plass i fysikkfaget. Resultater fra undersøkelsen vår tyder på at dette skulle legge godt til rette for økt rekruttering til studier i fysikk!

Referanser

1. Camilla Schreiner og Svein Sjøberg: *Et meningsfullt naturfag for dagens ungdom?* NorDiNa, nr. 2 (2005)
2. Silje Rødseth: *Hvem er fysikkstudenten?* Prosjektoppgave utført ved NTNU, Institutt for Fysikk, Trondheim: NTNU (2006)
3. Carl Angell, Ellen K. Henriksen og Anders Isnes: *FUN, En undersøkelse om fysikkutdanning i Norge.* Rapport fra undersøkelsen FysikkUtdanning i Norge, Oslo: Universitetet i Oslo (2000)
4. Svein Sjøberg: *Naturfag som allmenndannelse. En kritisk fagdidaktikk.* Oslo: Gyldendal Akademisk (2004)

∞

Begrepet arbeid i skolefysikken

*Jan Pålsgård * og Christian Callin * **

To work, or not to work; that is the question.

Fritt etter William Shakespeare

Arbeid og energi er viktige begreper i dagliglivet, skolefysikken og den profesjonelle fysikk. Slår vi opp i en vanlig ordbok, f.eks. Bokmålsordboka, kan vi lese at "arbeid er lik kraft multiplisert med vei", og at "energi er evne til å utføre arbeid". I det følgende skal vi se litt på hvordan forskjellige lærebøker omtaler begrepene arbeid og energi.

Angrepspunktmodellen

Øgrim, Ormestad og Lunde utgav *Rom Stoff Tid* våren 1968. Der finner vi følgende definisjon: "Hvis kraften F angriper et legeme, og angrepspunktet for kraften flytter seg avstanden s, så er det arbeidet kraften utfører $W = F \cdot s$."[1] Arbeid blir altså definert som kraft multiplisert med *forflytningen av angrepspunktet.* Denne definisjonen er beholdt i alle senere utgaver av *RST.* Derfor kunne vi kalle det arbeidsbegrepet som *RST* definerer, for *RST-modellen.* Men for å være mer nøytral i forhold til lærebøker, vil vi kalle det *angrepspunktmodellen* eller *AP-modellen.*

En ivrig talsmann for AP-modellen er lektor Geir Arge ved Nesbru videregående skole. Jfr. hans artikkel *Kvalitativ undervisning i fysikk* (*FFV* nr 3, 2002).

Otto Øgrims *Mekanisk Fysikk* understreker grunnlaget for AP-modellen: "Størrelsen arbeid er kjent fra skolen. Men noen misforståelser er nokså vanlige, også i lærebøkene... Arbeid er det skalære produkt av kraft $\vec{F}$ og forflytning $d\vec{s}$ av angrepspunktet for kraften... Vær omhyggelig med å ta med ordet angrepspunkt i definisjonen."[2]

Tyngdepunktmodellen

Våren 1968, samtidig med *første* utgave av RST, kom *siste* utgave av *Isaachsens Fysikk.* Der står det: "Vi trekker en kloss bortover et bord. Er

* Fagerborg vgs; ** pensjonert lektor

kraften F, og kan den flytte klossen et stykke s, sier vi at kraften har utført et arbeid som vi definerer: $W = F \cdot s$."[3] Her snakkes det om forflytning av gjenstanden, og det kan presiseres som forflytning av gjenstandens tyngdepunkt. Derfor vil vi kalle det arbeidsbegrepet som Isaachsen definerer, for *tyngdepunktmodellen* eller *TP-modellen.*

ERGO Fysikk er en videreføring av Isaachsens fysikk, og i 1977 kom en preliminær utgave som videreførte Isaachsens modell: "Når vi drar en kloss bortover et bord, må vi bruke en kraft. Hvis kraften er F, og hvis klossen flytter seg et stykke s, så utfører kraften et *arbeid* som vi definerer på følgende måte: $W = F \cdot s$."[4] Samme definisjon er brukt i alle senere utgaver av *ERGO Fysikk*, som altså holder seg til TP-modellen.

State of the Art

Før vi går over til å diskutere forskjellen mellom AP-modellen og TP-modellen, skal vi se hvordan begrepet arbeid blir definert i profesjonelle lærebøker, det vil si lærebøker på universitetsnivå. Som eksempel kan vi ta en norsk lærebok, *Generell fysikk 1* av Lien og Løvhøiden. De gir en helt generell definisjon av arbeid som en kraft utfører på en partikkel når denne beveger seg i et tredimensjonalt rom: En kraft $\vec{F}_i$ virker på en partikkel P som følger banen C fra punkt A til punkt B. Arbeidet W_i som $\vec{F}_i$ utfører på partikkelen, er definert som integralet

$$W_i = \int_A^B \vec{F}_i \cdot d\vec{r} \tag{1}$$

Dersom flere krefter gjør arbeid, blir disse kreftenes totale arbeid

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i = \int_A^B \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \cdot d\vec{r} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} \tag{2}$$

der altså $\vec{F} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$.[5]

Felles for de fleste universitetsbøker er at de definerer arbeid ved et vei-integral,

$$W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{s} \tag{3}$$

Forflytningen $d\vec{s}$ angis enten uspesifisert som forflytningen av gjenstanden, eller spesifisert som forflytningen av tyngdepunktet i gjenstanden.

Vi tar et par eksempler til. Nettleksikonet *Wikipedia* sier: "I fysikken sier vi at det blir utført arbeid når en gjenstand blir forflytet en viss strekning under påvirkning av en kraft. Matematisk sett er arbeidet lik vei-integralet av kraften,

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \tag{4}$$

hvor $\vec{F}$ er kraften på en gjenstand og $\vec{s}$ er forflytningen av gjenstanden."[6] Poenget er at det er *gjenstandens* forflytning som teller, ikke kraftens forflytning.

Så sakser vi fra Giancoli: "Summen av alle kreftene som virker på et system, er lik den totale massen av systemet multiplisert med akselerasjonen av massesenteret. Dette er Newtons annen lov for et system av partikler, og den gjelder også for en utstrakt gjenstand (som kan betraktes som et system av partikler). Altså slutter vi at massesenteret i et system (eller en utstrakt gjenstand) med total masse M beveger seg som én enkelt partikkel med masse M som blir påvirket av den samme ytre kraften. Det vil si at systemet beveger seg som om den totale massen var samlet i massesenteret og de ytre kreftene virket i det punktet."[7] Dette er klar tale, og fører oss rett inn i TP-modellen. TP-modellen handler jo om et massepunkt som vi identifiserer med systemets massesenter eller tyngdepunkt.

Ifølge definisjonen av arbeid har vi som sagt

$$W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{s} \tag{5}$$

Ved hjelp av Newtons annen lov kan integralet skrives som

$$\int_C \vec{F} \cdot d\vec{s} = m \int_C \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt = \tfrac{1}{2} m \int_C \frac{d}{dt}\left(v^2\right) dt \tag{6}$$

Vi får derfor

$$W = \tfrac{1}{2} m \left(v_2^2 - v_1^2\right) \tag{7}$$

som er *setningen om kinetisk energi*: Når en gjenstand blir påvirket av krefter, er kreftenes arbeid lik forandringen av den kinetiske energien hos gjenstanden.[8]

Utledningen bygger på Newtons annen lov. Geir Arge sier derfor at setningen om kinetisk energi "er egentlig impulsloven forkledd som en energiligning". Gjerne det. Logisk sett spiller Newtons annen lov en dobbeltrolle i klassisk mekanikk: Den er *både* en naturlov, $\vec{F} = m\vec{a}$, *og* en realdefinisjon av begrepet kraft, $\vec{F} \equiv m\vec{a}$. Og begrepet kraft definerer begrepet arbeid. Derfor er det i siste instans Newtons annen lov som definerer arbeid.

Diskusjon

AP-modellen og TP-modellen gir *samme* resultat når gjenstanden er et massepunkt, for da er kraftens angrepspunkt identisk med massepunktet selv. Modellene gir samme resultat også når vi betrakter en utstrakt gjenstand som er stiv og ikke roterer, for da får gjenstandens tyngdepunkt samme forflytning som kraftens angrepspunkt. Men modellene gir *forskjellige* resultater når vi betrakter en utstrakt gjenstand som kan deformeres, for da får gjenstandens tyngdepunkt en annen forflytning enn kraftens angrepspunkt. Hvilken modell gir *da* resultater som er best i samsvar med vår fysiske intuisjon?

Eksempel 1. Vi har en kloss, en masseløs fjær og en vegg. I det første tilfellet sitter fjæren fast i klossen; da er systemet "klossen og fjæren". I det andre tilfellet sitter fjæren fast i veggen; da er systemet "klossen". Fjæren er sammenpresset mellom klossen og veggen. Så slipper vi klossen. I det første tilfellet virker den ytre kraften *fra veggen på fjæren.* Angrepspunktet er i ro, og intet arbeid blir utført ifølge AP-modellen. I det andre tilfellet virker den ytre kraften *fra fjæren på klossen.* Nå flytter angrepspunktet seg, og vi får arbeid ifølge AP-modellen. I begge tilfeller får klossen like stor kinetisk energi, som følge av en like stor ytre kraftvirkning.

Eksempel 2. En bil med masse m og vannrett hastighet $\vec{v}_0$ kolliderer med en loddrett fjellvegg, krølles sammen og kommer til ro. Fjellveggen påvirker bilen med en meget stor kraft under kollisjonen, men kraftens angrepspunkt forflytter seg ikke. Derfor utfører ikke denne kraften noe arbeid, ifølge AP-modellen. Men bilens tyngdepunkt T flytter seg. Det er prinsipielt mulig å finne tyngdepunktet både før og etter kollisjonen, og dermed også forflytningen s_T av tyngdepunktet. Tyngdepunktet er påvirket av en gjennomsnittskraft F_T under kollisjonen. I prinsippet kan vi regne ut både kraften F_T og kraftens arbeid $-F_T s_T$ av setningen om kinetisk energi, $-F_T s_T = \frac{1}{2}mv_0^2$. Altså blir det utført arbeid, ifølge TP-modellen.

Eksempel 3. På en bil som bremser eller akselererer med rullende hjul, blir det ikke gjort arbeid ifølge AP-modellen. Kraftens angrepspunkt er jo momentant i ro. (Man snakker i stedet om en energiomforming innenfor systemet bil.) På en bil som bremser med låste hjul blir det imidlertid gjort arbeid. Her kommer også AP-modellen frem til $W_{\text{friksjon}} = -R \cdot s = -\frac{1}{2}mv^2$. TP-modellen kommer frem til dette resultatet uansett om hjulene er låst eller ikke.

Eksempel 4. På et menneske som går opp en trapp, blir det ifølge AP-modellen ikke gjort arbeid. TP-modellen kommer her, med støtte i ikke-konservative krefters arbeid, frem til et arbeid som er lik forandringen i mekanisk energi. Vi vil også nevne at Richard Feynman bruker trappegjengeren som et eksempel på arbeid: "Running upstairs *is* considered as doing work (in running *downstairs*, one gets work out of the world, according to physics)... Clearly, the physical definition of work differs from the physiological definition."[9]

Eksempel 5. En turner klatrer i et tau. Kraftens angrepspunkt er i ro, og AP-modellen hevder at det ikke skjer noe arbeid, men en energiomforming fra indre energi til mekanisk energi. TP-modellen vil hevde at de ytre kreftene gjør et arbeid som er lik gjennomsnittskraften ganger forflytningen av tyngdepunktet. Vi tror dette er i tråd med elevenes intuitive oppfatninger. At det er en ytre kraft som står for arbeidet, er imidlertid ikke det samme som å si at energien kommer utenfra. Et system kan ikke forandre sin mekaniske energi uten å "ta tak i" omgivelsene (et tau, en trapp eller en vei), men energien kan godt komme fra systemet selv.

Strid om ord

AP-modellen og TP-modellen har hver sin definisjon av arbeid. AP-modellen snakker om forflytningen av kraftens angrepspunkt. TP-modellen snakker om forflytningen av gjenstandens tyngdepunkt. Er det da slik at den ene modellen er sann og den andre er usann? Vi tror ikke det.

De to definisjonene av arbeid er *normative* definisjoner, og normative definisjoner er hverken sanne eller usanne; de er *ikke* realutsagn om naturen, det vil si utsagn som kan verifiseres eller falsifiseres. En normativ definisjon er bare et *forslag til språkbruk.* Og setningen om kinetisk energi er *ikke* en naturlov. *RST* kaller den en *regel*, *ERGO* kaller den en *setning* og engelskspråklige lærebøker kaller den et *teorem.*

Striden mellom AP-modellen og TP-modellen er altså ikke en strid om hva som er sanne utsagn om naturen; striden er snarere en *strid om ord.* I det foregående har vi skissert noen eksempler der TP-modellen etter vårt skjønn gir rimeligere konklusjoner enn AP-modellen, det vil si konklusjoner som er mer i samsvar med folks fysiske intuisjon. Men det er jo en nyttig erkjennelse at selv i klassisk mekanikk er det mer enn én måte å betrakte tingene på.

Referanser

1. O. Øgrim, H. Ormestad og K. Lunde: *Rom Stoff Tid*, Cappelen (1968)
2. O. Øgrim: *Mekanisk fysikk*, Universitetsforlaget (1982)
3. D. Isaachsen: *Fysikk for realgymnaset*, Aschehoug (1968)
4. C. Callin og J. Frøshaug: *Fysikk*, Aschehoug (1977)
5. J.R. Lien og G. Løvhøiden: *Generell fysikk 1*, Universitetsforlaget (2001)
6. Wikipedia: *Mechanical work*
7. D.C. Giancoli: *Physics*, Prentice Hall (1998)
8. H. Goldstein: *Classical Mechanics*, Addison-Wesley (1959)
9. R. Feynman: *Lectures in Physics*, Addison-Wesley (1983)

∞

Fysikk i skolen

Ikke skyt på pianisten!

På side 28 i *FFV* nr 1, 2007, har Einar Halmøy, NTNU, en artikkel om fysikk i skolen. Han skriver at han "har sett gjennom en av de brukte lærebøkene i faget (*ERGO 2FY*) og ble forskrekket over det magre innholdet". Ettersom jeg har vært med på å skrive *ERGO 2FY*, vil jeg gjerne gi noen kommentarer.

Lærebøkene må følge *Læreplan for videregående opplæring*, som ble utgitt av Departementet i forbindelse med Reform 94. Når *ERGO 2FY* bare har Ohms lov for likestrøm, mens vekselstrøm og magnetisme ikke er nevnt, er det fordi læreplanen for 2FY bare krever at "elevene skal kunne beregne strømmer og spenninger i likestrømskretser". Magnetisme og elektromagnetisk induksjon kommer ikke før i 3FY. Impedans og reaktans er ikke pensum.

Når mekanikken beskriver bare rettlinjet bevegelse, ikke rotasjon og sentrifugalkraft, er det fordi rotasjon ikke kommer før i 3FY. Men sentrifugalkraft er ikke pensum i 3FY heller, bare sentripetalkraft. Begrepet sentrifugalkraft forutsetter jo Einsteins ekvivalensprinsipp som hittil ikke har vært pensum, men kommer i læreplanen fra 2007.

På den annen side kritiserer Halmøy at "atomfysikk og kjernefysikk, inkludert en oppramsing av kvarker" er med i 2FY, og legger til: "Hva blir det neste: Skal det lille om Ohms lov kuttes til fordel av prekestoff om strengteori og ormehull?" Også her må jeg henvise til læreplanen, som krever at elevene skal "kjenne til hovedklassene av elementærpartikler og de fire grunnleggende vekselvirkningene".

Jeg skal være den første til å innrømme at det er tilnærmet umulig å skrive meningsfylt om dette på 2FY-nivå. På den annen side vil jeg håpe at vi som skriver lærebøker (vi har i det minste hovedfag), kan skrive litt mer etterrettelig om slike emner enn det elevene kan lese i avisen – hvis de leser aviser.

Jeg er imidlertid hjertens enig med Halmøy i at også 3FY burde kreves av alle elever som skal studere fysikk ved universiteter og høyskoler.

Moralen for denne minidebatten må være: Ikke skyt på læreboken! Det er Departementet som har skrevet læreplanen.

Christian Callin

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2007

Fysikkolympiaden i Norge foregår i tre runder. Vi starter med en første uttagningsrunde i november, der alle elever i videregående skole kan delta. "Pensum" er hentet både fra 2FY og 3FY slik at de aller fleste som deltar går i tredje klasse. I år deltok 499 elever fra 80 skoler. Det er omtrent det samme antallet som i fjor.

Resultatene tyder på at oppgavene var noe i vanskeligste laget. De var i alle fall utfordrende nok! Bestemann fikk 23 av 24 poeng! Det var Olav Bakken Røthe fra Danielsen vgs. i Bergen. De som hadde 12 poeng (altså halvparten riktig) eller mer, fikk diplom, og de fikk være med i andre runde. Andre runde fant sted 1. februar, og det var 67 elever som deltok. Her ble Vidar Klungre fra Firda vgs., Sandane, best med 24 av 24 poeng!

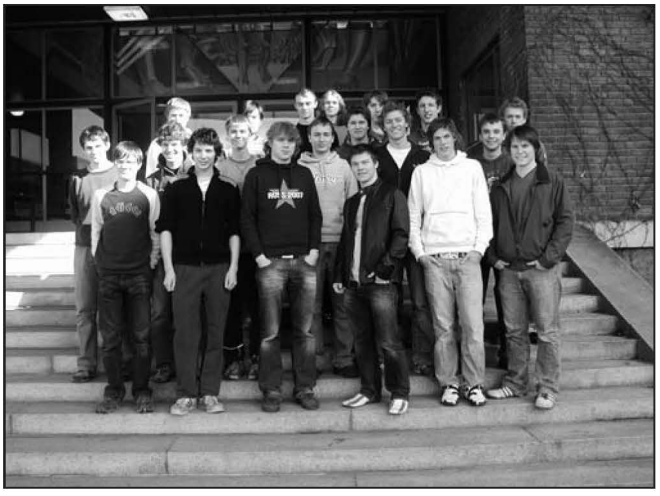
I uken 26–30. mars ble det arrangert kurs og norsk finale ved Fysisk institutt, UiO. 20 elever deltok. Kurset er svært omfattende og intenst. Her gjennomgår vi i rask rekkefølge en rekke temaer som

ikke er med i norsk skolefysikk. Pensum i den internasjonale finalen går ganske langt utover norsk skolefysikk. Men det gjelder også for de fleste andre landene som deltar. På programmet sto imidlertid ikke bare passende doser forelesninger, laboratorieøvelser og oppgaveløsning, men også populærforedrag, sosiale tilstelninger, omvisning og orienteringer om studier ved UiO.

Vidar Klungre vant den norske finalen. Han er en av noen ganske få som har deltatt i den norske finalen to ganger. I fjor ble han nr. 5. Vidar er imidlertid enda mer opptatt av matematikk enn fysikk, og han vil derfor heller delta i den internasjonale matematikkfinalen. Vi gratulerer uansett!

De fem neste på resultatlisten skal være med til finalen i Iran til sommeren. Disse er: Yi Luo, Bryne vgs. på Jæren, Øyvind Indrebø, U. Pihl vgs. i Bergen, Olav Røthe Bakken, Danielsen vgs. i Bergen, Martin Hauge og Ivar Staurseth, begge fra Skeisvang vgs. i Haugesund. Øyvind Indrebø var også en av de fem som deltok i den internasjonale finalen i Singapore sommeren 2006.

Her er en oppmuntrende tilbakemelding vi har fått fra en av deltakerne: *Jeg er veldig fornøyd med opplegget. En uke med fysikk på heltid, og ikke minst en større progresjon enn i 3FY, gjorde at vi fikk valuta for pengene. (Vi betalte jo ingenting, så det er i og for seg ikke så vanskelig å få til). De ulike populærforedragene gjorde uka enda mer interessant, pluss i margen for det.*



Deltakerne på treningskurset for fysikkolympiaden

Vi tror at deltakelse i den internasjonale fysikkolympiaden (og lignende arrangementer) er ett av en rekke tiltak for å stimulere skoleelever med interesse og anlegg for fysikk og realfag, til å fortsette arbeidet med fagene. Både nasjonalt og internasjonalt legges det stor vekt på verdien av faglig og sosialt samvær med jevnaldrende og likesinnede.

I år skal den internasjonale finalen som sagt være i Iran, nærmere bestemt i Isfahan, fra 13. til 22. juli. Øyvind Guldahl fra Persbråten vgs. og Joakim Bergli fra Fysisk inst. UiO, skal være ledere for det norske laget. Isfahan ligger sentralt i Iran 1600 m over havet. Det er en by med mange historiske monumenter, som var hovedstad i Persia på 1600-tallet. Elever og ledere fra 78 land kan se frem til et interessant og meget spennende opphold! Vi håper selvsagt at det ikke skal oppstå noen internasjonale hendelser som setter arrangementet i fare. Arrangørene og undervisningsministeriet i Iran legger stor vekt og prestisje i at finalen skal gå trygt og sikkert for seg. Vi tror for øvrig at slike arrangementer der unge mennesker møtes på tvers av kulturgrenser, kan være med på å minske motsetninger i verden! Den norske deltagelsen er støttet av Forsknings rådet og Kunnskapsdepartementet.

Mer om fysikkolympiaden med oppgaver og resultater, finnes på våre nettsider:
http://www.fys.uio.no/skolelab/fysikkol/

Carl Angell og Ellen K. Henriksen

∞

Kommentar

Relativitetsteorien og GPS

I artikkelen "Relativitetsteori og GPS-systemet" i FFV 3/06, beregner Øyvind Grøn relativistiske effekter på GPS-systemet. Under kommentarer i FFV 4/06, argumenterer Frode Vassenden for at Grøn tar feil i sine beregninger. Det er her nødvendig å forstå hvordan GPSsystemet fungerer, siden man ikke kan vurdere viktigheten av relativistiske effekter på GPS-systemet uten denne forståelsen.

GPS er et satellittbasert navigasjonssystem med global dekning, som tillater brukere å bestemme sin posisjon og hastighet. Siden det er svært nøyaktige atomur ombord i satellittene kan de brukes som en presis tidsreferanse, blant annet for synkronisering av ulike enheter. GPS-tid avviker fra UTC-tid (Coordinated Universal Time), fordi det i GPS-tid ikke legges til såkalte "leap seconds". Derfor er i dag GPS-tid 14 sekunder foran UTC-tid.

Grøn regner i sin artikkel ut at atomurene i GPS satellittene går 38 μs raskere pr. døgn enn et atomur på jordoverflaten, hvis man ikke korrigerer for relativistiske effekter. Videre regner Grøn ut at med en satellitthastighet på 4 km/s gir dette en akkumulert feil i satellittposisjonene på ca. 15 cm pr. døgn, og han påpeker også helt riktig at feilen i satellittposisjonene mapper ca. 1:1 til en tilsvarende posisjonsfeil på jordoverflaten. Vassenden hevder at man heller skulle tatt klokkefeilen på 38 μs og ganget med lyshastigheten for å finne korrekt posisjonsfeil til mottakeren, som ville gitt en akkumulert feil på 11,4 km pr. døgn. Dette er etter mitt syn en meningsløs størrelse å regne ut, og for å se det må man forstå virkemåten til GPS-systemet. Jeg vil derfor i korte trekk påpeke noen viktige punkter angående virkemåten til GPS-systemet, siden artikkelen til Grøn bare regner på relativistiske effekter på klokkene om bord i GPS-satellittene uten å ta hensyn til hvordan GPS-systemet faktisk fungerer.

For å oppnå en posisjonsnøyaktighet på 5–10 meter med GPS-systemet, selv med enkle kommersielle mottakere, må man korrigere for en rekke feil. For det første må man innse at siden posisjonsbestemmelsen i GPS-systemet er basert på tidsmålinger, er det synkroniseringen av klokkene om bord i satellittene og klokken i mottakeren på bakken, som er kritisk. Om klokkene i satellittene går 38 μs feil i forhold til en annen definert tidsstandard på bakken, er nær sagt irrelevant med hensyn på posisjonsbestemmelse så lenge klokka i mottakeren på bakken også går 38 μs feil. Mens GPS-satellittene har ekstremt nøyaktige atomur om bord, inneholder en GPS-mottaker en standard kvartsklokke som driver flere titalls millisekunder pr. døgn. Hvis man ikke kompenserte for denne driften i mottakerklokkene, ville feilene bli enorme. Med en mottakerklokke som går 1 ms feil i forhold til satellittklokken, får man en posisjonsfeil på 300 km! Med andre ord, hvis ikke mottakerklokken var blitt synkronisert med klokkene i satellittene, ville systemet vært ubrukelig. Denne synkroniseringen foregår ved at man til enhver tid estimerer feilen i mottakerklokkene. Dette er grunnen til at man trenger minst 4 satellitter for å beregne posisjonen til en mottaker; trenger 3 satellitter til posisjonering og den fjerde til å estimere feil i mottakerklokka.

Videre beregner kontrollstasjoner på bakken feil i satellittklokkene og sender denne informasjonen opp til satellittene, og feilene i satellittklokkene sendes til mottakeren som en del av navigasjonsmeldingene fra satellittene. Kontrollstasjoner på bakken følger også GPS-satellittene for å beregne banene til satellittene med stor nøyaktighet. Banedataene kontrolleres og korrigeres, og satellittene kringkaster sin posisjon til mottakeren på bakken med en nøyaktighet på 1–2 meter. Det vil alltid være en liten feil i synkroniseringen mellom klokkene og i posisjonsestimatene for satellittene. Andre viktige feilkilder er forstyrrelser av GPS-signalene når de går gjennom ionosfæren og troposfæren, samt "multipath" feil (signalene går ikke alltid korteste vei). Alle disse feilkildene må summeres for å finne posisjonsfeilen på bakken.

Siden man av naturlige årsaker ikke har atomur i GPS- mottakerne på bakken, og at disse klokkene derfor må synkroniseres til atomurene i satellittene, gir det liten mening å ta klokkedriften (pga. relativistiske effekter) i satellittklokkene ganget med lyshastigheten for å finne et mål på posisjonsfeil på bakken. Synkroniseringen mellom klokkene i satellittene og klokka i mottakeren må ha en nøyaktighet på om lag 20 ns for å oppnå ønsket nøyaktighet i GPS-systemet. GPS-mottakeren på bakken estimerer og korrigerer derfor kontinuerlig offseten mellom mottakerklokka og satellittklokkene. Samtidig korrigeres klokkene i satellittene mot enda mer nøyaktige atomur på bakken; siden man har korrigert for de relativistiske effektene om bord på satellittene, slipper man å kontinuerlig kompensere for relativistiske effekter. Det er altså synkroniseringen mellom satellittklokkene (GPS-tid) og mottakerklokka som er kritisk for posisjonsbestemmelse. Korreksjoner av satellittklokkene, bl.a. for relativistiske effekter, er viktigst med tanke på bruk av GPS-tid som en tidsreferanse.

Jan Kenneth Bekkeng
jan-kenneth.bekkeng@ffi.no

∞

Skriv i
Fra Fysikkens
Verden!

Bokkronikk

Brian Greene: The Fabric of the Cosmos. Penguin Books, 2004, ISBN 0-141-01111-4 (569 sider).

Vårt relativistiske univers

Denne boka er fysikkpopularisering på sitt beste. Boka er på 569 sider – og er ikke for lang. Den er skrevet med driv og entusiasme av en fysiker som har dype kunnskaper om sitt store tema. Du behøver ikke store forkunnskaper for å ha glede av boka. Men temaene som behandles er ikke av det enkle slaget, så en må være villig til å anstrenge seg og til å lese såpass langsomt at en får tid til å tenke under lesingen.

Det første kapitlet er en oversikt over det som kommer. Her får vi vite at i 1894 skrev den kjente eksperimentalfysikeren Albert Michelson at "de fleste av de store underliggende prinsippene er godt etablert." Ved åpningen av Vitensenteret på Gjøvik 110 år senere, sa vår nobelprisvinner Ivar Giæver dette sterkere: "Naturens grunnleggende prinsipper er kjente. Nå gjenstår bare oppfinnelser."

Ved å lese boken til Greene blir det klart at fysikken inneholder store mysterier. Tydeligst av alt: Vi har ikke peiling på hva 96 % av all energien og materien i universet består av. Hva vakuumenergi og mørk materie er vet vi like lite om som grunnen til at finstrukturkonstanten har verdien 1/137,03599911. Jeg blir glad når Brian Greene sier: "De to relativitetsteoriene er blant menneskehetens mest dyrebare bragder."

Et spennende tema som tas opp i forskjellige deler av boka, er "the arrow of time": Spørsmålet om hvor forskjellen på fremtid og fortid kommer fra i en verden der dynamikken ikke gjør noen forskjell på fortid og fremtid.

Vanlig akselerasjon og 4-akselerasjon

Greene er opptatt av "rommet", dette dagligdagse begrepet som likevel er så vanskelig å forstå. Vi får høre om bøtteeksperimentet (hvor en bøtte med vann settes i rotasjon),[1] der Newton på 1600-tallet tolker den krumme overflaten til det roterende vannet som et bevis for eksistensen av et rom som all bevegelse måles i forhold til. Newtons rom og den absolutte bevegelse dominerer scenen i 250 år.

Men på slutten av 1800-tallet protesterer Ernst Mach. Han tenker seg en partikkel alene i universet. Det er umulig å fastslå om den beveger seg. Om to partikler er alene i universet vil det være umulig å fastslå om de roterer rundt hverandre eller ikke. Det som kan registreres, sier Mach, er rotasjon i forhold til massefordelingen i universet. Rotasjon er relativ.

Tenk deg en masseløs snor mellom partiklene. Det er når partiklene roterer i forhold til den kosmiske massefordelingen at snora blir stram. Ta bort den kosmiske massen, og snora forblir slakk, sier Mach. Og videre: Det er gravitasjonsvirkningen fra universets masse i global skala som bestemmer den bevegelsestilstanden vi kaller ikke akselerert og ikke-roterende. Men Newtons dynamikk og gravitasjonsteori underbygget ikke denne oppfatningen.

Så kom Einstein. I den spesielle relativitetsteorien, SR, fra 1905 gir han oss en ny forståelse av tiden. Den eksisterer ikke uavhengig av rommet. Minkowski var den som så dette klarest. Han introduserte begrepet "tidrommet" i fysikken i 1908.

Vi beveger oss med en 4-hastighet gjennom tidrommet. Ifølge relativitetsteorien har 4-hastigheten til ethvert legeme samme størrelse – lik lyshastigheten c i tomt rom. Hvis vi beveger oss raskt gjennom rommet, er hastighetskomponenten i tidretningen liten. Da eldes vi langsomt. Hvis vi beveger oss med maksimal hastighet gjennom rommet lik lyshastigheten, eldes vi ikke i det hele tatt. Er vi i ro i et inertialsystem, eldes vi raskest.

Fysikerne har definert en akselerasjon i tidrommet, 4- akselerasjonen. I den generelle relativitetsteorien har den en annen betydning enn den vanlige akselerasjonen gjennom 3-rommet.

Høsten 1907 innså Einstein at tyngde og akselerasjon er ekvivalente. Dette *ekvivalensprinsippet* er et av grunnprinsippene i den generelle relativitetsteorien, GR. Greene skriver: "Siden tyngde og akselerasjon er ekvivalente, må du akselerere for å føle tyngde." Her er det 4-akselerasjon han snakker om.

Når det gjelder akselerasjon er SR og GR forskjellige. I SR er den vanlige 3-akselerasjonen absolutt. Alle observatører er enige om at f.eks. en partikkel som faller fritt i et tyngdefelt, akselererer. Men i GR er den vanlige akselerasjonen relativ. Det er "observert akselerasjon". Og en observatør som faller sammen med partikkelen, vil observere at den er i ro.

Ifølge SR er den fallende observatøren akselerert, men etter at Einstein innså ekvivalensprinsip-

*Høgskolen i Oslo og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

pet utvidet han relativitetsprinsippet til å omfatte akselerert (og roterende) bevegelse. Ifølge GR har derfor den fallende observatøren rett til å oppfatte seg selv som i ro – og slett ikke akselerert. Han vil derfor si at den fritt fallende partikkelen heller ikke er akselerert. Den har ingen 4-akselerasjon. Dette er noe alle observatører er enige om: *En fritt fallende partikkel har ingen 4 akselerasjon.* Men observert av en person på bakken har den en 3-akselerasjon.

Hva er tyngde?

I populærfremstillinger av GR koples ofte tyngde sammen med tidrommets krumning. Dette illustreres gjerne ved å tegne partikkelbaner på en traktformet flate. Greene faller ikke for fristelsen til å kople tyngde sammen med tidrommets krumning. Tyngde har ikke noe med tidrommets krumning å gjøre. Den kan oppleves på samme måte enten tidrommet er krumt eller flatt. *Tyngde er et akselerasjonsfelt man opplever i et referansesystem som ikke er i fritt fall.*

Men hva illustrerer flaten med partikkelbaner forbi eller rundt en traktformet fordypning? For det første at de rettest mulige kurvene i et krumt rom ikke er rette i euklidsk forstand. Koplingen mellom geometri og gravitasjon skjer gjennom en vakker konsekvens av feltlikningene i GR: *Frie partikler følger de rettest mulige kurvene i et krumt tidrom.* I GR oppfattes partikler som frie når de bare er påvirket av gravitasjon. Den krumme flaten illustrerer derfor hvordan rommets krumning påvirker bevegelsen til partikler som bare er påvirket av gravitasjon.

Forskjellen mellom Newtons og Einsteins teori gir oss her et språklig problem. Ifølge Einsteins teori representerer ikke gravitasjon noen vekselvirkning. Gravitasjon er ingen kraft slik ordet "påvirker" kan lede oss til å tenke. Newton sier: Månen beveger seg rundt jorda i stedet for langs en rett linje utover i verdensrommet fordi den er påvirket av jordas gravitasjonskraft. Einstein sier: Månen beveger seg langs en rettest mulig kurve i det krumme tidrommet i jordas omgivelser, og projeksjonen av denne kurven inn i 3-rommet er månens sirkelbane.

Har GR et generelt relativitetsprinsipp?

Tilbake til Mach. Hva sier GR om Newtons bøtteeksperiment? For det første: Hvis vi tenker oss et tomt univers, er tidrommet beskrevet ved minkowskimetrikken i SR. Der er akselerasjon og rotasjon absolutte. Også GR forutsier derfor at en masseløs snor mellom to partikler som roterer om sitt felles massepunkt i et tomt univers, vil være stram som Newton ville ha ventet, men ikke Mach.

Likevel er GR mer machsk i beskrivelsen av universet enn Newtons teori. For vårt univers er ikke tomt. En bemerkelsesverdig konsekvens av GR er at et roterende legeme i noen grad drar med seg rommet i sine omgivelser. Dette kalles "inertial dragging" eller "treg draeffekt". Koplingen mellom materien og rommet er imidlertid svært svak, så under vanlige omstendigheter er effekten så liten at den ikke kan merkes. For eksempel har rommet i de nære omgivelser til jorda en rotasjon som skyldes jordrotasjonen, men rommet roterer så langsomt at det bruker 30 millioner år på en runde.

Som Greene påpeker, viste imidlertid Dieter Brill og Jeffrey Cohen i 1965 at inni et kuleskall med samme radius som dets schwarzschildradius, roterer rommet sammen med kuleskallet. Her er det "perfect dragging". Hvis det er "perfect dragging" i vårt univers (se boks 1), vil tilstanden av ikke-rotasjon være bestemt av den globale kosmiske massen, i Machs ånd. Da er rotasjon relativ.

Boks 1. "Perfect dragging" i universet?

Brian Greene skriver (note 20, s. 499): "Objekter som er så langt fra oss at det ikke har gått lang nok tid siden universets begynnelse til at lyset – eller gravitasjonsvirkningen – har nådd frem til oss, kan det ikke ha noen gravitasjonell innflytelse på oss."
La oss kalle avstanden lyset og gravitasjonsvirkningen har kunnet bevege seg siden Big Bang for *horisontradien*, $R_0 = ct_0$, der t_0 er universets alder. WMAP-målingene av temperaturvariasjonene i den kosmiske mikrobølge-bakgrunnsstrålingen har vist at alderen til vårt univers er svært nær dets hubblealder, $t_H = 1/H_0$, der H_0 er den nåværende verdien av hubbleparameteren, og t_H er alderen universet ville hatt om det hadde ekspandert med konstant fart, $t_0 = 0,996\,t_H$. WMAP-målingene tyder også på at universet er flatt, dvs. at det har kritisk massetetthet, $\rho_{kr} = 3H_0^2/8\pi G$, der G er Newtons gravitasjonskonstant. Det følger at $8\pi G\rho_{kr}/3c^2 = (H_0/c)^2 \approx 1/R_0^2$. Schwarzschildradien til den kosmiske massen innenfor avstanden R_0 er $R_s = 2GM/c^2 = (8\pi G\rho_{kr}/3c^2)R_0^3 \approx R_0$. I vårt univers er altså schwarzschildradien til massen innenfor horisontradien omtrent lik horisontradien. Følgelig er betingelsen for "perfect dragging" oppfylt i vårt univers.

Resultatet av beregningen i boks 1 viser at det ikke er urimelig å oppfatte rotasjon som relativ til universets massefordeling i global skala. Tilsvarende resultat kan vises for akselerert translatorisk bevegelse. Dette tyder på at relativi-

tetsteorien anvendt på vårt univers inneholder et generelt relativitetsprinsipp som omfatter akselerert og rotasjons bevegelse. Enhver observatør kan da oppfatte seg selv som i ro og omgivelsene som i bevegelse.

Tidspilens retning

Brian Greene forlater nå relativitetsteorien og beveger seg inn i kvantemekanikkens verden der "entanglement" umiddelbart dukker opp som et begrepsmessig troll og truer vår kausale verdensoppfatning som relativitetsteorien behandlet med ærbødighet.

I 1935 slo Einstein seg sammen med Podolski og Rosen og prøvde å vise at kvantemekanikken ikke kan gi et utfyllende bilde av den materielle verden. De viste at kvantemekanikken innebærer en ikke-lokal forbindelse mellom partikler som tidligere har vært i kontakt med hverandre. Dette var etter forfatternes mening ikke akseptabelt. Men senere eksperimenter har vist at verden er slik kvantemekanikken sier, også når det gjelder denne typen ikke-lokale korrelasjoner. Det hele er ganske merkelig, og en intuisjon basert på den relativistiske oppfatningen av tid og rom må melde pass.

Tidens natur er det neste temaet til Greene. Han diskuterer i denne sammenheng termodynamikkens 2. lov: at universets entropi øker med tiden. Universet utvikler seg mot makrotilstander som kan realiseres på flere og flere mikroskopiske måter. Universets tilstand blir stadig mer uordnet og likner ifølge termodynamikkens 2. lov, mer og mer på en tilstand av termisk likevekt etter hvert som tiden går.

I lys av nye observasjoner av universets egenskaper er dette høyst forbausende. Observasjoner av temperaturfordelingen i den kosmiske bakgrunnsstrålingen har nemlig vist at universet var praktisk talt i termisk likevekt allerede 400 000 år etter Big Bang. Det er mye større temperaturforskjeller nå, med glohete stjerner og en iskald kosmisk gass. Universets entropi ser ut til å ha sunket, i konflikt med termodynamikkens 2. lov. Det må være noe vi ikke har tatt hensyn til, sier Greene, og gir raskt svaret: gravitasjon.

I en kosmisk gass som nesten er homogen, vil gravitasjon etter hvert få gassen til å klumpe seg. Ved å ta hensyn til gravitasjon oppdager vi at det ikke er den utjevnede tilstanden som har høyest entropi, men den klumpete. Når gassen klumper seg faller den mot områder med lavt gravitasjonspotensial, og det frigjøres gravitasjonsenergi som går over til termisk energi og øker gassens entropi. Morad Amarzguioui og jeg har nylig publisert en beregning basert på perturbasjoner av tetthetsfordelingen til en kosmisk gass i en relativistisk universmodell som viser at dette virkelig er tilfelle.[2]

Universet må ha startet fra et Big Bang med svært lav entropi. Det må ha oppstått et univers med svært jevn massefordeling fra Big Bang. Hvis Big Bang rett og slett var en spontan kvantemekanisk fluktuasjon virker dette lite sannsynlig siden det finnes mange flere tilstander med ujevn massefordeling enn med en massefordeling der tettheten så å si ikke avhenger av posisjonen. Big Bang må ha inneholdt en mekanisme som i løpet av selve kjempesmellet har jevnet ut den kosmiske massefordelingen.

Vakuumenergi og frastøtende gravitasjon

Vakuumenergi er Greenes neste tema. Han skriver om higgsenergi, om en svak elektromagnetisk higgsenergi, SEH, og en stor forenet higgsenergi, SFH. Ifølge Glashow og Georgis storforente teori skjedde det en faseovergang omtrent 10^{-35} s etter et tenkt startstidspunkt for Big Bang, der SFH fikk en enorm energitetthet. Før dette tidspunktet fluktuerte higgsenergien voldsomt med like store negative og positive fluktuasjoner, slik at den gjennomsnittlige tettheten av higgsenergien var null. Da var kraftutvekslingspartiklene for de ikke-gravitasjonelle kreftene masseløse. Det var ingen forskjell på kreftene.

Etter dette tidspunktet ble det "kondensert ut" higgsenergi av typen SFH, noe gluonene merket med det resultat at de fikk masse. Dermed ble den såkalte fargekraften mellom kvarkene forskjellig fra den elektrosvake kraften.

10^{-15} s senere skjedde en ny faseovergang. Denne gangen var det SEH-feltet som kondenserte ut og fikk en positiv gjennomsnittlig energitetthet. Da fikk W- og Z-bosonene masse, og den svake vekselvirkningen ble forskjellig fra den elektromagnetiske.

Higgsenergien minner om en slags eter, men med den forskjell at det ikke er mulig å måle hastighet i forhold til den. Egenskapene til higgsenergien er lorentzinvariante. Higgsenergien representerer en lorentzinvariant vakuumenergi, LIVE.

Green omtaler nå en av de mest bemerkelsesverdige forskjellene mellom Einsteins og Newtons gravitasjonsteorier: I Newtons teori er

gravitasjon alltid tiltrekkende, mens gravitasjonen kan være frastøtende i Einsteins teori. Den effektive gravitasjonelle massetettheten er ifølge relativitetsteorien $\rho_{eff} = \rho + 3p/c^2$, der ρ er den newtonske massetettheten, og p er trykk hvis $p > 0$, og strekk hvis $p < 0$.

Dersom det ikke er mulig å måle hastighet i forhold til vakuumenergi, må alle komponentene til vakuumenergiens impuls-energitensor være lorentzinvariante. Man kan vise at dette leder til resultatet $p = -\rho c^2$ som betyr at LIVE er i en tilstand av ekstremt stort strekk i forhold til energitettheten.(3) Innsetting for p gir at den effektive gravitasjonelle massetettheten til LIVE er $\rho_{eff} = -2\rho < 0$. Dette betyr at LIVE virker på seg selv med frastøtende gravitasjon.

Universets inflasjonsfase

Noe av det første Einstein gjorde da han hadde fullført den generelle relativitetsteorien var å anvende den til å konstruere en relativistisk universmodell. Dette var i 1917, og den gangen ble universet oppfattet som uforanderlig i stor skala. Universet var statisk. Materien i universet ble beskrevet som et kosmisk støv som forårsaker tiltrekkende gravitasjon. Det ville få et univers som opprinnelig var statisk, til å falle sammen. For å bøte på dette innførte Einstein en såkalt kosmologisk konstant Λ i sine feltlikninger. Denne representerte en iboende egenskap ved rommet: at tomt rom har en tendens til å ekspandere. Dermed oppnådde Einstein en statisk universmodell som løsning av sine feltlikninger.

Isteden for å innføre den kosmologiske konstanten kunne Einstein i 1917 ha forutsagt at universet ikke kan være statisk. Det må ekspandere. I 1928 da Hubble annonserte at observasjoner tyder på at universet faktisk ekspanderer, angret Einstein svært på at han ikke hadde gjort dette og sa at innføringen av Λ var hans største tabbe. I dag tolkes Λ på en annen måte: Den kosmologiske konstanten er et uttrykk for energitettheten til LIVE.

Greene er ikke ferdig med spørsmålet om hvor tidspilens retning kommer fra. Hva var mekanismen som jevnet ut massefordelingen under Den store eksplosjonen. Vi må tilbake til faseovergangen som skjedde 10^{-35} s etter et tenkt starttidspunkt. Da fikk SFH en kjempestor energitetthet. Denne energien har trolig hatt lorentzinvariante egenskaper. Den var av typen LIVE. Det betyr at universet ved tidspunktet 10^{-35} s plutselig ble dominert av en energi som forårsaket frastøtende gravitasjon. Dermed gikk universet inn i en fase med akselerert ekspansjon som kalles *inflasjonsperioden.* Beregninger viser at denne perioden bare varte i 10^{-33} s. Men akselerasjonen var enorm. På denne korte tiden økte avstandene i universet med en faktor på minst 10^{30}.

I løpet av inflasjonsperioden ble universet "flatet ut". Det følger av ligningene i relativitetsteorien at tettheten til den kosmiske energien da nærmet seg eksponentielt til den kritiske tettheten som svarer til et såkalt "flatt univers", dvs. at det 3-dimensjonale rommet er euklidsk og ikke krumt.

Helt i starten av inflasjonsperioden ekspanderte universet så langsomt at det da ble etablert termisk likevekt i universet. Temperaturen ble den samme overalt. Dette forklarer at den observerte temperaturen til den kosmiske bakgrunnsstrålingen er den samme i alle retninger.

Samtidig forklarer den utjevnende virkningen av inflasjonsperioden at massefordelingen var svært utjevnet ved inflasjonsfasens slutt. Dette betyr at universet så å si ble "trukket opp" under inflasjonsperioden slik at det kom ut av denne perioden med en svært lav entropi. Mekanismen vi ettersøkte tidligere for å forklare tidspilens retning, er faktisk den frastøtende gravitasjonen til LIVE som dominerte i 10^{-33} s av universets første øyeblikk.

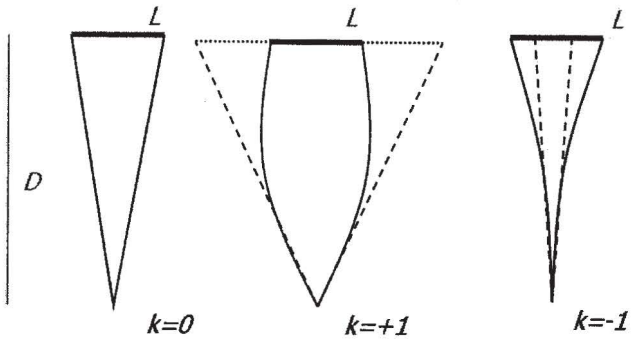
Man kan lure på om utviklingen under inflasjonsperioden brøt med termodynamikkens 2. lov: Sank universets entropi i denne perioden? Brian Greene gjør det klart at dette ikke er tilfelle. Det som skjedde under inflasjonsperioden, var at det oppsto et gap mellom den høyest mulige entropien som universet med sitt energi og materieinnhold kunne hatt, og den entropien det hadde. Totalenergien til vakuumenergien vokste enormt i løpet av inflasjonsperioden og gikk over til stråling og partikler ved slutten av perioden. Dermed kunne entropien også ha fått en enorm økning. Men den utjevnende virkningen av den frastøtende gravitasjonen gjorde at entropiøkningen ble mye mindre. "Opptrekkingen" av universet besto i at universet kom ut av inflasjonsperioden med mye mindre entropi enn det kunne hatt om strålingen og materien som ble dannet ved avslutningen av inflasjonsfasen, ikke hadde vært så jevnt fordelt.

Mørk materie og mørk energi

Universets innhold har lenge vært et mysterium. Det var Fritz Zwicky som i 1935 oppdaget noe merkelig. Galaksene i Comahopen beveget seg så raskt at hopen for lengst burde ha løst seg opp.

Gravitasjonsfeltet som skulle til for å holde hopen sammen krevde mer enn ti ganger større masse enn den lysende materien. Senere ble det oppdaget at galaksene roterer så fort at også de ville ha løst seg opp om de ikke inneholder mye mer materie enn den som er i stjernene og i de interstellare tåkene. Observasjonene viser at universet inneholder baryonisk materie (som består av protoner og nøytroner) med omtrent 4 % av den kritiske massetettheten (den som svarer til et flatt univers). Men bevegelsene til stjernene og galaksene kan bare forklares hvis den gjennomsnittlige kosmiske tettheten til den kalde materien i universet er omtrent 28 % av den kritiske tettheten. Det må altså være omtrent 6 ganger mer usynlig materie enn baryonisk materie for at galaksenes og galaksehopenes gravitasjonsfelter skal være tilstrekkelig sterke til å holde dem sammen. Denne mørke materien avgir ikke lys og vekselvirker ikke elektromagnetisk. Ingen vet hva den mørke materien består av.

Men mysteriet om universets innhold er større enn som så. Observasjoner av temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen representerer en kosmisk triangulering (figur 1). Vi observerer den gjennomsnittlige vinkelavstanden mellom lavest og høyest temperatur i det kosmiske plasmaet 380 000 år etter Big Bang. Strålingen har beveget seg i 13,7 milliarder lysår fra senderpunktet til den når oss.



Figur 1. Kosmisk triangulering. Målinger av den gjennomsnittlige vinkelavstanden mellom maksimums og minimums temperaturområder i den kosmiske bakgrunnsstrålingen kan avsløre rommets geometri.

Tenk deg en trekant med to sider som består av stråler fra to nabopunkter med lavest og høyest temperatur og frem til jorda. Temperaturvariasjonene skyldes trykkbølger i det kosmiske plasmaet. Man kan beregne bølgehastigheten og vet at bølgene har beveget seg i maksimalt 380 000 år. Avstanden de har beveget seg er den gjennomsnittlige avstanden mellom punkter med lavest og høyest temperatur i plasmaet da den observerte strålingen ble sendt ut. Dette er avstanden mellom de to punktene i trekanten. Den kan beregnes. Dermed kan også den observerte vinkelen mellom lavest og høyest temperatur beregnes. Den viser seg å være omtrent 1 grad – forutsatt at lyset går i rettlinjet bane fra senderpunktene til oss.

Men hvis rommet er positivt krummet, bøyes lysstrålene mot hverandre, og vinkelen mellom dem når de treffer jorda blir større enn 1 grad. Hvis rommet er negativt krummet, bøyes lysstrålene vekk fra hverandre, og vinkelen blir mindre. Siden strålingen har beveget seg hele 13,7 milliarder lysår, blir vinkelforskjellen stor nok til å kunne måles. Resultatet av målingene ga et klart svar som tyder på at universet er flatt. Det betyr at den totale tettheten av alle typer energi og materie er lik den kritiske tettheten.

Men den samlete tettheten til den mørke og den baryoniske materien utgjorde bare 28 % av den kritiske tettheten. Hvis alle målingene og tolkningen av dem er korrekte, må det eksistere en ukjent form for energi eller materie som bidrar med en tetthet på 72 % av den kritiske tettheten.

Et hint om løsningen av dette mysteriet kom høsten 1998 da to grupper av astronomer ville finne ut hvor raskt materiens gravitasjon bremser ned universets ekspansjon. Dette kan gjøres ved å måle universets ekspansjonshastighet, dvs. hubbleparameteren, ved ulike tidspunkter, noe som er mulig siden vi ser bakover i tid når vi ser utover i universet. Vi observerer et objekt slik det var da det sendte ut lyset vi mottar.

Målingene ga et høyst overraskende resultat. Hubbleparameteren hadde størst verdi for de nærmeste supernovaene, dvs. de med senest sendetidspunkt for lyset vi mottar. Målingene viste at universet har vært i en tilstand av akselerert kosmisk ekspansjon de siste 7 milliarder årene.

Dette kunne bare forklares på én måte, ved frastøtende gravitasjon. Dermed fikk man på plass den siste brikken i puslespillet om universets innhold, for frastøtende gravitasjon krever vakuumenergi. Og da astronomene regnet ut hvor mye vakuumenergi som skulle til for å forklare supernovaobservasjonene, fant de at en tetthet på omtrent 70 % av den kritiske tettheten var passe. Ut fra supernova- og temperaturvariasjonsmålingene skulle den samlete tettheten til mørk og baryonisk materie være omtrent 30 % av den kritiske tett-

heten. Dette stemmer godt med observasjonene av stjernenes og galaksenes bevegelser.

Hvor kommer masse og energi fra?

Brian Greene tar så opp spørsmålet om hvor massen og energien i universet kommer fra. Vi betrakter homogene universmodeller. Nå introduseres en observatør i universet. Dette bryter den homogene symmetrien. Videre betraktes en del av universet innenfor et kuleskall med sentrum i observatøren. Kuleskallet ekspanderer sammen med universet.

Først beskrives et materiedominert univers med tiltrekkende gravitasjon, dvs. et gravitasjonsfelt som virker innover mot observatøren i sentrum av kuleskallet. Materien beveger seg fritt oppover i dette og taper bevegelsesenergi samtidig med at den får en økning i potensiell energi. Greene kaller den potensielle energien for gravitasjonsenergi og sier at materien taper energi. Følgelig hadde materien i en materiedominert universmodell enorm energi helt i starten på grunn av den store farten – en energi som bare innføres i modellen som en begynnelsesbetingelse uten noen forklaring.

I en modell med vakuumenergi og materie er forholdene annerledes. Vakuumenergien forårsaker en frastøtende gravitasjon som virker vekk fra observatøren og faller nedover i gravitasjonsfeltet, og det skjer da en overgang fra gravitasjonsenergi til vakuumenergi.

På denne måten ble den enorme tettheten av vakuumenergien opprettholdt under inflasjonsfasen. Siden volumet økte med en faktor på minst 10^{90} under denne fasen, økte også vakuumenergien minst 10^{90} ganger under inflasjonsfasen. Ved slutten av inflasjonsfasen gikk nesten all denne energien over til stråling og partikler. Ifølge Greene kommer altså universets materie og energi fra et reservoar av gravitasjonsenergi som ble tappet under inflasjonsfasen da den først gikk over til vakuumenergi og så over til stråling og partikler omtrent 10^{-33} s etter at denne fasen oppsto.

De første 300 sidene av Greenes bok er en beskrivelse av kosmos basert på relativitetsteorien. Vi merker at boken er skrevet av en fysiker som har en dyp forståelse av det han skriver, en person som er entusiastisk i forhold til sitt tema, og som makter å komme med gode forklaringer.

Supersymmetrisk strengteori

På de neste 200 sidene gir Greene en introduksjon til strengteori og nye forestillinger om universets natur som denne teorien gir oss. Han motiverer betydningen av strengteorien blant annet på følgende måte: "Hvis vi noen gang skal ha håp om å kunne forstå universets opprinnelse – et av naturvitenskapens dypeste spørsmål - *må* konflikten mellom den generelle relativitetsteorien og kvantemekanikken løses." Strengteorien oppfattes av mange fysikere som den mest lovende veien mot en forent teori for tid, rom, gravitasjon og kvantefenomener.

Greenes entusiasme er ikke mindre i denne delen av boken. Men leserens reaksjon blir etter hvert ambivalent: Man kan rives med i beundring over storheten i prosjektet supersymmetrisk strengteori med potensiale til å oppnå en forent teori ikke bare for de fire fundamentale kreftene, men også for krefter og materie. Men samtidig oppleves det hele som ganske luftig og spekulativt. På det nåværende stadium dreier det seg om en M-teori med ukjente likninger for objekter av ukjent art som eksisterer i et ellevedimensjonalt tidrom med ukjent geometri. Og Big Bang oppfattes som en kollisjon mellom braner - en slags underrom i den ellevedimensjonale verden – som ingen vet om eksisterer.

De som arbeider med denne teorien håper at den kan testes ved hjelp av partikkelakseleratoren Large Hadron Collider. Supersymmetri innebærer at det til hver vanlig partikkel skal være en supersymmetrisk partner. Deres masser avhenger blant annet av egenskapene til de ukjente romlige dimensjonene, men det kan for noen supersymmetriske tidrommodeller være innenfor rekkevidde å produsere supersymmetriske partikler med denne akseleratoren.

En annen mulighet er å måle et avvik fra Newtons gravitasjonslov for svært små avstander. Loven er eksperimentelt verifisert ned til avstander på en tidels millimeter. Dersom det eksisterer kompakte romlige dimensjoner (det vi tror er et punkt er i virkeligheten en mangedimensjonal versjon av en sirkel) med litt mindre diameter enn en tidels millimeter, vil gravitasjonen spre seg ut fra de 3 kjente romlige dimensjonene og inn i 6 ukjente. Dette gjør at ved små avstander avtar gravitasjonen raskere enn som én over kvadratet av avstanden. Ved minskende avstand skal da gravitasjonen øke raskere enn det Newtons lov sier.

Tidsreiser

Greene skriver også om tidsreiser. Dette er et spennende tema som ble en del av fysikken da newtonsk gravitasjonsteori måtte gi tapt for Einsteins

beskrivelse av tid, rom og gravitasjon. Relativitets teorien tillater tidsreiser.

Å reise fremover i tiden krever "bare" at man beveger seg gjennom rommet med en hastighet nær lyshastigheten. Vår hastighet gjennom tidrommet er den samme uansett hvor fort vi beveger oss gjennom rommet. Jo større hastighet vi har gjennom rommet desto langsommere beveger vi oss i tidens retning. En person kan besøke sine barnebarns barn om han reiser tilstrekkelig fort til en fjern stjerne og tilbake.

Å reise tilbake i tid er mer problematisk. Men Einsteins likninger sier at det skal være mulig. I den roterende universmodellen som matematikeren Kurt Gödel konstruerte, eksisterer såkalte lukkede tidlike kurver. Det er kurver som personer med et passende romfartøy kan følge, og som leder tilbake til den hendelsen der reisen startet. Slike muligheter er vanskelige å forstå. De synes å innebære uendelig stor fart, eller at man ved et bestemt øyeblikk i Gödeluniverset befinner seg overalt langs en slik kurve. Merkelig nok er dette ikke i konflikt med den spesielle relativitetsteorien, for det er en fart målt med klokker som ikke er einsteinsynkroniserte. Også i Gödeluniverset er farten målt lokalt med einsteinsynkroniserte klokker mindre enn lyshastigheten.

Det eksisterer også "verdenslinjer" som fører den reisende tilbake til hendelser som skjedde før han reiste, i den posisjonen han reise fra.

Greene diskuterer et problem dette innebærer. Ved å reise langt nok tilbake i tid burde man kunne forhindre at man selv ble født. Til dette sier Greene at man aldri vil kunne forhindre at man ble født. Fortiden er fastsatt. Den kan ikke endres. Men hvorfor personen som reiser tilbake i tid ikke kan endre fortiden, sier relativitetsteorien ikke noe om. Kanskje kommer kvantemekanikken inn i bildet når vi søker et svar på dette spørsmålet? Noe klart svar har vi enda ikke.

Referanser

1. Ø. Grøn: *Den gravtasjonelle dra effekten.* Fra Fysikkens Verden, **66**, Nr. 2, 44-46 (2004)
2. M. Amarzguioui and Ø. Grøn: *Entropy of gravitationally collapsing matter in FRW universe models.* Phys.Rev. **D 71**, 083011 (2005)
3. Ø. Grøn: *Repulsive gravitation and inflationary universe models.* Am.J.Phys, **54**, 46–52 (1986)

∞

Bokomtaler

Jerzy Plebański og Andrzej Krasiński: An Introduction to General Relativity and Cosmology. Cambridge University Press, 2006. ISBN-13 978-0-521-85623-2 (534 sider) $ 85,00.

Kun for den kresne kjenner

Einsteins teori for tyngdevirkning, den generelle relativitetsteori, er nå den aksepterte teori for gravitasjon. Denne teorien må fysikerne benytte når de vil undersøke fenomener der gravitasjonen er veldig sterk (svarte hull og nøytronstjerner) og når de vil vite hvordan universet utvikler seg i stor skala (kosmologi). Verden har vært vitne til en utrolig forbedring av målemetoder, elektronikk og datamaskiners regnekraft. Kjempeteleskoper på jorda og satellitter utenfor jordatmosfæren har avslørt hendelser i verdensrommet der Einsteins teori er helt nødvendig for å forstå hva som skjer.

Siden dette emnet er så viktig for vårt verdensbilde, så er det da heller ingen mangel på introduksjonstekster for lærevillige studenter. Men fordi det allerede foreligger så mange lærebøker, så kan en jo undre seg på om det fremdeles er marked for nok ei bok på dette området. Den nye boka jeg her vil gjøre oppmerksom på, er skrevet av min gode venn Andrzej Krasiński og avdøde Jerzy Plebański som jeg var så heldig å treffe i Mexico før han gikk bort. Boka heter *An Introduction to General Relativity and Cosmology,* og den er skrevet med tanke på hva fysikere finner mest interessant ved Einsteins mesterverk.

La det være sagt at denne boka forsvarer sin plass. Den tar selvsagt ikke for seg alt aktuelt stoff i generell relativitetsteori. Men det som behandles, får til gjengjeld en særdeles grundig, omfattende og detaljert utredning. Dette er hva jeg vil kalle klassisk generell relativitetsteori, og i dag må den kunnskapsrike Krasiński her regnes som en av verdens aller fremste eksperter. Boka vil trolig bli en klassiker. Men den er krevende. Den tar for gitt at leseren behersker både spesiell relativitetsteori og elektromagnetisme på høyt nivå. Kanskje bør en ha arbeidet seg gjennom en enklere innføring før en tar fatt på denne teksten. Eller en kan lese en lettere introduksjon parallelt med denne boka. Da vil en muligens sette pris på at her blir aldri tingene overlatt til intuisjon og tilfeldigheter. Denne grundige

boka er preget av klarhet, stringens og presisjon.

De første 70 sidene er den helt nødvendige innføringen i differensialgeometri. Denne teksten er Plebańskis gamle forelesningsnotater, som aldri før har vært utgitt. Her må studenten virkelig vise stahet, viljekraft og pågangsmot for å lære seg å beherske verktøyet. Det gjelder også de neste 50 sidene der Krasiński har skrevet om symmetri for Riemann-rom og invarians av tensorer. Dette er nådeløs og strevsom matematikk der leseren bør gå skrittvis fram og lese med penn i hand. Abstraksjonsnivået er høyt, så dette stoffet trenger tid for å feste seg i bevissthet og hukommelse, før det forhåpentlig synker ned i underbevisstheten.

Først på side 125 begynner den virkelige moroa, for her starter en med Einsteins gravitasjonsteori. Her forteller Krasiński om hvordan Einstein benyttet intelligent gjetning da han funderte på hvordan gravitasjonsfenomenet burde formuleres. Da skildrer han i samme slengen den vegen matematikeren David Hilbert tok, da han kom fram til de samme fundamentallikningene. Så følger et kapittel om tyngdevirkningen når kilden for gravitasjonsfeltet er et kulesymmetrisk, massivt legeme. Dette er jo nødvendig ballast for å kunne skildre perihelbevegelsen til Merkur og avbøyningen av lysstråler som passerer nær sola.

I neste kapittel blir vi kjent med relativistisk hydrodynamikk og termodynamikk. Her finner vi en særdeles god fysisk forklaring på hva det betyr at den relative hastigheten mellom to nabopartikler kan dekomponeres til ekspansjons-, rotasjons- og skjærbevegelse. Det er ikke til å unngå at også Krasiński av og til må ty til fysisk motivasjon. Jeg synes disse framstillingene er meget lettfattelige og klargjørende. Det gjelder for eksempel skildringen av lokale inertsialsystemer og hvordan legemer beveger seg i disse, og hvordan rette linjer generaliseres til geodeter. Siste kapittel er viet den viktige Kerr-løsningen for svarte hull. Den blir både utledet og diskutert.

Det virkelig spesielle og unike ved denne boka er de 200 sidene som omtaler kosmologi. Her røper skribenten at han er ganske skeptisk til den moteriktige inflasjonsmodellen for det tidligste univers. Vi får en grundig innføring i de forholdsvis enkle kosmologiske modeller som adlyder prinsippet om at ikke noe sted eller noen retning i universet står i noen særstilling. Universet er da homogent og isotropt. Men dette kan bare begrunnes filosofisk. Ingen av fysikkens lover sier at universet må være så enkelt. Det viktige budskapet i boka er at dette såkalte kosmologiske prinsipp bare bør betraktes som en første grov tilnærmelse når en skal behandle universet som helhet.

Det finnes nemlig kosmologiske, nøyaktige løsninger av Einsteins feltlikninger som ikke er homogene. Krasiński har før utgitt ei mektig bok, *Inhomogeneous Cosmological Models*, som gir oversikt over nær sagt alle mulige løsninger av Einsteins likninger som kan generaliseres til å være tilnærmelsesløsninger for et univers som bare nesten er homogent og isotropt. I denne teksten tar han kun med den delen av dette stoffet som er nødvendig og tilstrekkelig for å få fram hva på dette området som allerede er oppnådd og hvor denne forskningen nå befinner seg.

Jeg skal avstå fra å framheve noe om all den spennende viten som her foreligger. Det får være nok å fortelle at en gammel sirkushest kjenner lukten av frisk sagmugg. En vrinsker henrykket og får lyst til å galoppere rundt i manesjen. For en relativitetsteoretiker betyr det at en bare må beklage at en ikke finner tid til å arbeide seg omhyggelig gjennom hele den teksten en har foran seg. Boka er et skattkammer og et mesterverk av absolutt høyeste klasse.

Henning Knutsen

∞

Truls Wyller: Tid og rom. Et filosofisk essay. Universitetsforlaget, 2006, ISBN - 13: 978-82-15-00967-4 (207 sider) 249 kr.

Tidens tegn og tingenes sted

Filosofer og folk som sysler med naturvitenskap, har alltid strevd med de grunnleggende begreper tid og rom. Ingen enighet er oppnådd, og striden vil neppe opphøre. Vi minnes at salig Newton ganske enkelt erklærte at det finnes et absolutt rom og en absolutt tid som danner en slags bakgrunnsramme der objektene er posisjonert og der hendelsene i verden utfolder seg. Både hans samtid og hans ettertid har da også sagt klart fra at dette synet er naivt og farlig forenklet.

Da Einstein la fram den spesielle relativitetsteorien og sin teori for gravitasjon, tok også han rom og tid for gitt. Han ga ingen forklaring på hva rom og tid egentlig er, og rommets og tidens eksistens forblir et problem og et mysterium, men han påviste

at de ikke eksisterer uavhengig av hverandre. Hvordan verden erfares, avhenger både av hvordan materien og energien er fordelt og av hvordan en observatør beveger seg.

Filosofen Truls Wyller har nå utgitt ei bok som drøfter forskjellige aspekter ved tidens og rommets natur. Den heter *Tid og rom. Et filosofisk essay,* og utstyrsmessig er boka ganske beskjeden. Men tankene og meningene som framlegges, er såpass grundige og interessante at det er vel verdt å lese dette skriftet.

Det er likevel ikke sagt at jeg anbefaler alt slik det her framstilles. Jeg tror det han skriver om relativitetsteorien, må virke vagt og uforståelig for den som ikke allerede er vel bevandret i dette emnet. Jeg vil påstå at disse utlegningene ikke er umiddelbart innlysende. Relativitetsteorien bryter med gjengs tankegang og forestillinger vi synes må være opplagte. Derfor må den uvante tankegangen tilegnes skrittvis og med overbevisende argumentasjon.

Filosofi er i grunnen en artig disiplin, der en føler at målet ikke er å *løse* problemer, men å *påpeke* problemer. Hensikten med filosofien er å tvinge til tanke. En minnes læreren som sa: "Dette er nok enkelt og klinkende klart, men bare vent til jeg har forklart det!" Jeg må tilstå at det hender en fysiker her må være veldig tålmodig for å yte forfatteren rettferdighet når framstillingen blir langtekkelig og langdryg, gravalvorlig og uten minste antydning til humor.

En skal av og til ha legning for litt flisespikkeri og drøvtygging når temmelig banale saker drøftes oppover stolper og nedetter vegger uten å komme til noen skråsikker konklusjon. Da husker en feststemte bygdefolk på lokalet. De hadde evne til besluttsom handling. Der gjaldt det: "Kom til saken! Flaska fram!" Der var det ikke aktuelt å undres over kjedsommelige og subtile detaljer. Karene avgjorde saken drastisk: "Han kalte meg en psykolog. For sikkerhets skyld, så dro jeg til ham."

Dypt vann og grumsete vann har det til felles at det er vanskelig å se bunnen. Piet Hein sin advarsel har evig gyldighet: "Når du ingen tanker har, gjør da ei din tanke klar!" Jeg vil hevde at mye uenighet skyldes kløvet språkbruk. *Måten* ting blir sagt på er viktig, for den skal være klargjørende. Språkbruk må avklares, så ordenes mening er entydig. Det er ikke rosverdig hvis det råder tvil om hva en filosof egentlig har ment. En kan da heller ikke forvente å forklare tidsbegrepet om tiden sniker seg inn i forklaringen.

Jeg kan ikke innse at tiden faktisk ikke finnes om en tillater seg å betrakte verden som en slags helhet der materien med fortidens og framtidige hendelser er med. Da blir jo verden å sammenlikne med en film der vi ikke betrakter bilde for bilde, men på sett og vis står utenfor og ser filmrullen som helhet. Det vesentlige ved verden er at det ene filmbildet skiller seg fra det neste. Min egen og høyst private oppfatning er at verden ikke forandrer seg mens tiden går. Tiden *er* forandringen. Denne forandringen er en like grunnleggende egenskap ved verden som eksistensen av materie. Derfor kan vi slett ikke akseptere snakket om at tiden faktisk ikke eksisterer om der ikke finnes bevissthet.

Forfatteren gjør seg også noen tanker om hva vi må mene med en absolutt størrelse for et legeme. Det kan vi nok ikke fastslå ved å måle plassering i rommet, for der finner en bare hvor objektene befinner seg i forhold til hverandre. Men hvis jeg oppfatter han rett, så synes Wyller at vår egen kropp må være en målestav med forrang. Jeg har vanskelig for å innse at vårt eget legeme som står i stoffskifte med omgivelsene, kan være bedre å refe rere til enn meterstaven i Paris, eller antallet bølger av en spesiell type lys.

Her finnes noen tankevekkende betraktninger om hvordan den eksisterende ytre verden påvirker våre sanseorganer og gir oss sanseinntrykk. Disse inntrykkene er det vår bevissthet opplever som våre egentlige sanseopplevelser som vi opplever i erfaringens lys. Faktisk må vi bevege oss i rommet for å få det rette perspektiv og fatte objektenes tredimensjonalitet. For vår umiddelbare opplevelse er de jo kun flater.

Selv om jeg ikke er villig til å lovprise alt jeg finner i denne boka, synes jeg den er vel verdt å studere. Den representerer en utfordring, irriterer tanken og vekker uro i sinnet. Mer kan knapt en filosof håpe på.

Henning Knutsen

∞

Studér
fysikk!

Nye Doktorer

Jan Kenneth Bekkeng

Cand.scient. Jan Kenneth Bekkeng forsvarte den 23. mars 2007 sin avhandling *Prototype Development of a Low-Cost Sounding Rocket Attitude Determination System and an Electric field Instrument,* for graden PhD ved UiO.

For romfartøyer er beregning av orientering like viktig som å bestemme fartøyets posisjon og hastighet. Doktorarbeidet omfatter design, utvikling, testing og analyse av et lavkostsystem for å bestemme orienteringen til forskningsraketter. Et Kalman-filter og en glatter er utviklet for å estimere rakettens orientering ved å kombinere matematiske modeller med måledata fra tre gyroskoper, en solsensor og et tre-akse magnetometer. Det er foretatt omfattende simuleringer for å beregne nøyaktigheten til systemet, og de viser at en nøyaktighet på 0,5-1 ° kan oppnås selv ved bruk av sensorer med relativt store målefeil. Arbeidet inkluderer også design og utvikling av en lavkost tre-akse gyromodul for rull-rater opp til flere tusen grader/s. En digital solsensor for raketter er utviklet som en del av arbeidet, og det er utviklet testoppsett og algoritmer for å kalibrere gyroene før de integreres i nyttelasten. Arbeidet omfatter også utvikling av et elektrisk feltinstrument for raketter, for å måle elektriske felter i ionosfæren. Nøyaktig informasjon om rakettens orientering er nødvendig for å kunne analysere data fra dette instrumentet.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UIO. Veiledere har vært professor Jøran Moen, UIO, og Dr. Wilfred Booij, SINTEF IKT og Sonitor Techonolgies. Bekkeng er nå forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt.

∞

Magnus Willum Haakestad

Sivilingeniør Magnus Willum Haakestad disputerte 1. desember for graden PhD ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU, med avhandlingen *Optical fibers with periodic structures.*

En fotonisk krystallfiber er en ny type optisk fiber som har opptil flere hundre hull i fiberens lengderetning. Hullene gjør at denne typen fiber har helt unike egenskaper sammenlignet med standard optiske fibere.

Haakestad har studert to måter å påvirke lyset i slike fibere på. Den første måten er å sende en lydbølge langs fiberen, den andre er å fylle hullene med flytende krystaller, en spesiell type væske som blant annet brukes i dataskjermer og digitale ur, og sette på en elektrisk spenning over fiberen. I tilegg har han studert teoretisk hva kravet om at informasjon ikke kan gå raskere enn lysets hastighet har å si for egenskaper til optiske fibere. Nye komponenter innen fiberoptisk kommunikasjon og sensorteknologi kan bli resultatet av doktoravhandlingen.

Arbeidet er utført ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, NTNU, med professor Helge E. Engan som veileder. Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd og NTNU. Magnus Willum Haakestad er nå ansatt som forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt.

∞

Steinar Kragset

Sivilingeniør Steinar Kragset disputerte 10. november 2006 for graden dr.ing. ved NTNU, med avhandlingen *Phase transitions in effective lattice models for strongly correlated systems.*

Vi har ennå ingen full forståelse av mekanismene for høytemperatur superledning i kopperoksider. Felles for slike materialer er en anisotropisk struktur med todimensjonale CuO-plan. Grunntilstanden kan være antiferromagnetisk eller superledende, avhengig av antallet frie ladningsbærere som kan varieres ved oksygendopingen. Fenomener som separasjon av spinn og ladning og sammenbrudd av vanlig fermivæsketeori i kopperoksidene, antas å skyldes de sterke frastøtende kreftene mellom ladningsbærerne. For å beskrive de ulike tilstandene og faseoverganger mellom disse, kan vi formulere effektive gittermodeller i 2+1 romtidsdimensjoner.

I doktorarbeidet har Steinar Kragset studert slike modeller ved hjelp av klassisk Monte Carlo-simulering på superdatamaskiner. Han har studert topologiske faseoverganger i en 2+1-dimensjonal gass av "magnetiske monopoler" som oppstår i en gaugeteoriformulering av sterkt korrelerte fermionsystemer. Denne faseovergangen kan fortelle noe om sammenbrudd av fermivæsketeori. I tillegg har han studert faseovergangen fra en Néel-ordnet tilstand i en kvanteantiferromagnet til en valensbåndordning, og har funnet at faseovergangen er av første orden. Kragset har også studert temperaturdrevne overganger mellom vorteksfasene i et roterende Bose-Einstein-kondensat i en magnetisk felle.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk med professor Asle Sudbø som veileder. NTNU og Forskningsrådet har finansiert studiet. Kragset er nå postdoktor ved Institutt for fysikk, NTNU.

∞

Roman Shchelushkin

Master Roman Shchelushkin forsvarte 8. desember 2006 sin avhandling *Spin-orbit coupling induced transport in normal metals and ferromagnetic semiconductors* for graden PhD ved NTNU.

Et elektrisk felt skaper en strøm av elektroner i metaller og dopede halvledere. Et elektron har i tillegg til en elektrisk ladning, et spinn. I normale metaller er det like mange elektroner med spinn i en bestemt retning som i den motsatte. Et elektrisk felt skaper en elektrisk strøm, men ingen spinnstrøm. I ferromagneter er det et overskudd av elektroner med spinn i en bestemt retning, og et elektrisk felt skaper også en strøm av spinn. Dermed kan ikke-magnetiske metaller få spesielle elektriske og magnetiske egenskaper når de er i kontakt med ferromagneter. Disse egenskapene kan brukes i nye elektroniske kretser.

Spinn kan også injiseres i normale metaller og halvledere uten ferromagnetiske kontakter dersom spinn-bane vekselvirkningen er sterk nok. Den relativistiske spinn- bane vekselverkningen forsterkes i metaller og halvledere sammenlignet med vakuum. En ladning i bevegelse setter opp et magnetisk felt som påvirker elektronets spinn. Dette kan skape en spinn-Hall-effekt der et longitudinalt elektrisk felt skaper en transversal spinn-strøm. Roman har beregnet hvor stor denne spinn-Hall-effekten er og funnet at den er målbar i vanlige metaller som Al og Cu. I tillegg har han studert hvordan spinn-bane vekselvirkningen dramatisk forandrer transportegen skapene til magnetiske halvledere som GaMnAs.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Arne Brataas som veileder, og er finansiert av Norges forskningsråd. Roman Shchelushkin skal begynne å arbeide for Schlumberger i Moskva.

∞

Stein Olav Skrøvseth

Sivilingeniør Stein Olav Skrøvseth disputerte 12. desember for graden PhD. ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU, med avhandlingen *Entanglement and Its Applications in Systems with Many Degrees of Freedom.*

Kvantemekanikken beskriver naturen i liten skala og åpner for ikke-lokale korrelasjoner, kalt sammenfiltring. Det vil si at to adskilte enheter, for eksempel partikler, kan være sterkere sammenbundet - korrelert - enn det som er mulig med klassiske teorier. Denne sammenfiltringen tror man vil gi en framtidlig kvantedatamaskin en ekstra fordel framfor vanlige, klassiske datamaskiner.

Når en kvantedatamaskin skal bygges, vil det være nødvendig å kjenne til hvordan sammenfiltring virker i detalj for å gjøre best mulig nytte av den ekstra fordelen dette vil gi. Doktorgradsarbeidet har kastet lys over egenskapene til sammenfiltringen i enkelte fysiske systemer, og åpner for en bedre teoretisk forståelse av den mikroskopiske naturen.

Sammenfiltringen er studert i kvantemekaniske systemer som vil kunne være anvendelige i en kvantedatamaskin. Ved enkelte kritiske parametre vil sammenfiltringen spille en vesentlig rolle i systemet, og det er identifisert en metode for å finne slike parametre i meget små systemer. Videre har man sett at en komplisert grunntilstand skrives som en enkel utvikling i sammenfiltrede tilstander, noe som åpner for å kunne simulere slike systemer effektivt på vanlige, klassiske datamaskiner.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Kåre Olaussen som veileder. Det er finansiert av NTNU.

∞

Trim i FFV

FFVT 2/07

Mauren og ikosaederet

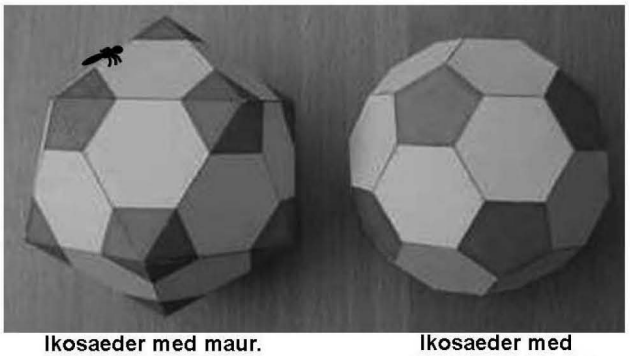
Tredimensjonale geometriske legemer begrenset av regulære mangekanter har fascinert matematikere helt fra Antikkens tid. Platon har skrevet om disse fem mulige konvekse formene (tetraederet, terningen, oktaederet, dodekaederet og ikosaederet), som derfor er blitt kjent som *de platoniske legemer.*

Ikosaederet begrenses av 20 likesidete trekanter, der fem møtes i 12 like hjørner, og to møtes i kanter, til sammen 30 kanter.

Ikosaederformen forekommer også i naturen. Mange virus har en proteinkapsel (kapsid) med slik form, som inneholder arvestoffet til viruset. Denne formen representerer den minste energien som molekylene i kapsidet kan ha.

Molekyler med 60 karbonatomer (C 60) ble oppdaget i 1985 som en tredje form for rent carbon, i tillegg til diamant og grafitt. Oppdagelsen ble honorert med Nobelprisen i kjemi i 1996. C 60 har molekylform som et ikosaeder hvor de 12 hjørnene er kuttet av. Dette resulterer i 12 femkanter med til sammen 60 hjørner, hvor karbonatomene sitter. Fotballer kan også ha slik form og består da av 12 femkanter og 20 sekskanter med samme kantlengde.

Oppgaven består i å finne den korteste distanse en maur må tilbakelegge for å gå langs alle de 30 kantene på et ikosaeder med kantlengde lik 1. Mauren trenger ikke returnere til startpunktet, og kan ikke gå tvers over trekanter. Noen kanter må traverseres mer enn en gang. Mauren er vesentlig mindre enn kantlengden, se figuren.



Ikosaeder med maur. "Hjørnene" i mørkere farge

Ikosaeder med avkuttede "hjørner". Fotball. C60. Buckminsterfullerene.

Løsning FFVT 1/07

Timeglass i vannsylinder

Så lenge mye av sanden i timeglasset er i øvre del vil det høye tyngdepunktet bikke glasset til sides, og friksjon mot sylinderveggen hindrer glasset i å flyte opp. Timeglasset stiger først når tyngdepunktet kommer lavere enn midten av glasset (lavere enn tyngdepunktet for den fortrengte vannmengde).

Ifølge vår kilde, vil fysikere ofte hevde at fallende sandkorn utgjør en ekstra kraft som hindrer timeglasset i å stige. Redaksjonen har også mottatt et slikt forslag fra en leser. Men slike forklaringer er neppe riktige, ifølge Walter P. Reid: "Weight of an Hourglass", Am.J.Phys. Vol. 35, April, 1967, s 351. Vår forklaring er basert på Martin Gardner: "Mathematical Carnival", Penguin Mathematics, ISBN 0-14013507-3, side 174).

∞

Nytt fra NFS

Årsmøtet i NFS 2007

Innkalling til årsmøte i Norsk Fysisk Selskap 2007. NFS avholder årsmøte på Rica Ishavshotell, Tromsø, i forbindelse med Fysikermøtet 8–10. august 2007. Endelig tidspunkt for årsmøtet annonseres på Selskapets nettsider.

Foreløpig saksliste:

1. Godkjenning av innkalling og saksliste
2. Valg av ordstyrer og referent
3. Årsmelding 2006/2007
4. Aktuelle saker og prosjekter i NFS
5. Regnskap og budsjett for NFS, NFL og FFV 2006
6. Fullmakt for (det lille) Fysikermøtet i 2008 til å revidere regnskap/budsjett og å godkjenne årsmelding
7. Rapport om valg i faggruppene
8. Valg (alle for 2 år):
   - **a)** President
   - **b)** Visepresident
   - **c)** Varamedlem til styret i NFS
   - **d)** Revisor med vararepresentant for NFS
   - **e)** Revisor for FFV
   - **f)** 3 medlemmer til valgkomité

Eventuelle andre saker må meldes inn innen 10. juli. Årsmelding og resterende sakspapirer vil ikke bli sendt til medlemmene, men blir lagt ut på NFS' hjemmesider.

Styret

∞

Nye medlemmer 21. mai 2007

Jon Håvard Brandvol, Vinstra vgs.

Juan Cardenas, Kjemisk institutt, UiO

Arnulf Crowo, Onsagers AS

Stefano Deledda, IFE

Espen Flage-Larsen, Fysisk institutt, UiO

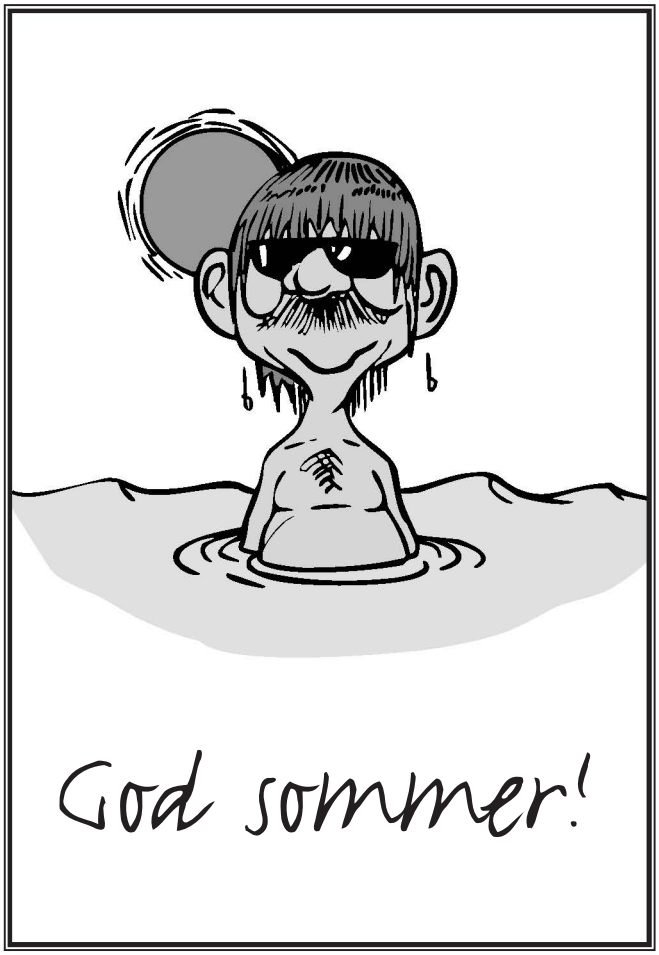
Øystein Prytz, Fysisk institutt, UiO

Marit Riktor, IFE

Kristine Stenvold, Norges toppidrettsgymnas

Sigurd Weidemann Løvseth, FFI

∞



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. Andre kan også abonnere på bladet. 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 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon om aktuelle tema og hendinger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i videregående skoler og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for vanlige fysikkstudenter. Artiklene i FFV skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket tekstbehandlingsprogram som er brukt. Under alle omstendigheter må redaksjonen kunne forandre teksten direkte.

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

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må 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 av artikklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest. 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:
Forsker Gunnar Arisholm
Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller
Førsteaman. Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO.
Forsker Ole Martin Løvvik
Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, UiO.
Førsteaman. Kjartan Olafsson
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
Forsker Rolf V. Olsen
Inst. for lærerutd. og skoleutvikling, UiO.
Professor Einar Sagstuen
Fysisk institutt, UiO.
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Akershus, Nordbyhagen.

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.