

Nr. 4 – 2013
75. årgang

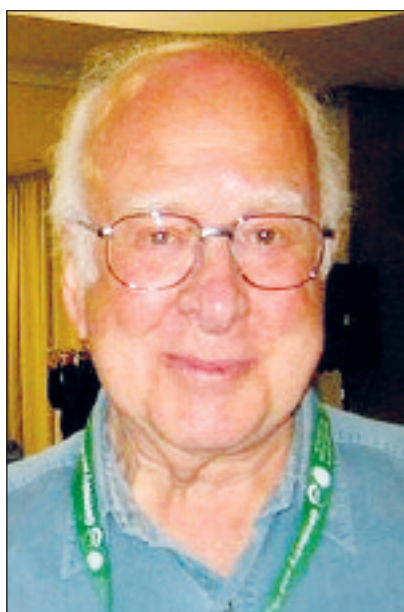
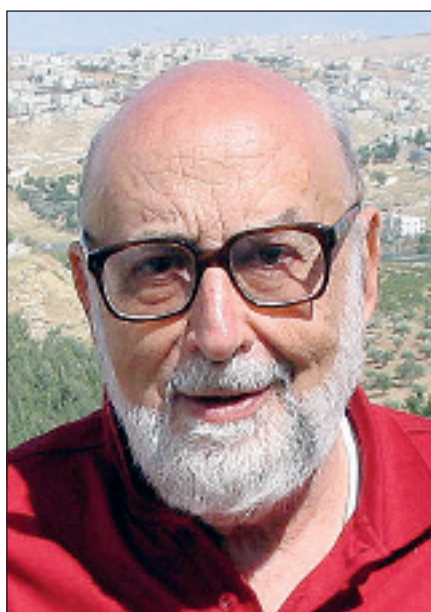
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Ould-Saada, Raklev og Read:	
Nobelprisen i fysikk 2013	101
Øyvind Grøn:	
Romelven og treg draeffekt	104
Emil J. Samuelsen:	
Friksjon og gli	111
Frå Redaktørane	98
In Memoriam	98
Øystein H. Fischer	
FFV Gratulerer	100
Per Chr. Hemmer 80 år	
Hva skjer	116
Birkelandforelesningen 2013	
Yaras Birkelandpris 2014	
Konferanse om kvinner i fysikk	
Bokomtale	118
Arnt Inge Vistnes:	
Svingninger og bølger	
Trim i FFV	118
Nye Doktorer	119
PhD Marit Sandstad	



Nobelprisvinnerne i fysikk 2013:
François Englert (t.v.) og Peter Higgs
(Se artikkel om Nobelprisen i fysikk)

Frå Redaktørane

Dette er siste nummer av "Fra Fysikkens Verden" sin 75. årgang. 75-årsjubileet vil bli markert neste år med ein historisk gjennomgang. FFV er altså 15 år eldre enn Norsk Fysisk Selskap, som er den ansvarlege utgivaren av tidsskriftet. Formålet med FFV er "å gi informasjon om aktuelle tema og hendingar i fysikk, og å bygge bru mellom forskarar, fysikklærarar, studentar og andre interesserte".

Fysikkselskapa i nabolanda våre gir alle ut tilsvarande tidsskrift med om lag same formål. I Finland har dei "Arkhimedes", eit fellestiltak for fysikk og matematikk, sidan 1948. I Sverige gir Svenska Fysikersamfundet ut "Fysikaktuelt" i fire nummer per år, og dessutan årboka "Kosmos". Dansk Fysisk Selskab sitt medlemsblad var tidsskriftet "Fysisk Tidsskrift" 1902–1989, som i 1990 vart omdøpt til "Kvant", og blir utgitt saman med Astronomisk Selskab, Dansk Geofysisk Forening og Selskabet for Naturlærers Udbredelse. Også "Kvant" har fire nummer om året. Norske fysikarar har iblant hatt artiklar i "Kvant".

Dei nordiske fysikkselskapa er små i europeisk målestokk, og opplaga for tidsskrifta er på nokre tusen. For FFV er opplaget 1900. Som kontrast til dette kan vi ta tilfellet Tyskland: Deutsche Physikalische Gesellschaft sitt medlemsblad, inntil 2001 under namnet "Physikalische Blätter", etter 2002 kalla "Physik Journal", har eit opplag på 62000, med 12 nummer per år!

Dette nummeret av FFV er litt kortare enn det som har vore vanleg i det siste, på grunn av at mykje stoff kjem inn for seint. Det er viktig at fristane som er sette, blir haldne om bladet skal komme ut tidsnok. Innhaldet har stor spennvidd; her er stoff om kosmos og om årets nobelpris i fysikk, saman med kvardagsleg fysikk om friksjon og gli. Og som vanleg er der, i samsvar med formålsparagrafen, informasjon om aktuelle hendingar med omtale av personar, prisar og konferansar. Redaksjonen ønskjer fleire omtalar av nye doktorarbeid, og også anna lokalt fysikknytt frå heile landet.

Dei fleste utgåver av FFV etter 2001 er tilgjengelege på Internett via NFS sine nettsider. Det er von om å få skanna og lagde på nettsidene alle FFV heilt frå starten i 1939.

Emil J. Samuelsen

∞

In Memoriam

Øystein H. Fischer (1942–2013)



Det var med sorg vi mottok budskapet fra Genève, om at vår gode venn og kollega professor Øystein Håkon Fischer var gått bort, 19. september. En lang og bemerkelsesverdig karriere som vitenskapsmann, underviser, veileder og mentor er med dette slutt.

Øystein Fischer var født i Bergen i 1942, hvor han hadde sin barndom og ungdomstid frem til fullført realartium i 1961. Etter ett års praksis ved forskningslaboratoriet til NERA A/S i hjembyen, reiste han til den kjente tekniske høyskolen ETH i Zürich, der han tok sin diplomeksamen i 1967 innen teoretisk fysikk. Øystein skulle bli værende i Sveits. Ferden gikk til Universitetet i Genève, hvor han fikk sin doktorgrad i eksperimentell fysikk i 1971, og ble rekruttert til en videre akademisk karriere, først som "assistant professor", og fra 1974 som professor i fysikk. Her gikk han etter hvert inn i ulike lederoppgaver, først som president for Seksjon for fysikk (1989–96) og deretter som prodekan ved universitetets Fakultet for realfag (1998–2004). Øystein satt også som medlem av Sveits' nasjonale forskningsråd fra 2001 til 2008 og tok en lederrolle i etableringen av MaNEP (*Materials with Novel Electronic Properties*), et nasjonalt konsortium for fremragende forskning innen materialvitenskap, hvor han tjente som direktør fra starten i 2001 til sykdommen rammet ham i januar i år.

Øystein Fischer nøt stor internasjonal anerkjennelse for sin forskning innen faste stoffers fysikk, og spesielt for sine eksperimentelle arbeider innen

supraleidning, hvor han og hans team gjorde flere banebrytende oppdagelser av nye fenomen og egenskaper som har bidratt til å øke vår forståelse av disse komplekse materialene. Han er særlig kjent for sine studier av magnetiske ternære supraleidere og komplekse oksid supraleidere med høy "kritisk" temperatur (dvs. høy- T_c supraleidere). Av hans arbeider kan nevnes påvisningen av koeksistens mellom antiferromagnetisme og supraleidning i DyMo_6S_8 , og oppdagelsen av en (chevrel-fase) supraleider, PbMo_6S_8 , med betydelig høyere øvre kritisk magnetfelt (60 T) enn hva som tidligere var kjent og ansett for mulig. Disse arbeidene innledet en omfattende internasjonal forskningsaktivitet på spillet mellom magnetisme og supraleidning, og åpnet for søk etter materialer med enda høyere kritisk felt – i dag realisert i høy- T_c supraleidere.

Øystein og hans studenter var også først ute med syntese av Tynnfilm heterostrukturer som kombinerte høy- T_c supraleidere ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) med isolerende oksid ($\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$), og åpnet med dette et nytt felt innen moderne materialforskning – oksid tynnfilmer og grenseflater skreddersydd for fundamentale studier og teknologiske anvendelser. I de siste tiår fokuserte Øystein og hans team på bruk av sveiptunnelmikroskopet til spektroskopiske studier av høy- T_c supraleidere, og gjorde med denne teknikken en rekke epokegjørende oppdagelser, bl.a. den første direkte observasjon av elektronisk virvelstruktur i høye magnetfelt, direkte måling av lokal tilstandstetthet i $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ og et direkte bevis for såkalt "pseudo-gap" over kritisk temperatur i $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ og $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$. Disse resultatene avdekket en uventet forskjell på klassiske og høy- T_c supraleidere. Fischers samlede produksjon teller mer enn 350 vitenskapelige avhandlinger, og mer enn 7000 siteringer av disse bærer bud om arbeidets originalitet og innflytelse på forskningen innen dette høyt profilerte området av moderne fysikk.

Øystein har i en årrekke med stor velvilje og engasjement stilt seg til rådighet for norsk forskning, både i faglig og forskningspolitisk sammenheng. Han ble for første gang kjent for fysikkmiljøet her i landet under et gjesteopphold ved NTH vinteren 1976, hvor han gav en meget spennende forelesningsserie om supraleidning til inspirasjon for så vel studenter som professorer.

Senere utviklet Øystein en bred kontaktflate mot norsk fysikk og materialvitenskapelig forskning, dels ved studentutveksling og gjesteopphold for norske forskere i hans gruppe i Genève, og dels ved at fremragende forskere er rekruttert fra

fysikkmiljøet i Genève til Trondheim. Øystein takket jevnlig ja til å delta på vitenskapelige konferanser, workshops og seminar her i Norge, der han alltid bidro til så vel høy kvalitet som god stemning. På den forskningspolitiske arena ledet han i 1986 den første fysikkevalueringen i regi av det daværende Norges almentvitenskapelige forskningsråd (NAVF), den såkalte Fischer-komiteen. Forskningsrådets oppfølging av de klare vurderinger og anbefalinger i rapporten fra denne komiteen gav norsk grunnforskning på materialfeltet et kraftig løft. Øystein stilte også seinere velvillig opp for norsk fysikk i forbindelse med internasjonale fagevalueringer og som vitenskapelig rådgiver.

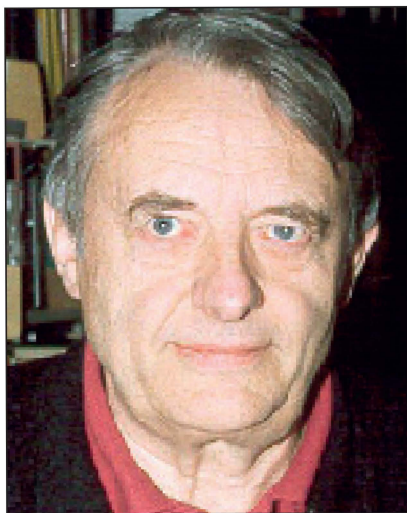
For sin vitenskapelige innsats mottok Øystein Fischer en rekke utmerkelser. Han var i studieåret 1986/87 Theodore H. Geballe gjesteprofessor ved Stanford-universitetet i California, ble utnevnt til æresdoktor ved Universitetet i Rennes i Frankrike (1990) og ved Universitetet i Neuchâtel i Sveits (2005). Samme år mottok han også Gunnar Randers Forskningspris for sin banebrytende forskning innen materialvitenskap. Videre ble han i 2008 tildelt Tage Erlander-professorat ved CTH i Göteborg av Sveriges forskningsråd, og mottok i 2012 Kammerlingh Onnes-prisen for sine meritter og sitt lederskap innen eksperimentell forskning på supraleidere. Øystein var honorært medlem av Sveitsisk fysisk selskap, og også medlem av en rekke fysikkselskap i Europa og Amerika. Han var medlem av både Norges tekniske vitenskapsakademi og Det kongelige norske videnskabers selskab.

For de av oss som hadde gleden av å arbeide sammen med Øystein Fischer og ha ham som mentor, både i Genève og under hans hyppige besøk her i Norge, er det en stor inspirator og en skattet kollega som nå er borte. Vi vil minnes med glede våre stunder med Øystein, i auditoriet, på labben, i seminarrommet, på konferanser og i hyggelig selskap rundt matbordet. I hans hyggelige hjem i den sjarmerende sveitsiske småbyen Coppet på grensa mellom kantonene Vaud og Genève, ble vi alltid møtt med vennlighet og gjestfrihet av Øystein og hans kone, Inger Johanne ("Hanne"). Våre tanker går i disse dager til henne og de tre barna, Bjørn, Kathrine og Håkon, som har mistet en kjær ekte-mann og far. Vi lyser fred over Øystein Fischers minne!

Jostein Grepstad, Thomas Tybell, Kristian Fossheim, Asle Sudbø og Per Chr. Hemmer

FFV Gratulerer

Per Chr. Hemmer 80 år



Professor Per Chr. Hemmer har hovedæren for at fagfeltet statistisk fysikk har stått sterkt ved NTH/NTNU de siste 50 årene. Han fylte 80 år den 14. mai i år, og er fortsatt faglig aktiv.

Per ble født i Arendal og ble siv.ing. ved Linjen for teknisk fysikk på NTH i 1956. I 1959 tok han dr.techn.-graden på et elegant arbeid om harmoniske kjeder, der han blant annet viste at en tung partikkel i en kjede av lette (i en passende grense) adlyder diffusjonligningen. Etter et kort kjernefysisk intermesso i Nordita, dro han til Rockefeller University i New York i 1961. Sammen med George Uhlenbeck og Mark Kac studerte Per tilstandsligningen til en endimensjonal modell der partikler vekselvirker med sterk frastøtning av kort rekkevidde og med svak, langtreggende tiltrekning. Forfatterne viste at tilstandsligningen til systemet er nettopp den som var foreslått av van der Waals. Arbeidet vakte stor interesse og ble starten på et helt fagfelt der fluide systemers egenskaper, både i likevekt og ikke-likevekt, ble studert i perturbasjonsutviklinger med den tredimensjonale versjonen av van der Waals-ligningen som nulte orden.

Etter en stipendiatperiode ble Per dosent ved NTH i 1966 og professor i teoretisk fysikk i 1969. Han har vært gjesteprofessor ved Rockefeller University, Universitetet i Nijmegen, Universidad Autónoma, Madrid, og State University of New York, Stony Brook.

Opp gjennom årene har Per interessert seg for en lang rekke forskjellige problemer innen statistisk fysikk, romslig definert: tilstandsligninger for klassiske og kvantemekaniske systemer, renormaliseringsteori, Markov-prosesser, køteori, solitoner, effektiv masse, og fiberbunter. Gjerne i inspirert og inspirerende samspill med en lang rekke doktorstudenter, som er samstemte i at Per har vært en storartet veileder. Samtidig har han også tatt grunnundervisningen på alvor, slik en hel liten serie med utmerkete lærebøker vitner om: i termisk fysikk, i statistisk mekanikk, i kvantemekanikk og i faste stoffers fysikk.

I tillegg til en imponerende innsats som forsker og universitetslærer, har Per Chr. Hemmer også gjort en stor administrativ innsats. Han har bl.a. vært instituttleder og avdelingsformann (dekan) lokalt, og hatt tunge tillitsverv i NAVF. Og internasjonalt har han, foruten en periode som nestformann i Norditas styre, vært sentral i IUPAP i en årrekke, i perioden 1984–90 som visepresident.

Per er glad i å løse problemer, og leserne av Fra Fysikkens Verden har i årevis kunnet glede seg over hans utfordrende trimoppgaver. Vi gratulerer!

Eivind Hüs Hauge og Emil J. Samuelsen

∞



Nobelprisen i fysikk 2013

Farid Ould-Saada, Are Raklev og Alex Read *

Årets nobelpris i fysikk tildeles Baron Englert, Université Libre de Bruxelles, og Peter Ware Higgs, University of Edinburgh. De får prisen for ”oppdagelsen av en mekanisme som bidrar til vår forståelse av opprinnelsen til masse for subatomiske partikler, og som nylig ble bekreftet gjennom oppdagelsen av den forutsagte fundamentalpartikkelen av ATLAS- og CMS-eksperimentene ved CERNs Large Hadron Collider”.

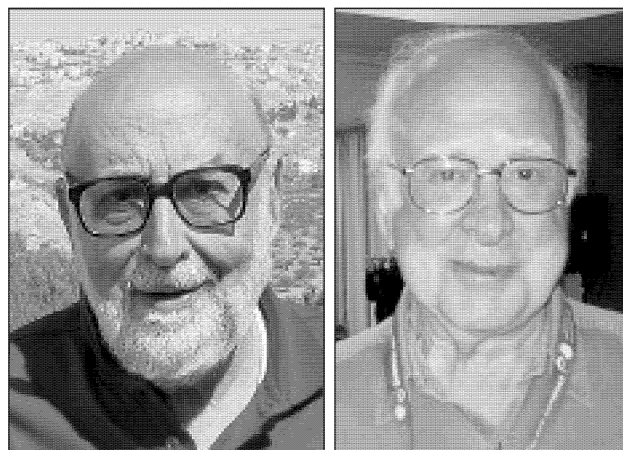
Allerede i 1964 ble ideen født om at universet er fylt av et felt som må til for å forklare hvorfor fundamentale partikler ikke er masseløse. Senere ble dette en del av den utrolig suksessrike standardmodellen for partikkelfysikk. Det skulle likevel gå hele 48 år før man i juli 2012 kunne påvise en partikkel med de egenskapene som denne mekanismen forutsier, et såkalt *higgsboson*. Hvordan mekanismen fungerer, og letingen etter higgsbosonet har vært gjenstand for artikler i tidligere nummer av FFV.^(1,2,3) Vi vil derfor her begrense oss til å si noe om hva som faktisk ble gjort i 1964, hvorfor prisen for denne oppdagelsen blir gitt til nettopp Englert og Higgs, og hva vi fortsatt kan lære av oppdagelsen deres.

Artiklene i 1964

Ideen bak det vi i dag gjerne kaller *higgsmekanismen* ble fremsatt nesten samtidig av tre grupper med fysikere i 1964. Rekkefølgen som artiklene ble publisert i journalen *Physical Review Letters* er denne: Robert Brout og François Englert,⁽⁴⁾ Peter Higgs,⁽⁵⁾ og Gerald Guralnik, Richard Hagen og Tom Kibble.⁽⁶⁾ Det er morsomt å merke seg at det samlede sideantallet for disse revolusjonerende artiklene knapt når seks.

Går vi tilbake og ser på motivasjonen for disse arbeidene, så finner vi at det *ikke egentlig* handler

om massen til de partiklene mekanismen brukes på i dag. De var i stedet motivert av et ønske om å forklare massen til hadroner, slik som protoner og nøytroner som vi finner i atomkjernene. Spesielt var de interessert i noen fotonlignende hadroner som kalles rho-mesoner, og som da nylig var blitt oppdaget i 1961. I dag vet vi at alle hadronene får det meste av massen sin fra bindingsenergien mellom kvarkene og gluonene som de består av, gjennom den sterke kjernekraften, men dette var man enda langt fra å forstå i 1964.



Figur 1. Nobelprisvinnerne i fysikk 2013: François Englert (til venstre) og Peter Higgs (til høyre). Kilde: Wikimedia Commons.

Fra arbeidene til Julian Schwinger om kvante-elektrodynamikken (som han fikk Nobelprisen for i 1965 sammen med Feynman og Tomonaga) var det kjent at massive fotonlignende partikler – også kalt vektorbosoner – er problematisk i gauge-teorier. Slike teorier er det matematiske verktøyet vi beskriver mikrokosmos med i moderne fysikk. Og i gauge-teorier burde fotonlignende partikler rett og slett ikke ha masse i det hele tatt. Selv om både Brout-Englert og Higgs spesifikt nevner rho-hadroner som en motivasjon, så studerte ingen av gruppene noe som ligner på den virkelige verden, de forsøkte å forklare massen til fotonlignende partikler rent prinsipielt, i en forenklet gauge-teori, en

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

slags tenkt verden, hvor de bedre kunne forstå selve mekanismen.

Philip Anderson (Nobelprisen i 1977) hadde allerede i 1963 påpekt at fotoner får masse inne i superledere, og han spekulerte, uten bevis, på om lignende ideer kunne fungere i vakuum. Uten matematikken på plass for å underbygge spekulasjonene, var det ikke alle som trodde ham, og i 1964 ga til og med Walter Gilbert (Nobelprisen i kjemi i 1980) et bevis for at Andersons metode ikke kunne virke. Higgs innså at Gilberts bevis hadde et viktig hull, og skrev en kort artikkel i september 1964 hvor han påpekte dette. En måned tidligere hadde Brout og Englert,⁽⁴⁾ uavhengig av Anderson, Gilbert og Higgs, og uten at Higgs var klar over det, også skrevet en artikkel som viste hvordan fotonlignende partikler kunne få masse i vakuum, ved å bruke andre teknikker enn det Higgs gjorde.

En artikkel nummer to ble skrevet av Higgs i oktober,⁽⁵⁾ fortsatt før han var klar over artikkelen til Brout og Englert. Her gir han et enkelt konkret eksempel som gjorde det lettere å forstå mekanismen. Han tenker seg en verden som bare har én fotonlignende partikkel og ett nytt felt, det som siden blir hetende higgsfeltet. Han sender denne inn til journalen *Physical Review*, men får den refusert. Som en ettertanke, i arbeidet med å revidere artikkelen for ny innsendelse, nevner Higgs for første gang noe som for ham og de andre innvolverte var nærmest uviktig, og kanskje for opplagt, at det i denne mekanismen også må finnes en massiv partikkel, et boson, som er en eksitasjon av det nye feltet. Det er dette vi i dag kaller et *higgsboson*, og det er denne forutsigelsen som i fjor ble bekreftet av ATLAS og CMS. Et utsnitt fra Higgs opprinnelige artikkel som beskriver partikkelen for første gang, vises i figur 2.

about the "vacuum" solution $\varphi_1(x) = 0$, $\varphi_2(x) = \varphi_0$:

$$\partial^\mu \{ \partial_\mu (\Delta \varphi_1) - e \varphi_0 A_\mu \} = 0, \quad (2a)$$

$$\{ \partial^2 - 4\varphi_0^2 V'''(\varphi_0^2) \} (\Delta \varphi_2) = 0, \quad (2b)$$

$$\partial_\nu F^{\mu\nu} = e \varphi_0 \{ \partial^\mu (\Delta \varphi_1) - e \varphi_0 A_\mu \}. \quad (2c)$$

Equation (2b) describes waves whose quanta have (bare) mass $2\varphi_0 [V'''(\varphi_0^2)]^{1/2}$; Eqs. (2a) and (2c)

Figur 2. Ligning (2b) er første gang et higgsboson eksplisitt opptrer for å gi masse til en fotonlignende partikkel.⁽⁵⁾ Higgs forutsier også at denne partikkelen har en spesifikk masse som han gir et uttrykk for i den siste linjen.

Higgs' andre artikkel ble i november 1964 fulgt av teoretiske oppklaringer fra Guralnik, Hagen og Kibble,⁽⁶⁾ som bygget et mer solid matematisk fundament for mekanismen, og som forsikret at resultatene i artiklene fra Brout-Englert og Higgs var riktige. Før Internet var fysikerne avhengig av å få særtrykk av artiklene til hverandre sendt i posten. Guralnik har senere beskrevet hvordan de var i ferd med å slutføre sin artikkel:

...Kibble kom inn på kontoret med to artikler av Higgs og en av Englert og Brout. Disse hadde akkurat kommet med den dengang meget sene og upålitelige posten (på grunn av streiker og merkverdigheter ved Imperial College). Vi ble veldig overrasket og til og med forbløffet. Vi hadde ingen anelse om at det fantes noen konkurrerende interesser i problemet...

Ingen av de tre artiklene beskriver akkurat det higgsfeltet vi bruker i standardmodellen i dag. Og det de forsøkte å forklare, massen til rho-mesonet, har i dag fått en helt annen forklaring. Higgsmekanismen er bare ansvarlig for under 1 % av rho-mesonmassen gjennom massen den gir til kvarkene rho-mesonet består av. Likevel er higgsmekanismen helt essensiell for vår eksistens. Uten masse ville kvarkene, som fotoner, alltid reist med lysets hastighet og aldri formet protoner og nøytroner i det tidlige universet, noe som er basisen for de atomene vi består av.

Det var Steven Weinberg og Abdus Salam som først brukte ideen, tre-fire år senere, på basis av arbeider av Sheldon Glashow, Schwingers student, til å lage en modell som beskriver den svake kjernekraften ved hjelp av massive fotonlignende partikler, *W*- og *Z*-bosonene. Noe som Weinberg, Salam og Glashow fortjent fikk Nobelprisen for i 1979. Det er verd å nevne i denne sammenhengen at det var Weinberg som først brukte Higgs' navn på den nå berømte partikkelen i sitt arbeid i 1967, en artikkel som i dag regnes som den mest siterte innen partikkelfysikk, men som nesten ingen la merke til før et stykke inn på 1970-tallet.

Så hva slags konklusjoner kan vi dra av de mange irrgangene i historien om higgsmekanismen? Kanskje den at oppdagelser sjelden er isolerte og inspirerte arbeider til enkeltmennesker, slik som det ofte blir fremstilt, og muligens at det å tenke på abstrakte ideer og forenklede modeller er nyttig selv om man ikke nødvendigvis lykkes med det praktiske målet for forskningen.

Tre vinnere

Sett ut ifra den intrikate tilblivelsesberetningen vi har gitt kan man lure på hvem som burde ha fått Nobelprisen? Hva med de som oppdaget higgsbosonet i fjor, burde ikke de også ha en lott i den? Det er umulig å peke ut enkeltpersoner blant de tusener av eksperimentister som er delaktige i oppdagelsen; og det er lang tradisjon for at nobelprisene i fysikk, kjemi og medisin tildeles høyst tre vinnere. I motsetning til fredsprisen er disse prisene heller aldri gitt til organisasjoner, selv om det ikke er prinsippielt umulig, eller i strid med Nobels testamente.

Med dette i mente var det på forhånd ikke ventet at de store eksperimentene ATLAS og CMS ville få del i prisen. Men vi kjenner til at det har vært uenighet innad i det Svenske Kongelige Vitenskapsakademiet, som avgjør tildelingen. Motsetningen står mellom de som vil bevare dagens ordning med individuelle forskere som vinnere, og de som mener at store kollaborasjoner har en så viktig rolle i moderne forskning at man bør tenke nytt. Som vi nå vet, falt Vitenskapsakademiet ned på det tradisjonelle valget, men ATLAS og CMS er æret ved å utgjøre en stor del av den offisielle begrunnelsen.

Så må man se på hvem av opphavsmennene som burde ha fått prisen. Siden prisen er begrenset til tre personer, er det vanskelig å tenke seg noe annet enn å gi prisen til de to første artiklene til tross for at alle tre gruppene arbeidet med dette uavhengig av hverandre. Alternativet vil vært å plukke ut én representant fra hver gruppe som var viktigere enn de andre, eller å endre på tradisjonen. Denne siste muligheten sitter nok lengre inne enn å skulle gi prisen til organisasjoner, for hvor skulle man stoppe da om man utvidet til seks personer? Det ville vært et evig tilbakevendende tema for hver ny utdeling. Dette gir tre vinnere, men dessverre døde Robert Brout i 2011. Kanskje burde lærebøkene fra nå av begynne å kalle dette BEH-mekansimen?

Hva nå?

På CERN har Large Hadron Collider (LHC) nå en pause frem til slutten av 2014. Dette er for å oppgradere akseleratoren til den høyeste energien den er laget for. Det betyr ikke at det higgs-lignende bosonet man fant i fjor er gammelt nytt. Etter å ha tredoblet datamengden har man redusert sannsynligheten for at det man ser skyldes en tilfeldig statistisk fluktusjon til 10^{-23} , bare for ATLAS. Siden

annonseringen av oppdagelsen 4. juli har man arbeidet hardt for å forsikre seg om at dette faktisk er et higgsboson, altså en partikkel som har de egenskapene mekanismen forutsier, og at det er akkurat det higgsbosonet som finnes i standardmodellen.

Så snart massen er bestemt er alle higgsbosonets egenskaper i standardmodellen gitt. På grunn av den relativt enkle jobben det er å rekonstruere henfallene den nyoppdagede partikkelen har til to fotoner, eller fire leptoner, har man nå et godt, konservativt estimat for massen på $m_H = 125.6 \pm 0.3 \text{ GeV}/c^2$, allerede mer presist enn den målte massen til toppkvarken som ble funnet på Tevatron for 20 år siden. Presisjonsmålinger av higgsbosonets egenskaper kan derfor brukes som en god test.

Man har sjekket at det man har funnet er et såkalt skalarboson og ikke et vektorboson, og at det har positiv paritet, som betyr at et speilbilde av partikkelen har samme egenskaper. Videre observerer man de forventede interaksjonene med fotonlignende partikler. Det henfaller til fotoner, W - og Z -bosoner som forutsagt. Alle disse nye resultatene gjør at CERN har konkludert med at vi burde slutte å kalle dette et higgs-lignende boson, og begynne å kalle det *ett* higgsboson. Alt stemmer så bra at nobelkomiteen kan være trygg på tildelingen.

Man kan kanskje spørre seg: Er det ikke opplagt at det er higgsbosonet i standardmodellen da, siden man har funnet det der man lette etter det? Det ville være litt av en tilfeldighet om det viste seg å være noe helt annet. Men som man forhåpentligvis kan forstå av det vi har skrevet over: Den modellen Weinberg først skrev ned i 1967, som senere ble standardmodellen, er bare én av mange muligheter for å bruke higgsmekanismen. Det finnes andre modeller hvor higgsbosonet har litt forskjellige egenskaper, og det finnes modeller som har mange flere higgsbosoner.

Det er interessant at et av eksperimentene (ATLAS) observerer henfall av higgsbosonet til to fotoner litt oftere en forutsigelsen i standardmodellen. Vi har heller ingen endelig bekreftelse på at det higgsbosonet som er funnet gir masse til fermionene, materiepartikler som leptoner og kvarker. Interaksjoner med toppkvarkene er bare målt indirekte, og henfall til to bunnkvarker finnes det bare et svakt prov på. Her er ikke eksperimentene sensitive nok enda, det trengs mer data.

Så har man en av særegenhetene til higgsbosonet: Dersom det skal gi masse til alle de andre elementærpartiklene så må det vekselvirke med dem. I kvantefysikken betyr det at higgsbosonet blir

gjensidig påvirket av de samme partiklene. Egenskapene til higgsbosonet sier oss noe om hvilke andre partikler som eksisterer, og kan for eksempel avsløre hemmeligheter om mørk materie og mørk energi.

Alt dette vil man fortsette å undersøke når LHC skrues på igjen i 2015 med høyere energi og kollisjonsintensitet, gjennom presisjonsmålinger av higgsbosonet. Kanskje venter det flere fantastiske oppdagelser på oss i nær fremtid, og kanskje blir det flere nobelpriser fra higgsbosonet?

Referanser

1. A. Lipniacka *LHC, en lykt inn i mørk materie*. Fra Fysikkens Verden, **68**, Nr 1, 6-12 (2006)

2. J.O. Eeg: *Symmetriar som brytast – Om kva Higgs gjer og ikkje gjer*. Fra Fysikkens Verden, **74**, Nr 4, 97-103 (2012)
3. L. Bugge m.fl.: *Er higgsbosonet funnet ved LHC?* Fra Fysikkens Verden, **74**, Nr 3, 64-72 (2012)
4. F. Englert and R. Brout: *Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons*. Phys. Rev. Lett. **13**, 321 (1964)
5. P. W. Higgs: *Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons*. Phys. Rev. Lett. **13**, 508 (1964)
6. G. S. Guralnik, C. R. Hagen and T. W. B. Kibble: *Global Conservation Laws and Massless Particles*. Phys. Rev. Lett. **13**, 585 (1964)

∞

Romelven, treg draeffekt og rotasjonsbevegelsens relativitet

Øyvind Grøn *

Fenomenet som kalles treg draeffekt, er at et akselerert eller roterende legeme drar med seg lokale treghetssystemer. Dette vil her bli anskueliggjort ved å introdusere en modell av rommet som en "elv" som består av lokale treghetssystemer. Jordas rotasjon gjør at romelven dras langsamt med i jordas rotasjonsretning, noe som er blitt målt i Lageos- og Gravity Probe B-eksperimentene. Det vises at ifølge relativitetsteorien kan rotasjonsbevegelse oppfattes som en relativ bevegelse i vårt univers.

Er rotasjonsbevegelse relativ?

I NRK P2s Ekko ble det nylig spurt om det har noen mening å snakke om jordas rotasjon hvis jorda hadde vært alene i universet slik at det ikke hadde vært noe å rotere i forhold til? Dette ble fulgt opp med et spørsmål om rotasjon er absolutt eller relativ i vårt univers.

Når vi skal svare på disse spørsmålene er det viktig å minnes hva Albert Einstein sa til Werner Heisenberg i 1920-årene da sistnevnte strevde med å forstå den kvantemekanikken han hadde vært med å konstruere: "Det er teorien som forteller hva vi observerer."

Rotasjon i Newtons gravitasjonsteori

Ved hjelp av nøyaktige målinger kan vi finne ut hvordan jorda buler ut i retning av ekvator, og vi kan observere coriolisakselerasjonens betydning for været.⁽¹⁾ I Newtons gravitasjonsteori tolkes slike fenomener, sett fra et referansesystem som roterer sammen med jorda, som resultater av såkalte treghetskrefter som oppstår fordi jorda roterer. Dette gjelder uavhengig av den kosmiske massen som omgir jorda – også i et tomt univers. Rotasjon er absolutt ifølge Newtons gravitasjonsteori.

* Høgskolen i Oslo og Akershus, og Fysisk institutt, UiO.

Treghetssystemer i Newtonsk fysikk

Ifølge Newtons dynamikk er treghet et fenomen som relaterer bevegelsen av legemer til det absolutte rom. Beskrevet i et roterende referansesystem gir rotasjon relativt til det absolutte rom opphav til sentrifugalkrefter, som illustrert i "bøtteeksperimentet", figur 1.

Et treghetssystem er et referansesystem der Newtons 1. lov gjelder. Denne definisjonen er gyldig både i den newtonske fysikk og i relativitetsteorien. Men som vi skal se, beveger treghetssystemer seg på forskjellige måter i den newtonske fysikken og i relativitetsteorien. I newtonsk fysikk er et treghetssystem et referansesystem som ikke roterer, og som enten er i ro eller beveger seg med konstant fart langs en rett linje i forhold til det absolutte rom.

Machs prinsipp

Den østerrikske fysikeren Ernst Mach skrev i 1880-årene en mekanikkbok der han hevdet at all bevegelse er relativ. For ham hadde "det absolutte rom" ingen mening. Mach mente at treghetssystemene har konstant hastighet i forhold til "fiksstjernene," dvs. i forhold til all massen i universet.

Ernst Mach skrev at det gjør ingen forskjell om vi betrakter jorda som roterende, eller at jorda er i ro mens de himmelske legemene roterer rundt jorda. Videre skrev Mach: "Newtons eksperiment med en roterende bøtte med vann informerer oss ganske enkelt om at den relative rotasjonen av vannet i forhold til bøtten ikke lager noen merkbare sentrifugalkrefter, mens slike krefter produseres av den relative bevegelsen i forhold til massen av jorda og de andre himmellegemene."

Newtons gravitasjonsteori har som konsekvens at en roterende kosmisk masse ikke lager sentrifugalkrefter. Machs prinsipp kan ikke være gyldig med Newtons gravitasjonsteori. Hvis vi aksepterer Machs prinsipp, må vi konkludere med at Newtons gravitasjonsteori ikke kan være korrekt.

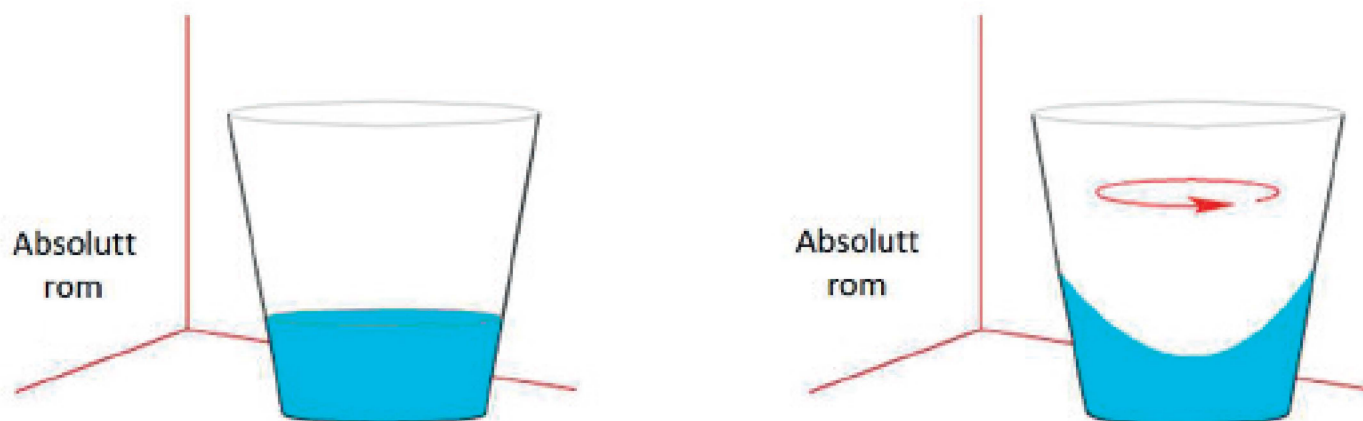
Treghetssystemer i den generelle relativitetsteorien

I den generelle relativitetsteorien oppfattes ikke gravitasjon som en kraft. Mens et legeme i fritt fall er påvirket av gravitasjon i Newtons teori, så er det ikke påvirket av noen krefter i relativitetsteorien. Det betyr at et lokalt treghetssystem er et ikke-roterende system i fritt fall ifølge relativitetsteorien.

Romelven

Mange relativistiske effekter dreier seg om hvordan materiens bevegelse innebærer en tilsvarende bevegelse av rommet. For eksempel betyr universets ekspansjon ifølge relativitetsteorien at selve rommet utvider seg. Vi trenger en modell av rommet som tillater rommet å ha en bevegelse.

I en artikkel med tittelen "*A river model of space*" har Simen Bræck og jeg, inspirert av en artikkel av A.J.S. Hamilton og J.P. Lisle med tittelen "*A river model of black holes*",⁽²⁾ beskrevet rommet som en elv som består av lokale treghetssystemer.⁽³⁾ Romelven har altså en ikke-materiell karakter, men den har likevel fysiske virkninger. For eksempel vil en observatør som beveger seg sammen med romelven, ikke oppleve noen tyngde.



Figur 1. Til venstre: Vann i ro i forhold til det absolutte rom. Til høyre: Vann som roterer i forhold til det absolutte rom.

For å fiksure *romelvns bevegelse* må vi innføre en randbetingelse for de lokale treghetssystemene som definerer elven. I beskrivelsen av det ekspanderende univers tas utgangspunkt i Hubbles lov. Den sier at i forhold til en observatør et vilkårlig sted i universet, ekspanderer rommet med en hastighet, v , som er proporsjonal med avstanden, d , fra observatøren,

$$v = Hd, \quad (1)$$

der H kalles hubbleparameteren.

Hubbles lov innebærer at i tilstrekkelig stor avstand fra observatøren ekspanderer rommet med overlyshastighet. Den spesielle relativitetsteoriens begrensning til hastigheter mindre enn lysets hastighet i tomt rom, gjelder ikke for romelven. Der rommet renner utover med lysets hastighet er det en horisont. Utenfor horisonten renner romelven utover med overlyshastighet i forhold til observatøren. Derfor kan ingen signaler komme fra området utenfor observatørens horisont og inn til observatøren.

Universet beskrives vanligvis i forhold til en observatør som er i sentrum av et koordinatsystem. Ifølge Hubbles lov er romelvns hastighet proporsjonal med avstanden fra observatøren. Det betyr at romelven har null hastighet i observatørens posisjon. Dette er den kosmologiske randbetingelsen for romelven. I kosmologien betraktes galaksehopen som "testpartikler" som definerer romelvns bevegelse. Romelven ekspanderer sammen med den kosmiske materien. Materien drar med seg rommet slik at det følger materien. Dette kalles *perfekt treg draeffekt*, et begrep vi skal komme tilbake til nedenfor.

Romelven utenfor en isolert massefordeling

I et rom som er tomt bortsett fra en begrenset massefordeling, for eksempel jorda, brukes en annen randbetingelse for å definere romelvns bevegelse. I slike situasjoner pleier en å se bort fra universets ekspansjon. Randbetingelsen er da at treghetssystemene som utgjør romelven, er i ro i stor avstand fra massefordelingen. I endelige avstander renner romelven innover mot massefordelingen. Hvis massefordelingen klemmes sammen til et svart hull renner romelven inn i det svarte hullet. En konsekvens av likningene i relativitetsteorien er at romelven har lyshastighet ved overflaten av det svarte hullet og renner med overlyshastighet innen-

for horisonten som definerer hullets overflate. Derfor kan ingen ting innenfor horisonten komme ut av et svart hull. Romelven drar alt som er inni et svart hull innover mot sentrum.

Horisontradien, R_S , til et (elektrisk nøytralt, ikke-roterende) svart hull kalles schwarzschildradius. Et svart hull med masse M har schwarzschildradius

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}, \quad (2)$$

der G er Newtons gravitasjonskonstant og c er lyshastigheten i tomt rom. For at jorda skal omdannes til et svart hull må hele jorda klemmes så mye sammen at den får plass inni en golfball. Et svart hull med solas masse har en schwarzschildradius $R_* = 3$ km.

Treg draeffekt

I rommet utenfor et roterende legeme viser de relativistiske likningene at en fri partikkel som faller fra ro i det fjerne, først beveger seg radielt, men så avbøyes bevegelsen i samme retning som legemet roterer. Dette betyr at romelven dras med i legemets rotasjonsretning, noe som kalles *treg draeffekt* (figur 2).

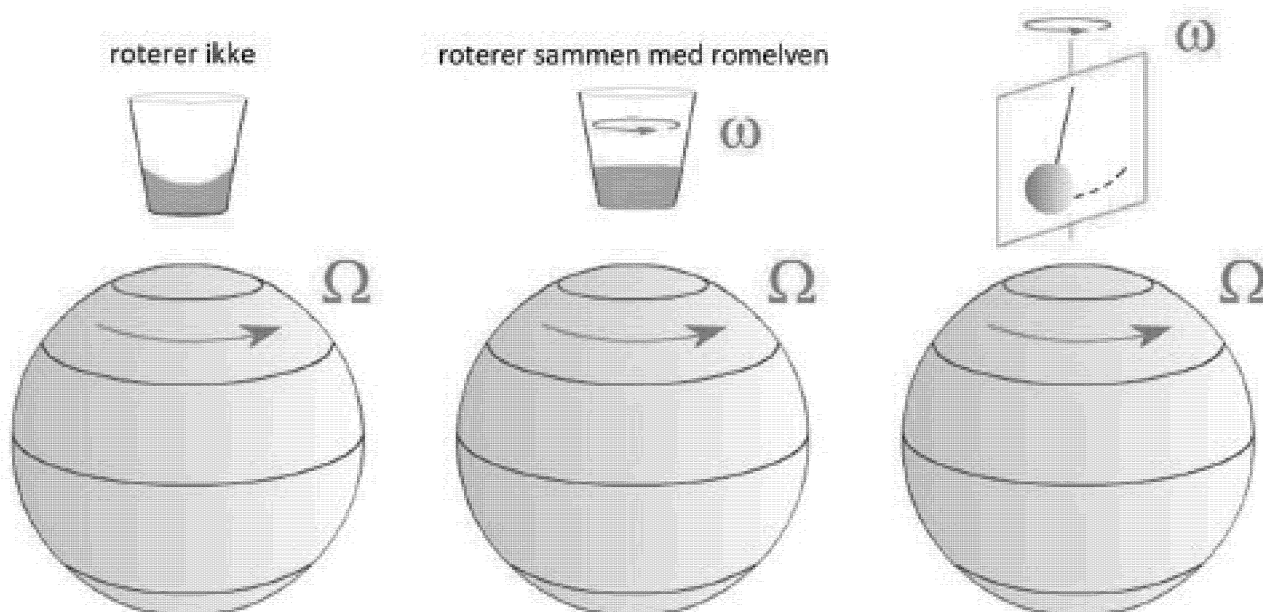
Test av treg draeffekt med Lageos satellittene

Dersom man sender en satellitt i bane slik at den passerer over jordas poler, vil den trege draeffekten forårsake en dreining av satellittbanen (figur 3).

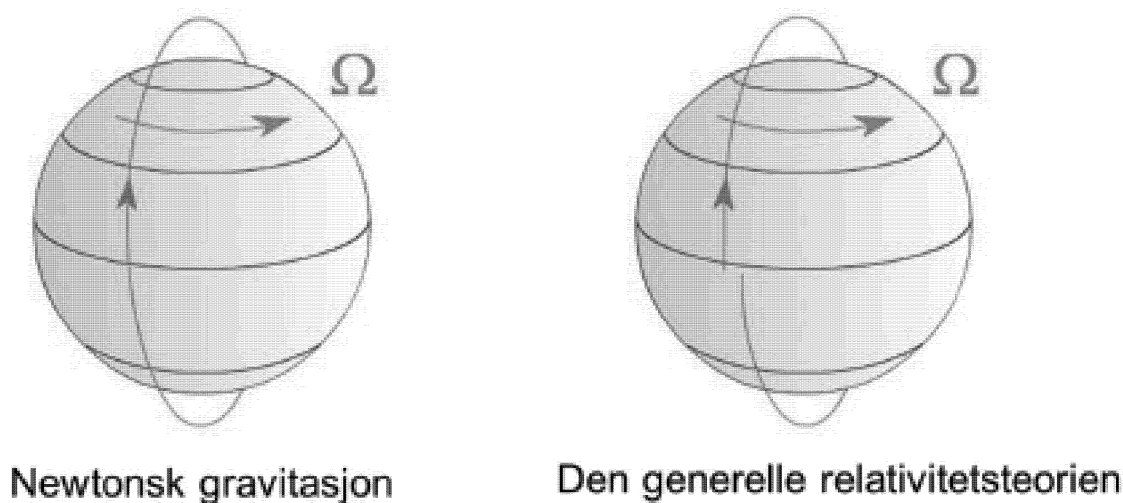
I grensen for et svakt gravitasjonsfelt er vinkelhastigheten, ω , til romelven på grunn av den trege draeffekten, i avstand r fra sentrum av en kule med schwarzschildradius R_S og radius R som roterer med vinkelhastighet Ω ,

$$\omega = \frac{1}{3} \frac{R_S}{R} \left(\frac{R}{r} \right)^3 \Omega. \quad (3)$$

Ved jordas overflate er $r = R = 6400$ km, og jordas schwarzschildradius er $R_S = 0,9$ cm. Vinkelhastigheten til jordas døgnlige rotasjon er $\Omega_E = (\pi/12)$ per time. Innsetting av disse størrelsene i likning (3) gir romelvns vinkelhastighet ved jordas overflate, $\omega = 0,26$ buesekunder per år. Det svarer til en omløpstid på omtrent 30 millioner år. Dette forteller oss at draeffektkoplingen mellom legemet og rommet er svært svak, i hvert fall i et svakt gravitasjonsfelt der $r = R \gg R_S$.



Figur 2. Illustrasjon av den trege draeffekten. I denne figuren tenker vi oss at jorda er alene i universet, og alle vinkelhastighetene er definert i forhold til et fjernt ikke-roterende referansesystem. Til venstre: Et glass med ikke-roterende vann over Nordpolen til den roterende jorda. Ifølge Newtons teori ville vannflaten ha vært horisontal, men ifølge relativitetsteorien roterer vannet i forhold til romelven og får derfor en liten krumning. I midten roterer vannet sammen med romelven med vinkelhastighet ω . Vannet vil da være i ro i et lokalt treghetssystem der Newtons 1. lov gjelder, og vannets overflate vil derfor være vannrett. Til høyre: En foucaultpendel over jordas Nordpol. Svingepenet roterer med romelvns vinkelhastighet.



Figur 3. Satellittbaner over polene. Til venstre: Lukket bane som forutsagt av Newtons gravitasjonsteori. Til høyre: En bane som avbøyes slik Einsteins teori forutsier.

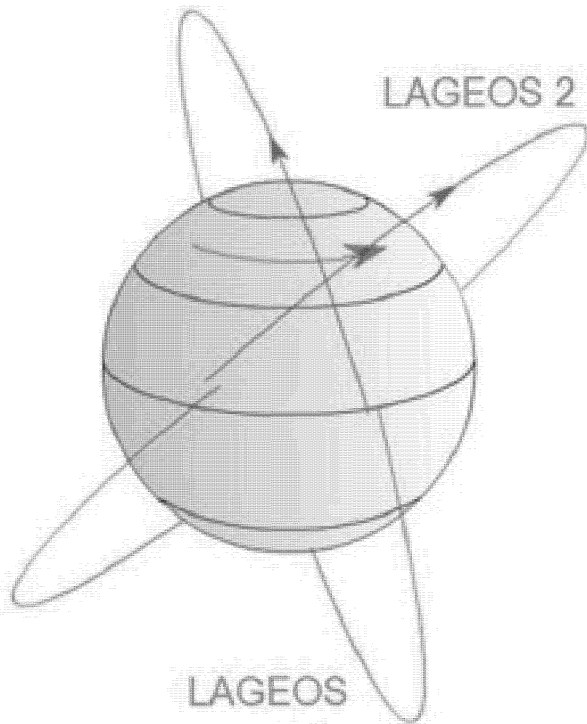
Den relativistiske avbøyningen, gitt i likning (3), leder til en forskyvning med en avstand d per runde av en satellittbane med radius r , som vist i figur 4,

$$d = \frac{4\pi}{5} \frac{\Omega_E}{\Omega_{Sat}} \left(\frac{R}{r} \right)^2 R_S, \quad (4)$$

der Ω_{Sat} er satellittens vinkelhastighet når den beveger seg rundt jorda.

Ved hjelp av Lageos I og II-satellittene ble dette i årene fra 2000 til 2008 utnyttet til å undersøke om den trege draeffekten eksisterer.

Innsetting av data for Lageos-satellittene i likning (4) gir $d = 0,13$ cm. Denne forskyvningen akkumuleres ved flere omløp, men var likevel så liten at andre effekter som jordas avvik fra å være en perfekt kule, gjorde det nesten umulig å måle ef-



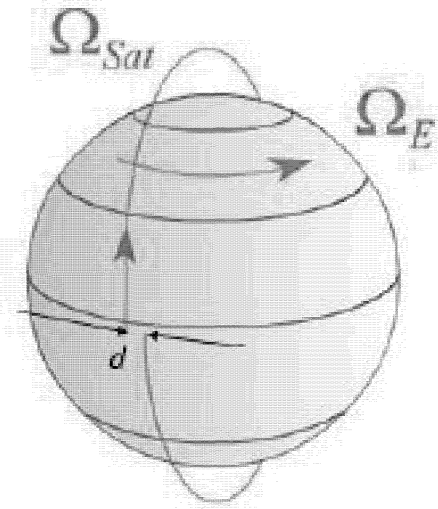
Figur 4. Lageos-satellittenes baner.

fekten med bare én satellitt i bane. Men med to kunne man måle differansen mellom forskyvningene til de to satellittenes baner (figur 5), og da ble de viktigste feilkildene eliminert. Sluttresultatet etter evaluering av 11-års observasjonsdata var at jorda forårsaker en treg draeffekt, og at romelven roterer i satellittenes høyde med $99 \pm 5 \%$ av den verdien relativitetsteorien forutsier.

Test av treg draeffekt med Gravity Probe B

I Gravity Probe B-eksperimentet (figur 6) benyttet man en satellitt med fire gyroskoper og målte retningsforandringen av gyrokopaksene over en periode på fire år, fra 2004 til 2008.

Resultatet av målingene var at gjennomsnittet av den geodetiske retningsforandringen for de fire gyrokopaksene var 6602 ± 18 buesekunder per år, og retningsforandringen på grunn av den trege draeffekten var $37,2 \pm 7,2$ buesekunder per 100 år. Dette stemmer godt med relativitetsteorien, men resultatet når det gjelder den trege draeffekten var ikke så nøyaktig som forskerne hadde planlagt. Lageos-satellittene hadde målt effekten med ikke langt fra 5 % nøyaktighet, og Gravity Probe B-eksperimentet var konstruert for å komme ned på en nøyaktighet bedre enn 3 %. Men ett av gyroskopene



Figur 5. Forskyvning av satellittbane på grunn av treg draeffekt.

oppførte seg ikke helt som det skulle av tekniske årsaker som etter hvert ble klarlagt, og dette spolerte forsøket på å få bedre nøyaktighet enn Lageos-satellittekspérimentet.

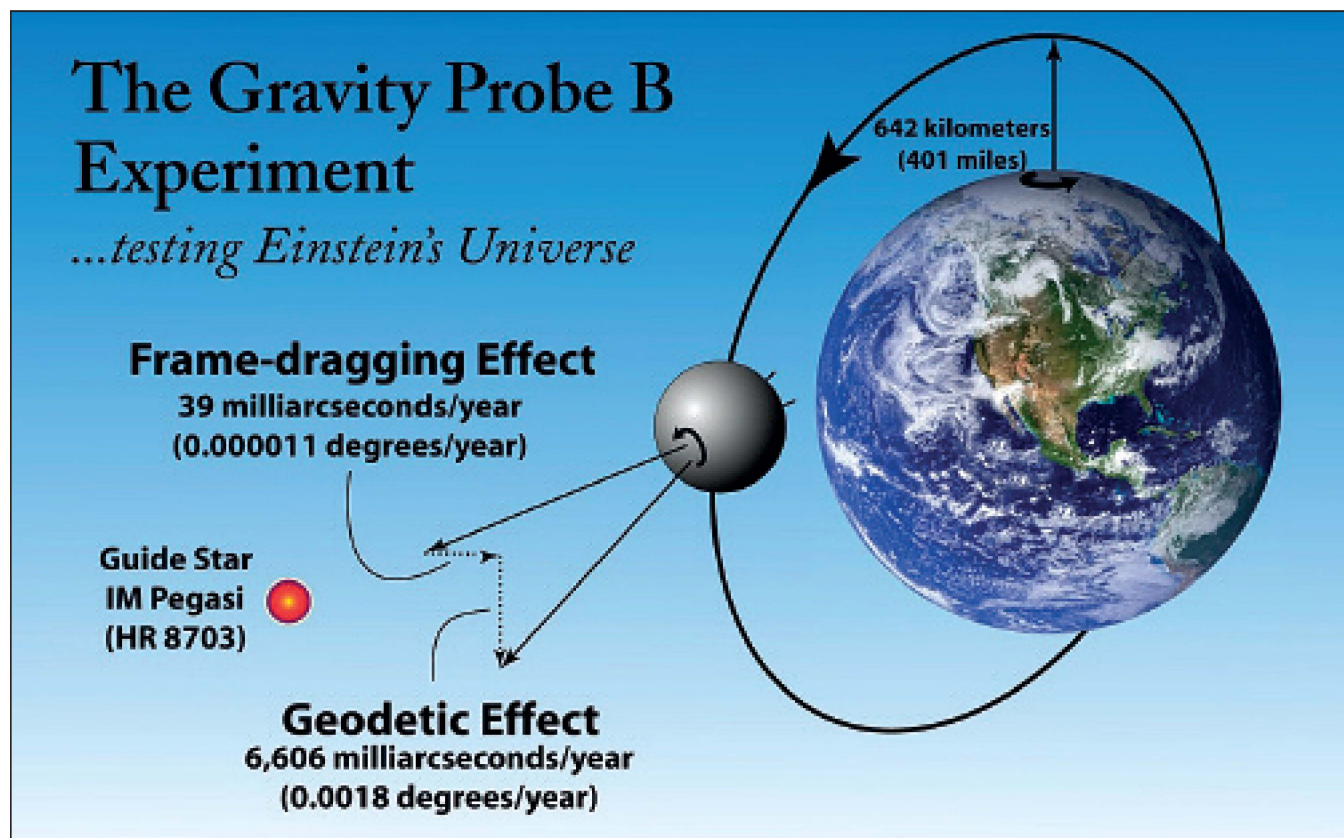
Perfekt treg draeffekt

I 1966 presenterte D.R. Brill og J.M. Cohen⁽⁴⁾ en beregning av den trege draeffekten innenfor et roterende kuleskall med radius R og schwarzschildradius R_S . Deres beregning gjelder selv om gravitasjonsfeltet er sterkt, men den er gyldig kun for langsom rotasjon av skallet. De viste at romelven innenfor skallet roterer stivt med en vinkelhastighet

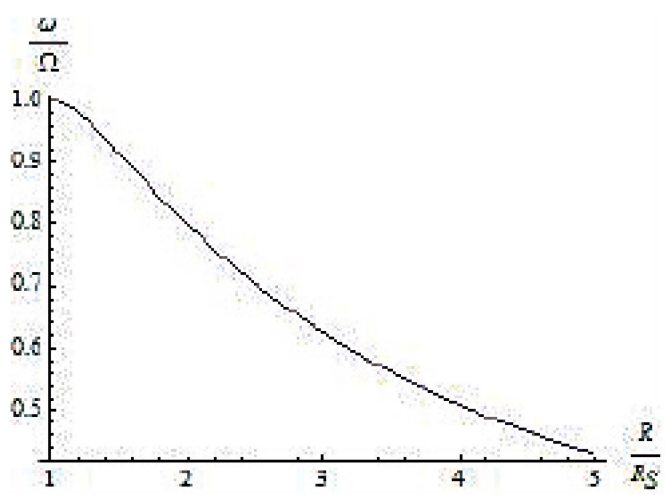
$$\omega = \frac{4(2x - 1)}{(x + 1)(3x - 1)}\Omega, \quad (5)$$

der Ω er skallets vinkelhastighet, og $x = R/R_S$. Her er vinkelhastigheten målt i forhold til en fjern observatør som er i ro i forhold til skallets sentrum. Forholdet mellom romelvns og skallets vinkelhastighet er vist som funksjon av R/R_S i figur 7.

Vi ser at når skallets radius er lik dets schwarzschildradius, vil romelven rotere stivt sammen med skallet. På tilsvarende måte som for universet, er det da *perfekt treg draeffekt*. Med perfekt treg draeffekt er romelvns bevegelse innenfor



Figur 6. Prinsippskisse for Gravity Probe B-eksperimentet. Satellitten gikk i bane 642 km over jordas overflate. Den inneholdt fire gyroskoper med rotasjonsakser som opprinnelig pekte mot stjernen IM Pegasi. Ifølge Newtons gravitasjonsteori vil aksene forskyves med 6606 millibuesekunder per år fordi jorda ikke er en perfekt kule. Dette kalles den geodetiske effekten. Ifølge relativitetsteorien vil aksene få en retningsforandring i tillegg til den geodetiske, omtrent vinkelrett på den geodetiske effekten. Denne retningsforandringen skyldes den trege draeffekten og har en størrelse på 39,2 millibuesekunder per år.



Figur 7. Vinkelhastigheten til romelven innenfor et roterende kuleskall i forhold til skallets vinkelhastighet som funksjon av skallets radius i forhold til dets schwarzschildradius.

skallet fullstendig bestemt av skallets bevegelse og uavhengig av hva som er utenfor skallet.

Brill og Cohen skriver at rommet innenfor et massivt skall med radius lik dets schwarzschildradi-

us, kan betraktes som en idealisert universmodell med en observatør i sentrum, og fortsetter: "Vårt resultat viser at i en slik modell kan det ikke være noen rotasjon av observatørens lokale treghetssystem i forhold til universets masse som helhet. I denne forstand forklarer vårt resultat hvorfor "fiksstjernerhimmelen" ikke roterer i observatørens treghetssystem."

Årsaken til at Brill og Cohen innførte et kuleskall og ikke beregnet den trege draeffekten med en kontinuerlig massefordeling slik som i vårt univers, er at beregningen må gjøres numerisk med en kontinuerlig massefordeling, og de ønsket å finne en formel som viste eksistensen av perfekt treg draeffekt.

Er det perfekt treg draeffekt i vårt univers?

La oss, som Brill og Cohen, tenke oss at kuleskallet representerer universets masse. En observatør med en foucaultpendel på Nordpolen vil se at pendel-

ens svingeplan roterer sammen med "det kosmiske skallet", og i lys av relativitetsteorien vil han tolke dette som et resultat av perfekt treg draeffekt innenfor skallet. Oppfattet på denne måten vil jordas rotasjon være en rotasjon i forhold til den kosmiske massen representert ved skallet. Dermed er rotasjonsbevegelse ifølge relativitetsteorien, blitt relativ i vårt univers, i overensstemmelse med Machs prinsipp.

Det gjenstår å undersøke om det er perfekt draeffekt i vårt univers før vi kan vite om rotasjonsbevegelse er relativ. Da må den kosmiske massen forårsake perfekt treg draeffekt. Som vi så i forrige avsnitt, må det kosmiske skallet ha en radius lik sin egen schwarzschildradius for at det skal være perfekt treg draeffekt innenfor skallet.

Kanskje er universet uendelig stort. Det er imidlertid bare den delen som er innenfor horisonten som kan påvirke oss og vår foucaultpendel. Vi representerer derfor massen innenfor horisonten ved et massivt kosmisk kuleskall på horisonten. For at det skal være perfekt treg draeffekt i vårt univers, må massen innenfor horisonten ha en schwarzschildradius lik horisontradien. La oss undersøke om dette er tilfelle.

Ifølge relativitetsteorien forplanter gravitasjonsvirkninger seg med lysets hastighet. Avstanden til horisonten er lik lysets hastighet ganger universets alder, $l_H = ct_0$.

Universmodellen som favoriseres av observasjoner, er en modell med euklidsk romlig geometri fylt av vakuumenergi og kald materie. Det er omtrent 70 % vakuumenergi og 30 % materie. Vakuumenergien har konstant tetthet som gjerne er representert i Einsteins likninger med den greske bokstaven Λ , som i denne sammenhengen kalles den kosmologiske konstanten. Denne universmodellen omtales som Λ CDM-modellen (CDM står for *cold dark matter*).

Universets ekspansjon lyder Hubbles lov (1), der hubbleparameteren, H , er en funksjon av tiden. Den nåværende verdien av hubbleparameteren er $H_0 = H(t_0)$. Ekspansjonshastigheten ved horisonten er lik lyshastigheten, $c = H_0 l_H = H_0 ct_0$ som gir $t_0 = 1/H_0$. Dette kalles *universets hubblealder*. Det kan vises at alderen til Λ CDM-modellen er svært nær hubblealderen. Videre følger fra Einsteins likninger at siden denne modellen har euklidsk romlig geometri, er den totale tettheten av vakuumenergien og den kalde materien lik den kritiske tettheten, $\rho_{cr} = 3H_0^2/8\pi G$, slik at $8\pi G\rho_{cr}/3c^2 = (H_0/c)^2 = 1/l_H^2$. Schwarzschildradien til den kos-

miske massen innenfor horisonten er da

$$R_S = 2GM/c^2 = 2G\rho_{cr}(4\pi l_H^3/3)/c^2 = l_H. \quad (6)$$

Denne likningen forteller at horisontradien i vårt univers er omtrent lik schwarzschildradien til massen innenfor horisonten. Det følger at *betingelsen for perfekt treg draeffekt er oppfylt i vårt univers*.

Er rotasjonsbevegelse relativ i vårt univers?

En viktig relativistisk effekt hvis fysiske eksistens fortsatt ikke var testet i år 2000, er den trege draeffekten. Den ble forutsagt allerede i 1912 av Einstein, men han oppdaget i 1913 at gravitasjonsteorien som beregningene var basert på, ikke kunne være korrekt. Han var da i begynnelsen av den tre år lange spurten som ledet til den ferdige konstruksjonen av den generelle relativitetsteorien i desember 1915.

I 1918 brukte de østerrikske fysikerne Lense og Thirring relativitetsteorien til å gjenoppdage den trege draeffekten utenfor et roterende legeme. Denne effekten kalles derfor ofte for Lense-Thirring-effekten. De regnet bare i svakt felt-approksimasjonen. Men det er tilstrekkelig når det gjelder de eksperimentelle testene i jordas gravitasjonsfelt, omtalt ovenfor.

Eksperimentene ble utført det første ti-året etter år 2000, og resultatene ga nok en bekreftelse av relativitetsteorien. Det ble vist at effekten eksisterer og har en størrelse som stemmer med relativitetsteoriens forutsigelse. Ifølge Newtons gravitasjonsteori skulle ikke denne effekten ha eksistert i det hele tatt.

I 1966 publiserte Brill og Cohen en beregning av den trege draeffekten inni et roterende kuleskall, som er gyldig for et vilkårlig sterkt gravitasjonsfelt. De viste at i grensen at skallet har en schwarzschildradius lik sin egen radius, er det perfekt treg draeffekt i rommet innenfor skallet. Det betyr at romelven innenfor skallet roterer stivt sammen med skallet. I dette tilfelle vil en observatør i et treghetssystem innenfor skallet oppfatte det slik at romelven ikke har noen rotasjon. For eksempel vil observatøren se at svingeplanet til en foucaultpendel da er i ro i forhold til skallet.

Skallet med perfekt draeffekt innenfor, kan sies å representere en forenklet beregning av draeffekten fra den kosmiske massen innenfor horisonten i vårt univers, dersom massen innenfor horisonten har en

schwarzschildradius lik horisontradien. Jeg har vist ovenfor at dette faktisk er tilfelle i vårt univers. Selv om dette ikke er noe bevis for at den uniformt fordelte kosmiske massen i vårt univers forårsaker perfekt draeffekt, viser beregningen av det trolig ikke er langt unna at den gjør det. Her trengs ytterligere undersøkelser. Men hvis det nå er slik at romelven er i ro i forhold til den kosmiske massen like mye når det gjelder rotasjon som ekspansjon, så kan vi konkludere på følgende måte;

Dersom man står på Nordpolen på vår roterende klode, hvor klodens eget bidrag til den trege draeffekten er neglisjerbart, vil man se at foucaultpendelens svingeplan dreier sammen med stjernehimelen. Dette har nå en dynamisk forklaring. Det er en gravitasjonsvirkning av den kosmiske massens rotasjon. Massen induserer en perfekt draeffekt som påvirker romelvns bevegelse. Foucaultpendelen følger romelvns bevegelse slik at svingeplanet roterer med samme vinkelhastighet som romelven i pendelens posisjon. Det roterer sammen med den kosmiske massen.

På denne måten blir rotasjonsbevegelse relativ i vårt univers, ifølge den generelle relativitetsteorien.

Takk

Takk til Iver Brevik for vurderinger som førte til vesentlige forbedringer av artikkelen.

Referanser

1. Ø. Grøn og A.I. Vistnes : *Corioliskraften*. Fra Fysikkens Verden, **75**, Nr. 2, 43–47 (2013)
2. A.J.S. Hamilton og J.P. Lisle : *A river model of black holes*. Am. J. Phys. **76**, 519–532 (2008)
3. S. Bræck and Ø. Grøn : *A river model of space*. The Eur. Phys. J. Plus. **128**, 24 (2013)
4. D.R. Brill and J.M. Cohen: *Rotating masses and their effect on inertial frames*. Phys. Rev. **143**, 1011–1015 (1966)

∞

Friksjon og gli - både enkelt og komplisert

*Emil J. Samuelsen **

Friksjon blir rekna som ein enkel del av fysikken, jamvel om han er avgjerande viktig i dagleglivet og i teknologien. Mekanisme for friksjon og smøring er komplekse og berre delvis kjende. Det gjeld også for ski og skismøring.

Friksjon

Friksjon blir gjerne rekna som enkel fysikk. Friksjonslovene er greie å etterprøve, og har gjerne blitt nytta som innføringsemne av pedagogiske grunnar. Også fysikklærebøker på universitetsnivå har korte kapitler om friksjon.^(1,2)

Friksjonslovene knyter seg som kjent til eksistensen av motstand ved flytting av lekamar i kon-

takt med kvarandre. Ei minimumskraft (F) trengst for å få flyttinga i gang og vedlikehalden, og den er omtrent proporsjonal med krafta (N) som held dei to lekamane saman:

$$F = \mu N \quad (1)$$

Ein finn at det trengst større trekk-kraft for å få rørsle i gang enn for å halde jamn fart bortover, og slik må ein skilje mellom "statisk friksjon" og "dynamisk friksjon". Vidare finn ein at friksjonskrafta er omtrent uavhengig av arealet av kontaktflata, og at farten ein trekker med ikkje spelar stor rolle. Desse "friksjonslovene" blei utleidd for bra lenge sidan. Spesielt franskmennene Guillaume Amontons (1663–1705) og Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806, han med Coulombs lov i elektrisitetslæra) blir rekna som dei som formulerte desse "lovene". Når eg set "lovene" i hermeteikn, er

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

det fordi dei ikkje er allmenngyldige. Proporsjonaliteten i (1) gjeld berre for visse normalkraft-område, for fart påverkar friksjonen, og flatearealet er heller ikkje heilt utan betydning. Proporsjonalitetsfaktoren μ , kalla friksjonstalet, er dimensjonslaust. Det har storleik i området frå 0,1 til ~ 1 for dei fleste stoff, t.d. $\sim 0,5$ mellom metall og tre, $\sim 1,0$ mellom betong og gummi, og 0,044 mellom teflon og stål. Friksjonstalet er ingen materialspefikk storleik, men avheng sterkt av ytre forhold, og er såleis vanskeleg å utleie teoretisk.

Friksjon er sjølvstøtt ikkje uviktig. Det trengst friksjon for at vi kan flytte oss omkring, styre bil og sykkel, bremse, stoppe maskineri, og halde skruar og spikrar på plass. I mange samanhengar er det like viktig å kjenne til korleis ein skal redusere friksjonen. Maskineri blir smurt for å spare energi og redusere slitasje. I teknisk samanheng er såleis desse "enkle" friksjonslovene avgjerande viktige. Det same gjeld i idrett, sånn som glien mellom isen og pucken i ishockey, og mellom snøen og skia i skirenn.

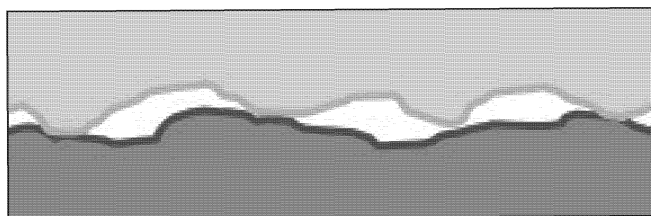
Ulike typar friksjon

Den type friksjon vi har skildra her, er den som blir kalla *glidefriksjon* eller også *tørrfriksjon*. Ei nærslekta form er *rullefriksjon*. Andre typar er *viskøs friksjon*, som er motstanden som oppstår når ein lekam blir ført gjennom væske eller gass, som vatn og luft. Friksjonen her er m.a. knytt til at fluidet blir skyvd unna av lekamen, og at det blir danna kvervlar i bakkant. *Fluidfriksjon* oppstår mellom lag i fluidum, lag som flyttar seg med ulik fart slik at det oppstår skjerkrefter i fluidet. Effekten er relatert til viskositeten til fluidet. *Indre friksjon* er motstand under deformasjon av faste lekamar. I det følgjande skal vi mest halde oss til tørrfriksjon.

Fysiske modellar for glidefriksjon

Sjølv om friksjon er ei "enkel" grein av fysikken, er fenomenet komplekst og vanskeleg å beskrive på mikroskopisk nivå. Der er også kompliserande effektar knytt til "slitasje" i kontaktflatene, det at materiale blir rive laust og flytta på. Varmeutvikling og tilhørande temperaturavhengigheit er også effektar av betydning. I teknisk samanheng er desse effektane særskilt viktige, men vi skal ikkje gå inn på slike problem her.

At friksjonen vil vere større mellom makroskopisk røye flater enn mellom glatte, seier seg sjølv. To uheila fjøler glir dårlegare mot kvarandre enn når dei er glatthøvla. Men også glatte flater er ruglete på mikronivå. Det er naturleg å tenke seg at glidemotstand eksisterer fordi kontaktflater aldri kan bli heilt glatte og plane. Der vil alltid finnast ujamheiter på begge flatene, slik at enkelte "høgdedrag" på den eine flata legg seg i "dalsøkk" på den andre, som illustrert i figur 1. Ved flytting vil så "høgdedrag-lier" treffe mot "dalsider", og der vil måtte utførast arbeid for å løfte "høgdedraget" over til neste "dal". Alternativt vil "høgdedrag-spissar" skrape mikroriper i den andre flata og føre til slitasje.



Figur 1. Forstørra bilete av kontakten mellom to plan, med glipar mellom kontaktpunkta.

I dette bildet er det såleis berre ein mindre del, kanskje berre $\sim 10^{-4}$, av dei "glatte" flatene som er i direkte fysisk kontakt med kvarandre. At friksjonen blir større ved større trykk-kraft i likning (1), forklarar ein med at det vil skje elastisk deformasjon i kontaktpunkta, og at kontaktflatene ved det blir større. Dette er i samsvar med etablert *kontaktmekanikk*, ein disiplin som vart formulert av tyskaren Heinrich Hertz (1857–1894, han som først påviste eksistensen av radiobølgjer). Med kontaktmekanikk kan ein rekne ut korleis materiala blir deformerte elastisk i kontaktområdet ved ytre trykkkrefter.⁽³⁾ Til dømes vil ei totalkraft N på ein hard, kuleforma spiss med radius R mot ei plan flate med elastisitetsmodul E , trykke kula inn eit stykke

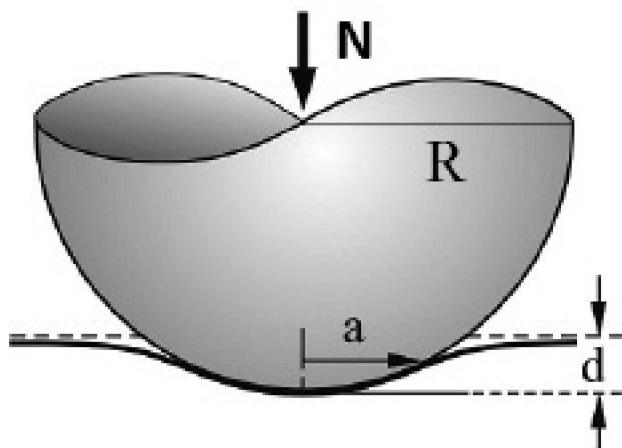
$$d = (3/4N/(ER^{1/2}))^{2/3} \quad (2)$$

og deformasjonen i plata med radius a utgjer ifølgje ref. (3) eit areal

$$A = \pi a^2 = \pi R d \quad (3)$$

som vist i figur 2.

Kvart kontaktpunkt mellom to flater som glir mot kvarandre, vil kunne tenkast kvalitativt å ha denne typen oppførsel, og friksjonslova (1) vil gjelde dersom friksjonen er proporsjonal med kontakt-



Figur 2. Ein kuleforma spiss med radius R trykt inn mot eit elastisk underlag av krafta N , etter ref. (3).

arealet A og kvadratrota av inntrengingsdjupna d .

Dette forenkla bildet gir i det minste eit kvalitativt samsvar med det ein observerer. Men det gir ikkje grunnlag for å rekne ut friksjonstalet. Det krev at ein har full kjennskap til ruheitsdetaljane og alle vekselvirkningskreftene mellom flatene, mellom anna dei viktige *adhesjonskreftene* som vi vil diskutere i neste avsnitt. Mange kompliserte modeller er blitt foreslått for utrekning av friksjonstal, også der ein tar omsyn til slitasje, forureiningar og gassadsorpsjon på flatene.⁽⁴⁾

Nanokrefter i kontaktområda

Det er velkjent at der eksisterer krefter på atomært nivå mellom lekamar som kjem i kontakt med kvarandre. Dei går under nemninga *adhesjon* (vedheng, frå latin *adhere*). Også ordet *kohesjon* blir nytta.

Slike nærkontaktkrefter blir t.d. utnytta i atomærkraftmikroskopi, AFM (*atomic force microscopy*), eit sentralt verktøy for studium av overflater på mikro- og nano-nivå. Verkemåten er at ei mikronål av dimensjon på nokre mikrometer, er oppspend i ei fjør og blir ført like over overflata mens påverknaden på fjøra av dei tiltrekkande overflatekreftene blir fortløpande registrerte. Dette kan vise topografien i overflata.

AFM blir også nytta til å måle krefter mellom enkeltmolekyl og mellom molekyl og overflater. AFM har slik gitt ein viss innsikt i friksjon på mikronivå. Mellom anna kan ein finne at kraftverknaden mellom ei stasjonær overflate og ei glidande mikrokule har ei "sagtaggaktig" oppførsel, som om kula blir hekta fast for så å sleppe fri når dragkrafta aukar over ei viss grense.

Adhesjon mellom materiale er av to hovudtypar

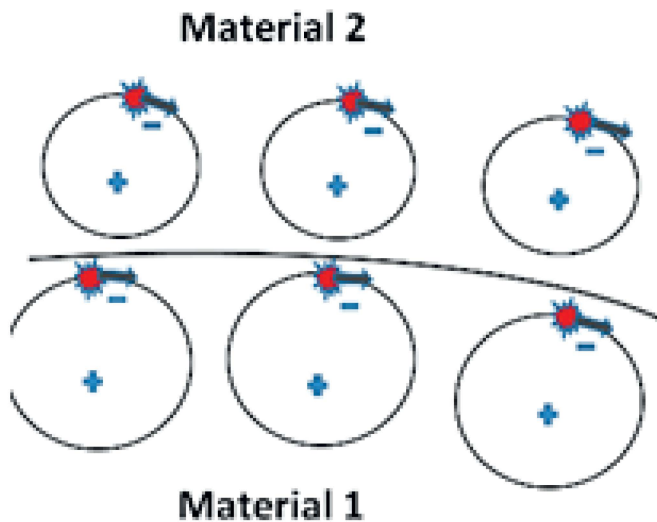
Kjemisk adhesjon har ein når det skjer reaksjonar i kontaktpunkta, slik at det blir danna kjemiske bindingar på tvers mellom dei to flatene. Når flatene glir, blir bindingar brotne og nydanna heile tida i kontaktpunkta. Kjemisk adhesjon gir stor friksjon.

Fysisk adhesjon forekjem i fleire variantar. Ei form er når dei to flatene blir ulikt elektrisk ladde når dei to sidene har *ulike elektrokjemiske potensial*. Som kjent kan det oppstå betydelege spenningar ved gniding av ebonitt mot pels og med plastkam mot tørt hår, eller ved luftstraumar mot flykroppar. Men oftare enn dei reint elektrostatiske kreftene opptrer *van der Waalske krefter* ved nærkontakt. (J.D. van der Waals 1837–1923). Van der Waalske krefter blir gjerne brukt som samlenamn på resultatanten av alle adhesjonskrefter som opptrer. Deresom materiala har molekyl som har permanente elektriske dipolar (som t.d. H_2O), kan dipolane rette seg inn etter kvarandre til ei lokal elektrisk binding. Dette blir kalla *keesomeffekt* (W.H. Keesom 1876–1956). Eller det kan vere permanente dipolar på den eine flata, som induserer dipolar på den andre, kalla *debyeefekt* (P. Debye 1884–1966).

Men også ved ikkje-polare molekyl opptrer adhesjonskrefter. Her kan dynamikken for elektrona i molekyla på dei to sidene samordne seg i *dynamiske dipolar*, som gir opphav til det som blir kalla *dispersiv adhesjon*. Eit anna namn er *londonkrefter* (F. London 1900–1954), som er av kvantemekanisk natur. Londonkrefter er heilt avgjerande for at stoff med berre symmetriske molekyl kan eksistere i fast form, som metan CH_4 , bensén C_6H_6 og fulleren C_{60} . I figur 3 er gjort eit forsøk på å billedgjere slike koordinerte og korrelerte dynamiske dipolar. *Casimirkrefter* (H. Casimir 1909–2000), som verkar mellom nøytrale leiande materiale i nærkontakt, er i slekt med londonkrefter. Av dei fem nemnte personane her var F. London tysk, dei andre var nederlandske.

Kontaktflatebehandling

Det er ikkje nødvendigvis slik at friksjonen blir mindre dess planare kontaktflatene er. Tvert imot kan friksjonen auke når kontaktflatene blir ekstremt plane, for etter figur 1 fører det til meir nanoskopisk kontakt og sterkare adhesjonskrefter. Tar ein to tørre og reine objektivglas som er spesielt plane for mikroskopering, og trykker dei saman, vil ein op-



Figur 3. Dispersive krefter: Dynamiske dipolar på kvar side av ei grenseflate, illustrert som korrelerte rotasjonar av ladningsfordelingane i molekyla. "Elektrona" er dei små kulene med retningspilar.

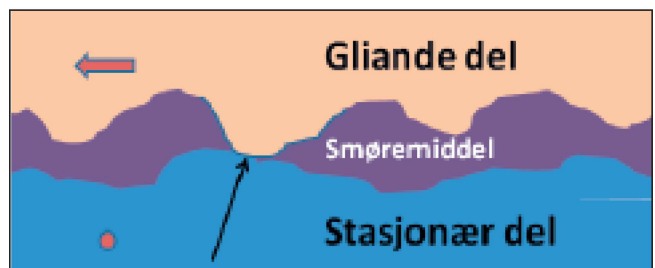
pdage at dei klistrar seg saman så hardt at det mest er uråd å ta dei frå kvarandre. Endå hardare heng dei saman om det blir lagt ein drope vatn på flatene før samanføringa. I dette tilfellet fungerer vatnet som lim. Silikata i glaset (dvs. variantar av silisiumoksid SiO_2) er polare, og H_2O -molekyla på dei fukta flatene fyller glipene som måtte finnast mellom flatene, og innrettar dipolane sine slik at adhesjonen blir sterkare (*keesomeffekt*).

Liming mellom flater for at dei skal henge permanent saman verkar i prinsippet som vatnet mellom glassplatene. Dei fleste lim er organiske substansar som adherer godt til materiala på begge flatene, og som ein får til å herde ved polymerisering etter samanføringa. (Polymerisering vil seie at organiske molekyll reagerer med kvarandre til store, samanbundne nettverk). Polymeriseringsreaksjonen kjem i stand anten berre ved eksponeringa til luft (oksygen), eller også ved iblanding av ein herdarsubstans. Vellykka liming gjer friksjonstalet uendeleg stort.

Smøring av flater som skal gli mot kvarandre reduserer friksjonen. Smøringa kan vere flytande olje, oljesuspensjonar som grease, somme gonger gass, eller også faste materiale som grafitt og molybdendisulfid MoS_2 . Smøring reduserer også slitasje. Sidan 1964 har smøre- og glide-teknologien gått under namnet *tribologi* (gresk *tribeín* = gni, og *logía* = lære). Tribologi er særskild viktig i dagens samfunn, både teknologisk og økonomisk. Kostnadene er store for slitasje på industrielt maskineri, av stor-

leik eit par prosent av nasjonalproduktet i industrialiserte land.

Smøremidlet legg seg som eit tynt lag mellom dei glidande flatene slik at den direkte kontakten mellom materiala i flatene blir redusert. Ettersom smøremidlet fyller glipene (figur 4), vil det også ta ein hovuddel av trykk-kreftene mellom dei to delane og slik redusere trykket på dei områda av glideflatene som framleis er i direkte kontakt, og ved det redusere både friksjonsmotstanden og slitasjen.



Figur 4. Forstørra bilede av kontaktflate med smøremiddel (mørkast) mellom to plan. Eitt punkt merka med slank pil har direkte kontakt.

Smøremidlet må fukte flatene godt og sjølv ha liten fluidfriksjon. Faste stoff som grafitt og molybdendisulfid verkar smørande fordi dei er lagdelte stoff der laga lett kan gli i forhold til kvarandre. Gass (trykkluft) som løfte- og glide-middel blir nytta til manipulering og flytting av tungt utstyr. Magnetisk løfting (levitasjon) er tatt i bruk for snøggtoget i enkelte land, som mellom flyplassen og bysentret i Shanghai. Det er berre luftmotstanden som utgjer friksjon for toget i dette tilfellet.

Ski og snø

For klassisk langrenn er det viktig for løparen at skiene glir godt mot snøen og at festet er godt når han spenner frå. Dette får han til dels gjennom forma og spennet i skiene, men også i høg grad ved rett smøring. I skiskøyting og ved alpine løp er det berre glien som tel.

Skikonstruksjon, og særleg skismøring, er kreivande fagfelt, og kanskje også ein kunst. For klassisk langrenn er fremre og bakre del av skia glideflater, mens midten er skyveflata. Glide-friksjonen må vere minst muleg framme og bak, og passeleg stor i midten, der statisk friksjon må vere betydeleg større enn den kinetiske. Smøraren kjenner godt til korleis ulike smurningstypar skal fordelast og etterbehandlast, og han må vite å velje smur-

ning som passar til snøtypen, temperaturen, snø- og luft-fukta og slikt. Ein muleg konstellasjon mellom skisolen, smurningen og snøen er vist i figur 5.



Figur 5. Skjematisk illustrasjon av smurt ski: Skisole med lag av smurningsvoks under i kontakt med snø. Finsk festevoks boks plassert til høyre i bildet.

Det er ein tendens til å rekne smørekompetanse som ein kunstart. Ifølgje doktorarbeidet til L. Kuzmin ved Mittuniversitetet i Östersund frå 2010,⁽⁵⁾ er skismøring i dag både vitskap og ein porsjon heksekunst ved at mange av dei gjengse holdningane ikkje har vore mulig å etterprøve vitenskapleg. Kuzmin er tvilande til nytta av å "impregnere" smøremidlet ved gjentatt påføring og innsmelting, og han trur ikkje på førestillinga at skiene "sveittar ut" smurning under løpet.

Skifriksjon

Typiske verdier for friksjonstalet mellom tørr, kald snø og godt smurt ski ligg rundt 0,05. Best glir det for snøtemperaturar frå -6 til -2°C . Mindre smurningskompetente utøvarar får glipp og/eller ising og kladdeproblem ved høgre temperaturar, og skiene blir "trege" ved sterk kulde. Skifriksjon er eit sers komplekst område, og på grunn av både kommersielle interesser og sportsleg konkurranse mellom skinasjonane, er forskinga på feltet ikkje særleg open.

Solematerialet i moderne ski er av typen UHMWPE (ultrahøg-molvekt-polyetylén). Polyetylén består av lange kjeder av parafingruppa CH_2 , som er sterkt vassfråstøytande (hydrofob) og derfor gir liten friksjon. Det blir gjerne blanda inn grafitt i solematerialet, utan at nytta av grafitten er påvist vitskapeleg.⁽⁵⁾ Interessant synest eg det er at ein jamvel har prøvt å tilsette visse metallblandingar som har såkalla "kvasikrystallinsk" struktur, i von om at den reduserte overflatefriksjonen som kvasikrystallar generelt har, skulle forplante seg til skisolen. Det ville vere merkeleg om dette har noko for seg. Friksjonen blir forsøkt redusert med smurning i form av voks eller klister, som også

inneheld parafinar. I dei dyrare og beste voksane er hydrogenatoma i stor grad skifta ut med fluor (F), såkalla fluorokarbonar, som kjemisk liknar på teflon. Mange meiner at der er helsefare med bruk av somme av dei. Kuzmin⁽⁵⁾ hevdar at behovet for glismøremiddel utover UHMWPE-materialet er betydeleg overdrive, men andre forskarar er ikkje einig i det.

Kuzmin drøftar skifriksjonen utifrå modellen at det blir danna eit tynt lag av flytande vatn på snøen som er i direkte kontakt med skiene, med tjukkleik i mikrometerområdet. Smeltinga skal visstnok skje på grunn av friksjonsvarme, og ikkje på grunn av smeltepunktssending av trykket. Det er dette laget som skal vere det eigentlege smøremidlet.

Det er ikkje klart for meg om dette postulerte laget av flytande vatn verkeleg er påvist under ski som glir. Eventuell etterprøving er nok ikkje lett å få til. Men forholda på overflata av frie iskrystallar er blitt mykje studert,⁽⁶⁾ og resultata viser at der er verkeleg eit spesielt sjikt ytst på krystalloverflatene. Dette sjiktet er mindre krystallinsk enn det indre, og tjukkleiken aukar når temperaturen stig mot 0°C . Forskarane nyttar uttrykket *væskeliknande* om sjiktet, molekyla er mykje meir rørlege enn lenger inne. Tjukkleiken er i området 0,01 til $0,1\ \mu\text{m}$, altså monaleg mindre enn det postulerte laget av flytande vatn. Ein veit ikkje kva betydning slike væskeliknande nanolag har for glien mot snø, som jo består av små krystallkorn. Friksjonen burde vere liten også mot fast snø, for uansett er vassmolekyla individuelle elektriske dipolar som i liten grad bind seg til det upolare parafinholdige materialet i sole og smurning.

Konklusjon

Friksjon er eit komplekst fenomen av stor praktisk og økonomisk betydning i dagleglivet, i industriverksemd og i idrett. Dei såkalla "friksjonslovene" gir nyttig informasjon om korleis friksjonen opptre, men er ikkje allmenngyldige. Friksjonen blir bestemt av subtile effektar på mikro- og nano-nivå i kontaktflatene. Smøring reduserer friksjon og slitasje. Smøring av ski er eit spesialfelt av betydeleg kommersiell og idrettsleg interesse.

Språkleg

Ordet "friksjon" kjem av latin "fricare" som betyr gni, gnikke. Same ordet blir brukt i svensk og dansk

– ”friktion”, og i engelsk – ”friction”. Mange europeiske språk nyttar egne ord som alle betyr ”gning, gnikking”: tysk – ”Reibung”; fransk – ”frottement”; finsk – ”kitka”; islandsk – ”nuringur”.

Referansar

1. E.H. Hauge og J.A. Støvneng: *Grunnleggende fysikk, klassisk mekanikk og varmelære*. Tapir Akademisk forlag (Akademia forlag) (2010)
2. D. Halliday, R. Resnick og J. Walker: *Fundamentals of physics*. 8. utgåve Wiley (2008)
3. Wikipedia: *Contact mechanics*. English edition
4. P.J. Blau: *Friction science and technology*. Taylor & Francis (2009)
5. Leonid Kuzmin: *Interfacial kinetic ski friction*. Thesis Mittuniversitetet Östersund (2010)
6. Robert Rosenberg: *Why is ice slippery?* Physics Today, December (2005) p. 50

∞

Hva skjer

Birkelandforelesningen 2013

Birkelandforelesningen med tilhørende arrangementer ble etablert i 1987 for å hedre den norske fysiker, nordlyspioner og oppfinner Kristian Birkeland, og for å gjøre ære på den forsker som blir valgt som årets birkelandforeleser. Den første Birkelandforelesningen ble gitt av professor Hannes Alfvén, som fikk Nobelprisen i fysikk i 1970. Birkelandforelesningen holdes årlig i slutten av september i Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. Arrangører er Universitetet i Oslo, Det Norske Videnskaps-Akademi, Yara og Norsk Romsenter.

Birkelandforelesningen 2013 ble gitt av professor Mike Lockwood fra University of Reading i England. Lockwood er forskningsdirektør ved School of Mathematical and Physical Sciences ved universitetet i Reading, hvor han også er professor i Space Environment Physics ved Department of Meteorology.

Lockwoods forskning dekker mange sider og fenomener innenfor sol-jord vekselvirkningen: solvindens påvirkning av jordens magnetosfære og

atmosfære, strømmer i magnetosfæren, partikkelutstrømming fra ionosfæren og partikkelinnstrømming til polområdene. Dette er forskning innenfor Birkelands kjerneområder. Lockwood har også studert variasjoner i solens magnetfelt i historisk tid. Tittelen på årets Birkelandforelesning var: *“What auro-ral and geomagnetic observations tell us about long term variations of the Sun.”*

Historiske rapporter om nordlys strekker seg langt bakover i tiden. Tidlig på 1700-tallet oppdaget man en sammenheng mellom nordlys og forstyrrelser i jordens magnetfelt. Begge fenomener er et resultat av elektriske strømmer i det nære verdensrommet. Birkelands nordlysteori angir solen som kilde for de elektriske partiklene. Jordens magnetfelt påvirker partikkelbevegelsen slik at man får elektriske strømmer langs magnetfeltet, med fotopunkt i den polare atmosfæren. Disse strømmene har fått navnet ”birkelandstrømmer”. Partiklene gir nordlys og magnetiske forstyrrelser. De siste årtiers forskning med data fra satellitter og fra bakkebaserte instrumenter, har gitt kunnskap om strømsystemer, og om hvordan de varierer med solaktivitet, solvind og det interplanetære magnetfelt.

Ut fra det vi vet i dag om variasjoner i solflekaktivitet, magnetiske forstyrrelser, nordlys og forekomst av ”kosmogene isotoper”, er det da mulig å finne ut hvordan solaktiviteten har variert i historisk tid?

Gode observasjoner av solflekker startet med Galileo i 1612. Pålitelige magnetiske observasjoner fikk man tidlig på 1800-tallet. Beskrivelser av nordlys går langt tilbake, og man har gode datasett fra Nord-Europa fra ca. 1780. Den fjerde datakilden, kosmogene isotoper, finner man for eksempel i isbreer og trestammer. Isotoper, slik som beryllium-10 og karbon-14, kan hentes inn ved kjerneboringer, som gir data som går flere tusen år tilbake i tid. Siden det interplanetære magnetfelt beskytter jorden mot kosmisk stråling, kan disse isotopene gi informasjon om solaktivitet. Høy forekomst av isotoper finner man når det har vært lav solaktivitet. Ved å bruke forskningsresultater basert på data fra nær fortid som kalibrering, kan man eliminere påvirkning fra andre kilder. Dermed kan vi få informasjon om forandringer i solaktiviteten flere tusen år bakover.

Tidligere tiders variasjoner i solaktiviteten kan også brukes til å anslå hvordan aktiviteten vil bli i årene som kommer. De historiske dataene viser også at forandringer i solaktivitet og klima til en viss grad følger hverandre. Kan vi ut fra denne kunnskapen si

noe om fremtidig klimautvikling? Her er det mange andre faktorer som spiller inn, og man må kjenne til hvilken vekt de forskjellige bidragene har for å kunne si noe om dette. Det er imidlertid funnet en mulig sammenheng mellom solaktivitet og vinterværet i Nord-Europa. Varierende utstråling fra solen kan modulere jetstrømmer i atmosfæren på den nordlige halvkule. Dette kan gi kalde vintre i Nord-Europa, slik som vi har hatt de siste årene.

I forbindelse med Birkelandforlesningen blir også Yaras Birkelandpris i fysikk og kjemi delt ut. Prisen veksler mellom fysikk og kjemi, og gis til en kandidat som er blitt tildelt en doktorgrad fra et norsk universitet i løpet av de to foregående år. Prisen består av et diplom og et pengebeløp på 100 000 kr. I 2013 var fagområdet kjemi. I 2014 står fysikk for tur. (Se egen utlysning i dette bladet.)

Jan A. Holtet

∞

Yaras Birkelandpris 2014

Yaras Birkelandpris i fysikk og kjemi deles ut på grunnlag av et doktorgradsarbeid utført ved et norsk universitet. Prisen alternerer mellom fysikk og kjemi. Den deles ut i kjemi i odde årstall og i fysikk i jamne. I 2014 deles dermed prisen ut i fysikk. Prisen består av et pengebeløp på 100 000 kr og et diplom. Utdelingen skjer i forbindelse med Birkelandforelesningen som i 2014 blir gitt i Det Norske Videnskaps-Akademi en torsdag i september.

Aktuelle kandidater til årets Birkelandpris må ha avlagt doktorgrad i løpet av de to siste år. Avhandlingen skal være i samsvar med den ånd som man finner i Kristian Birkelands forskning. Nøkkelord i dette er blant annet: innovasjon, grensesprengende, nyskapende, kobling mellom teori og empiri, tverrfaglighet, teknologisk nyvinning, industriell anvendelse og miljørelevans.

Forskningsgrupper, veiledere og fast vitenskapelige ansatte ved et norsk universitet kan fremme forslag. Forslaget skal inneholde navn på kandidaten, hvor arbeidet er utført, veileder, kandidatens nåværende arbeidsplass, en fyldig beskrivelse av doktorgradsarbeidet og en vurdering av arbeidets relevans innenfor dagens forskning. Kopi av doktoravhandlingen skal vedlegges, enten i papirutgave (tre eksemplarer) eller som et pdf-dokument.

Forslag sendes til Norsk Fysisk Selskap innen 15. mai. Adresse:

Professor Åshild Fredriksen
Institutt for fysikk og teknologi
Fakultet for naturvitenskap og teknologi
UiT Norges arktiske universitet
Postboks 6050 Langnes
9037 Tromsø.
e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Åshild Fredriksen

∞

Konferanse om kvinner i fysikk

International Conference on Women in Physics (ICWIP) arrangeres ved *Wilfrid Laurier University i Waterloo, Canada*, 5. til 8. august 2014.

Denne konferansen arrangeres hvert tredje år. Hovedmålene er å synliggjøre vitenskapelig arbeid i alle grener av fysikken, samt utarbeide resolusjoner som adresserer kjønnsforskjeller og fremmer kvinners deltakelse i fysikken. Et annet viktig aspekt er å bygge nettverk blant fysikere verden over. Inntil 300 fysikere fra hele verden har deltatt på konferansene.

ICWIP 2014 vil omfatte hovedforedrag av følgende framstående fysikere:

- Melissa Franklin, Professor and Chair of Physics, Harvard University
- Silvia Torres-Peimbert, Professor Em., Inst. of Astronomy, Mexico City University and President Elect of the Executive Committee, International Astronomical Union.
- Claudia Felser, Professor, Johannes Gutenberg University, Mainz, Director, Max Planck Inst. for Chemical Physics of Solids, Dresden
- Sabine Stanley, Associate Professor and Canada Research Chair in Planetary Physics, University of Toronto
- Patience Mthunzi, Senior Scientist Researcher, National Laser Centre - Biophotonics, Council for Scientific and Industrial Research, South Africa
- Tsai-Chien Chiang, Editor in Chief of the China Times and author of "Madam Wu Chien-Shiung: The First Lady of Physics Research".

Det vil også bli arrangert workshops på kjønnsstudier, fysikkutdanning, forhold på arbeidsplassen, profesjonell utvikling og lederskap m.m. Også postere med presentasjon av status for kvinner i fysikk i ulike land vil bli presentert. Mer informasjon finner du på <http://icwip2014.wlu.ca/>

Deltakerne organiseres i lag fra hvert land. NFS vil støtte et lag fra Norge. Interesserte bes kontakte undertegnede på e-post innen 1. februar 2014.

Åshild Fredriksen
e-post: ashild.fredriksen@uit.no

∞

Boka er velskrevet og et godt eksempel på utviklingen som skjer i fysikkundervisningen i dag. Jeg anbefaler den på det varmeste.

Læreboka er beregnet på bachelorstudenter i fysikk, men vil også kunne være av interesse for lærere i vgs. Den er gratis tilgjengelig i pdf-format på <https://www.duo.uio.no/handle/10852/37299> Ønsker en å laste ned enkelte kapitler, kan en prøve <http://folk.uio.no/arntvi/SvingBolg.html> Her vil kapitlene bli korrigert/oppdert våren 2014.

Ola Hunderi
Institutt for fysikk, NTNU

∞

Bokomtale

Arnt Inge Vistnes: Lærebok i "Svingninger og bølger" (429 sider).

Jeg har med stor interesse lest boka "Svingninger og bølger" av Arnt Inge Vistnes, Fysisk institutt, UiO. Universitetet i Oslo har vært et foregangssted i å ta i bruk numeriske metoder i fysikkundervisningen og jeg beundrer det arbeidet som er gjort der.

Boka starter med en kort innføring i numeriske metoder. Så kommer en tradisjonell beskrivelse av harmoniske svingninger. Alle kapitler avsluttes med en oppsummering av læringsmål for kapitlet, dvs. hva studentene burde fått med seg av kunnskap. Dette er bra og et pluss ved boka. Til slutt er et sett av oppgaver. Det nye er at noen av oppgavene krever numerisk løsning av ligningene.

Neste kapittel omhandler tvungne svingninger. Igjen en tradisjonell grei innføring i stoffet. I dette kapitlet er det dessuten en interessant seksjon om tidsbegrensede tvungne svingninger.

Kapittel 4 går gjennom numeriske løsningsmetoder, et "must" for denne nye typen lærebøker. Kapitlet inneholder flere interessante eksempler på bruk av numeriske løsninger av reelle problemstillinger. Kapitlet inneholder også en seksjon om fouriertransformasjon. Denne kunne med fordel vært redusert i omfang; dette er stoff man burde ha fått med seg i matematikkundervisningen.

Kapittel 6 omhandler bølger. Igjen en tradisjonell, men interessant framstilling.

Slik kunne jeg gått gjennom kapittel for kapittel av de 16 kapitlene i boka, men dette er unødvendig.

Trim i FFV

Løsning på FFVT 3/13

Fra selskapslivet

a) Oppgaven var å vise at i ethvert selskap er det minst to personer som har det samme antall venner til stede.

La oss tenke oss at hver av de tilstedeværende merkes med antall venner vedkommende har til stede, altså et tall fra 0 til $N-1$ dersom det er N personer i selskapet. Men både $N-1$ og 0 kan ikke forekomme, for hvis en person har alle andre som venner kan ingen ha null venner der. Altså kan høyst $N-1$ av de N merkelappene være forskjellige, slik at ett av tallene må forekomme minst to ganger.

b) Her skulle en vise at i ethvert selskap av seks personer er det enten tre som er gjensidige venner, eller tre uten vennskap seg imellom.

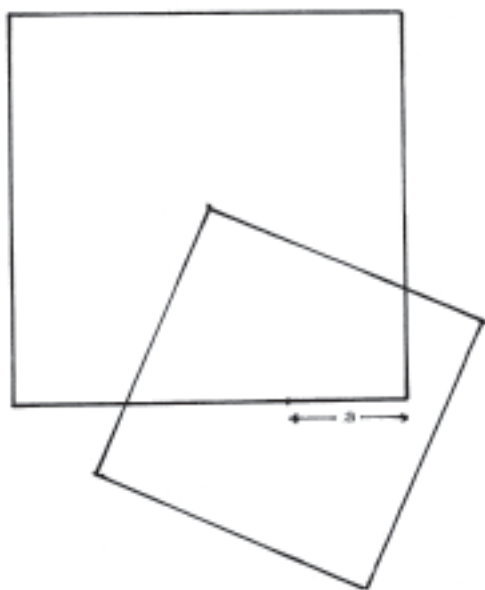
La oss feste oppmerksomheten på én av gjestene, X , og vedkommendes forhold til de resterende fem. De fem må inkludere enten tre venner av X eller tre som ikke er venner med X . I det første tilfellet er X sine tre venner enten alle uten innbyrdes vennskap, eller to av dem er venner og danner sammen med X en gruppe på tre gjensidige venner. I det andre tilfellet er enten alle tre gjensidige venner, eller to av de tre er venner. I den siste situasjonen vil én person i dette venneparet, den tredje personen og X danne en trio uten gjensidig vennskap. I alle tilfeller er derfor påstanden oppfylt.

FFVT 4/13

Maksimalt produkt

Et tall T er et produkt av positive heltall der summen av heltallene er 100. Hva er den største verdien T kan ha?

Enkel julenøtt: Overlapp av kvadrater



Figuren viser et kvadrat med areal A og et delvis overlappende mindre kvadrat. Et hjørne av det minste kvadratet ligger i midtpunktet av det største, og midtpunktet av det minste kvadratet ligger på en sidekant av det største i en avstand a fra et hjørne. Hvor stort er kvadraternes felles areal (overlapp)?

∞



Nye Doktorer

Marit Sandstad



M.Sc. Marit Sandstad forsvarte 4. november 2013 sin avhandling *Certain Cosmological Implications of a Selection of Modified Theories of Gravity* for PhD-graden ved Universitetet i Oslo.

Kunnskapen om universet blir stadig utvidet. Målinger viser at mesteparten av universets dynamikk bestemmes av komponenter vi har liten kjennskap til. Universet domineres nå av en aksellerert ekspansjon som forklares med en kosmologisk konstant eller mørk energi som bare er kjent gjennom sin gravitasjonelle virkning. Det er da naturlig å vurdere en forklaring som skyldes en modifisering av gravitasjonsvirkningen.

Marit Sandstad har studert tre modifiserte gravitasjonsteorier og deres virkninger på universdynamikken. De tre teoriene, galileoner, bigravitasjon og C-teori, spenner fra en teori med et ekstra felt til massiv gravitasjon og ikke-lokal gravitasjon over de viktigste typene modifikasjoner som studeres i feltet i dag. I doktorarbeidet har hun og samarbeidspartnere vist at galileoner kan gi aksellerert ekspansjon uten kosmologisk konstant, hun har gjort en statistisk analyse av bigravitasjon som viser at den kan gi svært godt samsvar med data, og hun har også foreslått og gjort analytiske undersøkelser av en utvidelse av bigravitasjonsmodellen. For C-teorien har hun og medforfatterene vist en ekvivalens til enkelte andre bedre kjente teorier og vist at disse teoriene i mange tilfeller er lite egnet til å forklare dynamikken i vår epoke av univershistorien.

Arbeidet er utført ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo med professor David F. Mota som veileder.

∞

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

B

NORGE P.P. PORTO BETALT



Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler 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 en spaltebredde på 8,6 cm. De 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 artikkelen. De må være teknisk gode og lette å forstå.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Per Osland

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

e-post: per.osland@ift.uib.no

Visepresident:

Professor Åshild Fredriksen

Inst. for fysikk og teknologi, UiT

e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:

Professor Jon Otto Fossum

Institutt for fysikk, NTNU

Professor Håvard Helstrup

Høgskolen i Bergen

Professor Ulf R. Kristiansen

Inst. for elektronikk og telekom., NTNU

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn

Høgskolen i Oslo og Akershus, og

Fysisk institutt, UiO

e-post: oyvind.gron@hioa.no

Professor Emil J. Samuelsen

Inst. for fysikk, NTNU

e-post: emil.samuelsen@ntnu.no

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Fysisk institutt, UiO

e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia

Institutt for fysikk, UiT

Professor Per Chr. Hemmer

Institutt for fysikk, NTNU

Førstelektor Ellen K. Henriksen,

Fysisk institutt, UiO

Professor Morten Førre

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.

Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68

Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.