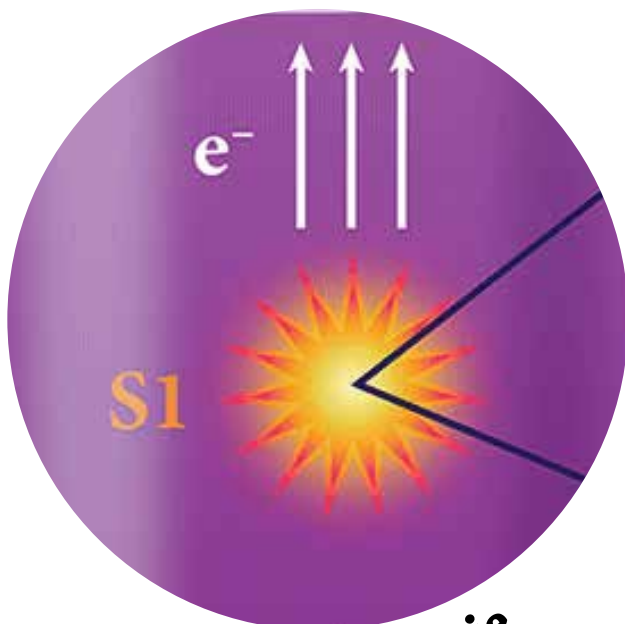


Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Antimaterie



Mørk materie



Analemma

Les også om:

- Magnetoelektrisk materiale
- Metallisk hydrogen
- Drivhuseffekt

Nr. 1 – 2017

79. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn
Høgskolen i Oslo og Akershus, og
Fysisk institutt, UiO
E-post: oyvind.gron@hioa.no

Professor Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU
E-post: emil.samuelsen@ntnu.no

Redaksjonssekretær:

Maria Hammerstrøm
Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO
E-post: maria.hammerstrom@astro.uio.no

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO
Professor Per Osland, Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Layout og sats

Maria Hammerstrøm

Trykkeri

Oslo Sats, repro og montasje A/S

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
Internettadresse: www.norskfysikk.no/nfs/

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 ganger årlig
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær
Årsabonnement 200 kr. (Studenter 100 kr.)

Retningslinjer for bidragsyttere

Fra Fysikkens Verden (FFV) 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.

Frist: Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1400.

Formål: Formålet med *FFV* er å gi informasjon om aktuelle tema og hendiger 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 skole 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 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.

Filformat: Manuskripter leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal levers elektronisk som e-post, og i et rent tekstformat (for eksempel LaTeX eller Word), slik at redaksjonen kan redigere teksten direkte. Dersom manuskriptet inneholder matematiske ligninger, skal det også leveres som PDF.

Lengde: 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 tilleggsstoff.

Småstykker: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater og lignende mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

Illustrasjoner: Legg mye omtanke i figurer, ettersom de er en viktig del av en artikkel. All figurtekst skal være på norsk. Figurene bør være av god oppløsning. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

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

Innhold

Fra redaktørene <i>Øyvind G. Grøn</i>	4
Endringar for <i>Fra Fysikkens Verden</i> <i>Øyvind G. Grøn</i> og <i>Emil J. Samuelsen</i>	4
Fysikermøtet 2017 i Tromsø <i>Åshild Fredriksen</i>	6

Fysikknytt

Fortsatt ingen tegn til mørk materie <i>Øyvind G. Grøn</i>	6
Det første spekteret etter antimaterie <i>Øyvind G. Grøn</i>	8
Partikkel bestående av fire nøytroner? <i>Øyvind G. Grøn</i>	11
Er metallisk hydrogen endelig en realitet? <i>Øyvind G. Grøn</i>	12

Artikler

Analemma <i>Tor Arne Holm</i>	15
Magnetoelektrisk materiale <i>Emil J. Samuelsen</i>	18
Leserinlegg: Unøyaktigheter om drivhuseffekten <i>Arne Marius Raaen</i>	22

Nye doktorer

Justas Zalieckas	24
Anders Haarr	24
Asgeir Osland	25

Gratulerer!

Carl Angell <i>E.K. Henriksen, C.W. Tellefsen, M. Vetleseter Bøe, A. Auen Grimenes</i>	26
Emil J. Samuelsen <i>Dag W. Breiby, Øyvind G. Grøn</i>	26

In memoriam

Jens Lothe <i>Torstein Jøssang, Jens Feder og Bjarne Nøst</i>	28
Jakob Sandstad <i>Oddvar Søråsen</i>	30
Gunnar Løvhøiden <i>H. Helstrup, J.S. Vaagen, J.R. Lien, J. Rekstad, E. Osnes, B. Skaali, S. Siem, T. Engeland, F. Ingebretsen</i>	31

Indeks for FFV 2016 finner du på www.norskfysikk.no/nfs/FFV/ffv/

Fra redaktørene

Redaktørene vil først av alt takke vår mangeårige sekretær i redaksjonen, Karl Måseide, for den store innsatsen han har gjort for Norsk Fysisk Selskaps medlemsblad, *Fra Fysikkens Verden*. Han har vært en engasjert sekretær som så det som sin oppgave å hjelpe til med at bladet skulle ha høy kvalitet, både faglig og pedagogisk. Han har hele tiden vært bevisst på hvilket publikum bladet har, og har gått gjennom utallige manuskripter med forslag til forbedringer både av faglig art, og ikke minst med hensyn til formidlingen.

Vi ønsker vår nye sekretær Maria Hammerstrøm velkommen i redaksjonen. Hun er hovedansvarlig for den nye layouten som vi innfører med dette nummeret. Vi har samarbeidet med Maria i noen måneder, og gleder oss over hennes dyktighet og friske, ungdommelige idéer, som er bra for en redaksjon som tidligere hadde en gjennomsnittsalder på over 75 år.

I dette nummeret av *FFV* har vi to hovedartikler, en om analemma og en om magnetoelektrisk materiale. Vi oppdaget at ordet «analemma» manglet i nettutgaven av Store norske leksikons (noe som nå er rettet på) og ba da en engasjert lektor, Tor Arne Holm, om en artikkel om dette fenomenet.

Artikkelen om magnetoelektrisk materiale føyer seg inn i en serie artikler om faste stoffers egenskaper skrevet av Emil Samuelsen. Dette er temaer med stort potensiale for praktiske anvendelser.

Vi vil også prøve å gi større plass til spalten Fysikknytt enn vi har gjort tidligere, og oppfordrer våre lesere til å komme med innspill.



◀ Øyvind G. Grøn



Emil J. Samuelsen

Endringer for *Fra Fysikkens Verden*

Frå årsskiftet 2016–2017 skjer det endringer i personalet knytt til *Fra Fysikkens Verden* ved at Trim-ansvarleg, Per Chr. Hemmer, sluttar, og det blir skifte av redaksjonssekretær når Karl A. Måseide takkar av.

Per Christian Hemmer

Per Christian Hemmer har vore knytt til *Fra Fysikkens Verden* som medlem av redaksjonskomiteen sida 1987 og har bidrege med interessante fysikk-artiklar gjennom åra. Han er også den som har vore ansvarleg for bladet si populære Trim-spalte. Det har vart i 30 år, fortel han, bortsett frå åra 2010 og $\frac{3}{4}$ av 2011.

Per Christian Hemmer er fødd på Tromøy ved Arendal i mai 1933. Ved ein alder på 84 år ønsker han å overlate trimmen til yngre krefter, men vi har hittil ikkje funne etterfølgjar. Vi takkar Per for arbeidet han har lagt ned for *FFV*.

Per Christian Hemmer er professor emeritus i teoretisk fysikk ved NTNU. Mange vil kjenne han

som forfattern av ein serie av konsise lærebøker i ulike fysikkemne.

Kanskje der er yngre problemorienterte lesarar som ikkje las bladet i 1990 og 1995. Dei kan jo prøve seg på dei vedlagte eksempla på Per sine underfundige trimoppgåver (innfelt).

Karl Annbjørn Måseide

Karl A. Måseide har vore redaksjonssekretær for *Fra Fysikkens Verden* i 25 år. Han overtok denne sentrale funksjonen i bladet i 1991, og han valte å gi seg no ved årsskiftet.

Karl Måseide er fødd i Borgund ved Ålesund i september 1932, og går altså i sitt åttifemte år. Han har utdanning frå Volda Lærarhøgskule og



Fra venstre:
Per Christian Hemmer,
Karl Annbjørn Måseide,
Maria Hammerstrøm.

Universitetet i Oslo. Hans yrkesaktive liv har vore knytt til UiO, som hjelpelærer i fysikk ved Fysisk institutt og vitskapleg assistent ved Det norske institutt for kosmisk fysikk, og seinare som overingeniør ved Fysisk institutt med arbeidsområde knytt til nordlysforskning.

Karl Måseide har vore ein sterkt engasjert redaksjonssekretær, som har samarbeidd med seks ulike redaktørar på desse 25 åra. Han har hatt eineansvaret for kontakten med trykkeriet, og har stått for sluttredigering og utsending av bladet. Men han har også heile tida vore ein aktiv del av den samla redaksjonen ved vurdering og evaluering av stoffet, og han har hatt mange eigne innlegg og har elles skaffa stoff til bladet. Vi vil særskild framheve hans rolle som kritisk filter og språkleg konsulent av både innsendt stoff og av artikkelar av redaktørane.

Ved årsmøtet i Tromsø i 2007, etter 15 år som redaksjonssekretær, vart Karl utnemnd til æresmedlem i Norsk fysisk selskap for innsatsen for *FFV*.

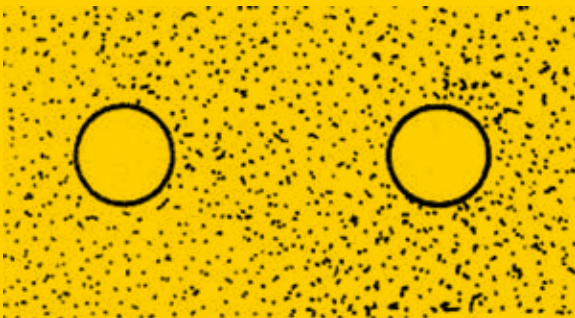
No har han verka i 10 år til, og han kunne godt ha fortjent dobbel æresmedlemskap. Vi i redaksjonen kan berre takke for innsatsen og samarbeidet og vone at Karl Måseide vil vere ein kritisk lesar av *FFV* i mange år framover.

Maria Hammerstrøm

Maria Hammerstrøm trer formelt inn i funksjonen som redaksjonssekretær frå årsskiftet, jamvel om ho alt har gjort betydeleg innsats ved utgivinga av siste 2016-nummer, 4/2016, av *FFV*.

Maria Hammerstrøm er masterstudent ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo. Ho har solid bakgrunn i grafisk formgiving og var mellom anna ansvarleg for utviklinga av nettsidene som Norsk Fysisk Selskap oppretta i samband med Lysåret 2015, og ho har grafisk designer-erfaring frå Realfagbiblioteket ved UiO. Vi ønsker Maria Hammerstrøm velkommen som medarbeidar i redaksjonen. ■

FFV-Trim 4/90: Anta at det i et uendelig og for øvrig homogent univers befinner seg to hulrom. Er effekten av gravitasjonskreftene slik at disse frastøter hverandre, tiltrekker hverandre eller har null gjensidig vekselvirkning?



FFV-Trim 1/95: Professor Funderi ble spurt av to kollegaer, S og P, om han veiledet mange studenter. «I år veileder jeg både hovedfagstudenter og doktorstudenter», sa han, «og så intelligente som dere er, kan dere kanskje finne ut noe om hva de to antallene er når du, S, får oppgitt summen av dem på denne papirlappen, og du, P, får produktet av dem på dette papiret». Som sagt, så gjort. P sa straks: «Nei, dette kan jeg ikke løse». «At du sier det, hjelper ikke meg», utbrøt S. «Ja, men da vet jeg hva de to tallene er!» sa P ettertenksomt. «Nå gjør også jeg det», sa S.

Spørsmål til leseren: Hvor mange personer veiledet Funderi?

Fysikermøtet 2017 i Tromsø

Fysikermøtet skal som kjent avholdes i Tromsø neste år, og tidspunktet er bestemt til å være **mandag 7. august til onsdag 9. august**. Sett av datoene! Vi er allerede i gang med å få opp flere glimrende internasjonalt fremstående foredragsholdere. Blant annet kommer professor Jocelyn Bell Burnell ved Oxford Universitet, og professor Lynn Rotchild er også på programmet med et foredrag om astrobiologi. Asle Sudbø, NTNU, gir en tutorial om metallisk hydrogen, og Carl Angell og Cathrine Wahlstrøm ved UiO innleder om Relevkvant, for å nevne noen få fra fysikkmiljøet i Norge. Fysikkmiljøet og Teknologibyggget i Tromsø vil bli presentert, og det er planer om en 100-årsmerking i forbindelse med Kristian Birkelands dødsfall.

Vi vil gjøre alt vi kan for at Fysikermøtet skal bli et givende og minnerikt og møte for alle deltakerne, med vekt på gode og faglig spennende foredrag. Vi håper på stor interesse og rekordmange deltagere!

Følg med på websidene for møtet:

<http://site.uit.no/fysikermotet2017/>

Arrangementskomitéen

Nominér kandidater til Undervisningsprisen og Martin Landrøs pris!

På Fysikermøtet i år skal det deles ut to priser:

1) *Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris*: Norsk Fysisk Selskaps undervisningspris på kr. 15 000 deles til en eller flere som gjennom sitt arbeid har gitt et konkret bidrag til utvikling av fysikkundervisningen i skolen (grunnskole og videregående skole).

2) *Martin Landrøs pris for fremragende mastergradsoppgave i fysikk*: Prisen deles i år ut til en kandidat som i 2016 har levert en særlig god mastergradsoppgave i fysikk. Prisen deles ut på Norsk Fysisk Selskaps årsmøte med kr. 5 000 per kandidat. Veiledermiljøer og sensorer inviteres til å nominere kandidater.

Mer informasjon om prisene og statuttene finner du på websidene:

<http://www.norskfysikk.no/nfs/nfs/priser/>

Nominasjonsfrist for alle prisene er **15. april**. Nominasjoner sendes til Norsk Fysisk Selskap, e-mail: nfs.styret@gmail.com eller undertegnede ashild.fredriksen@uit.no.

Åshild Fredriksen
president, Norsk Fysisk Selskap

FYSIKKNYTT

Fortsatt ingen tegn til mørk materie

Ingen mørk materie-partikler er observert ved to av verdens mest følsomme detektorer for å registrere slike partikler.

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo og Akershus

Det har vært kjent i omtrent femti år at galaksene roterer så raskt at de for lengst ville ha løst seg opp dersom de bare ble holdt sammen av gravitasjonsfeltet til den registrerte massen i form av stjerner, støv og gass. Dersom gravitasjonsloven gjelder uforandret på galaktiske avstander, slik den beskrives i Einsteins relativitetsteori, må det eksistere store mengder såkalt mørk materie som lager sterkt nok gravitasjonsfelt til å holde galaksene sammen. Astrofysikerne har regnet ut at 84 % av all materien i universet består av mørk materie. Vi vet ikke hva den består av.

Hovedkandidaten

En kandidat til mørk materie-partikler er det som på engelsk kalles Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs). At de er svakt vekselvirkende betyr at de ikke merker den elektromagnetiske kraften og den sterke kjernekraften. De merker bare gravitasjon og den svake kjernekraften. «Massiv partikkel» betyr vanligvis i denne sammenhengen at det dreier seg om partikler med mer enn en protonmasse.

De to mest følsomme eksperimentene for å registrere slike partikler er PandaX-II i Kina og LUX i USA. I begge forsøker man å registrere tegn til at mørk materie-partikler som har kollidert med xenonatomer i store tanker (Figur 1).

Forskningsgruppene publiserte henholdsvis 16. september 2016 og 11. januar 2017 sine siste rapporter i *Physical Review Letters*.

Detektoren

Figur 1 viser en prinsippskisse av detektoren i LUX-eksperimentet. En sylindrisk beholder er fylt med 250 kg ultraren, flytende xenon med xenongass øverst. Dersom det kommer partikler utenfra og inn i xenonvæsken, vil kollisjoner med xenonatomer forårsake to typer målbare signaler. Det ene, S1, er ultrafiolett stråling som kommer direkte fra kollisjonen. Dette signalet registreres med fotomultiplikatorer nederst og øverst i tanken. Det andre signalet, S2, er mer indirekte. Kollisjoner mellom partikler utenfra og xenonatomer vil slå løs elektroner. I beholderen med xenon er det et elektrisk felt nedover i akseretningen. Det trekker elektronene oppover mot væskens overflate. I xenongassen over væsken er det et sterkere elektrisk felt enn i væsken, og når elektronene kommer inn i dette akselereres de og sender ut elektromagnetisk stråling. Dette er signalet S2, og det registreres bare i fotomultiplikatorene øverst i beholderen.

WIMPs lager fortrinnsvis signaler av type S1, mens andre typer partikler, for eksempel partikler fra små forurensninger av radioaktive stoffer eller fra kosmisk stråling, også forårsaker signaler av type S2.

Forskerne har laget et dataprogram som gjør det mulig å kartlegge kollisjonsprosessene ut fra signalene S1 og S1. Fra styrken av de to signalene kan de regne ut om registrerte signaler skyldes uønsket bakgrunn fra radioaktive stoffer eller kosmisk stråling, eller om de kommer fra WIMPs.

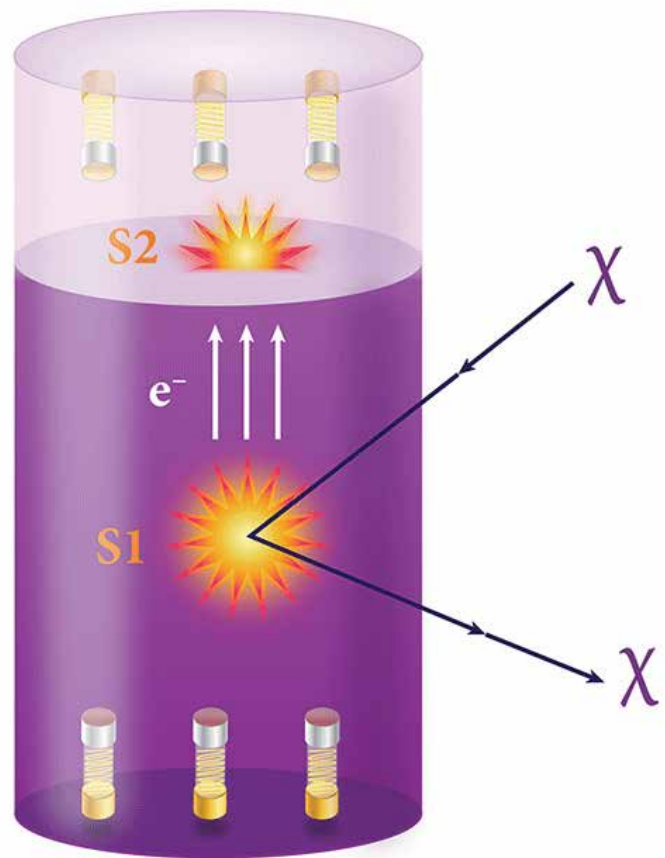
For å gjøre bakgrunnsstøyen minst mulig er beholderne nedsenket i en sylindrisk beholder med ultrarent vann. Den har diameter 7,6 m og høyde 6,1 m. Hele apparaturen befinner seg 1,5 km under jordoverflaten i et laboratorium med navnet Sanford Underground Research Facility.

Den første observasjonsperioden med LUX foregikk i 95 døgn i perioden fra april til august 2013. Så ble apparaturen oppgradert. Resultatet rapportert 11. januar 2017 er basert på observasjoner utført i 332 døgn i perioden 11. september 2014 til 2. mai 2016.

Det ble ikke observert noen tegn til WIMPs.

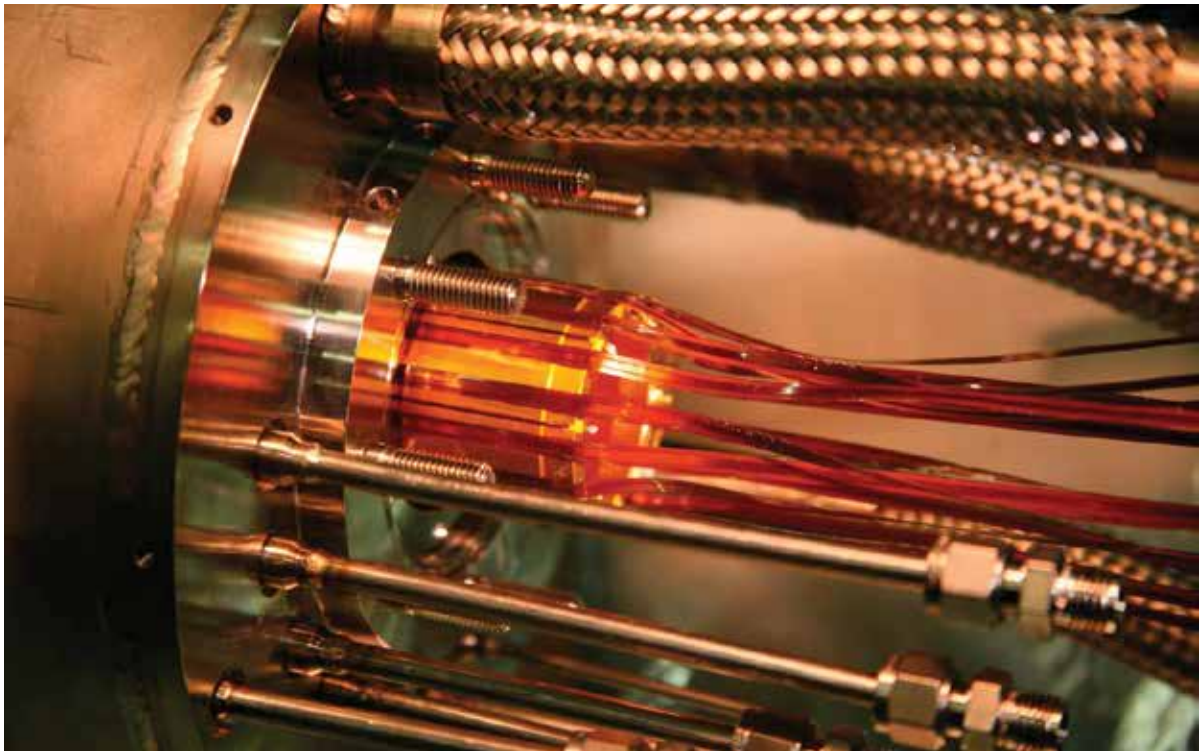
Fremtidige eksperimenter

Apparaturen som nå er i bruk kan registrere signaler fra WIMPs med mellom 5 og 1000 protonmasser med størst følsomhet i området 40–50 protonmasser. Eksistensen av slike partikler forutsies av teorier om at naturen er supersymmetrisk, dvs. at til alle partikler med spinn $\frac{1}{2}$ svarer det supersymmetriske partnere med spinn 1 og vice versa. Det begynner nå å bli problematisk for slike teorier at ingen eksperimenter har greid å registrere signaler fra WIMPs.



Figur 1. Både LUX og PandaX-II eksperimentene ser etter mørk materie-partikler (χ) ved å prøve å fange opp signaler når de vekselvirker med xenonatomer. I begge eksperimentene er detektorene en stor tank med ultraren xenonvæske (mørk purpur) og med xenongass over (lys purpur). Når innkommende partikler av mørk materie treffer xenonatomer produseres to signaler. Et signal, S1, kommer fra xenonvæsken, og det andre, S2, kommer fra elektroner som frigjøres ved kollisjonen mellom mørk materie og xenonatomer. Når elektronene beveger seg ut i gassen avgir de elektromagnetisk stråling. Begge signalene kan registreres med fotomultiplikatorer øverst og nederst i tankene (gule sylindre).

Man har planer om å konstruere andregenerasjons detektorer med betydelig større følsomhet enn de nåværende. LUX-ZEPLIN eksperimentet, som vil overta for LUX, er designet for å registrere partikler med over 10 protonmasser, mens SuperCDMS SNOLAB og ADMX Gen2 eksperimentene er designet for å registrere partikler med mindre enn 10 protonmasser. Håpet er at man da omsider vil finne tegn til reaksjoner der mørk materiepartikler har deltatt. ■



Det første spekteret fra antimaterie

Forskere har for første gang fått frem spekteret fra en atomær overgang for atomer av antihydrogen. Dette har gitt en nøyaktig test på prinsippet om at naturlovene er de samme som i vår verden i en speilvendt verden hvor all ladning har motsatt fortegn, og tiden går baklengs (CPT-invarians).

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo og Akershus

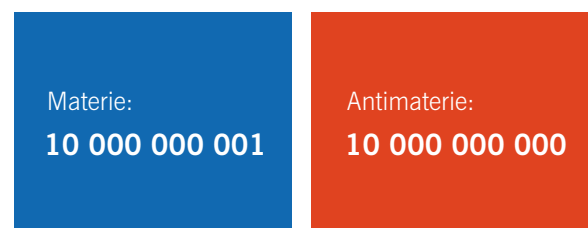
Elementærpartikkelfysikkens standardmodell forutsier at universet skulle ha blitt dannet med like mye materie og antimaterie. Men observasjoner viser at universet oppsto med litt mer materie enn antimaterie. Forskjellen var ikke stor. Beregninger viser at for hver ti milliarder antipartikler som opprinnelig var til stede, var det ti milliarder og én partikler av vanlig materie (Figur 1).

Siden materie og antimaterie går over til elektromagnetisk stråling når de møtes, ville det ha vært en mye større intensitet av elektromagnetisk bakgrunnsstråling i universet enn den som er registrert med Planckobservatoriet, dersom universet hadde blitt til med enda mindre forskjell i den opprinnelige mengden av materie og antimaterie – ikke minst om det opprinnelig hadde vært nøyaktig like mye.

Det er ennå ikke fullt ut forstått hvordan denne forskjellen i mengden av materie og antimaterie oppsto, selv om det er laget teorier for hvordan det kan ha skjedd [5]. Dette motiverer fysikere til å gjøre omhyggelige studier av egenskapene til antimaterie for å undersøke om det er en forskjell i egenskapene til materie og antimaterie som kan forklare hvorfor universet ble dannet med mer materie enn antimaterie.

ALPHA-detektor teamets antimaterieeksperiment i CERN

Antimaterieeksperimentet ATHENA ved CERN ble startet for 20 år siden, i 1996. Som en fortsettelse av dette, ble ALPHA-eksperimentet satt opp i 2005. Det har vært i aktivitet i over ti år



Figur 1. For hver ti milliarder partikler med antimaterie var det umiddelbart etter Big Bang ti milliarder og én partikler av vanlig materie.

Figur 2. Detalj fra Alpha-detektoren i CERN med utstyr brukt for å fange atomer av antihydrogen [2].

med stadige forbedringer. Hensikten med eksperimentet er å studere atomer av antihydrogen og sammenlikne deres egenskaper med vanlige hydrogenatomer.

Å studere atomer av antihydrogen er ingen enkel sak. Slike atomer finnes ikke i naturen som er fullstendig dominert av vanlig materie. Derfor må atomene av antihydrogen lages i laboratoriet. Det krever at man først produserer antiprotoner og antielektroner (positroner). Så må antiprotonene og positronene avkjøles slik at de beveger seg langsomt nok til å binde seg med hverandre. Dette må gjøres uten at partiklene kommer i berøring med vanlig materie, for da annihilerer de og går lynraskt over til elektromagnetisk stråling.

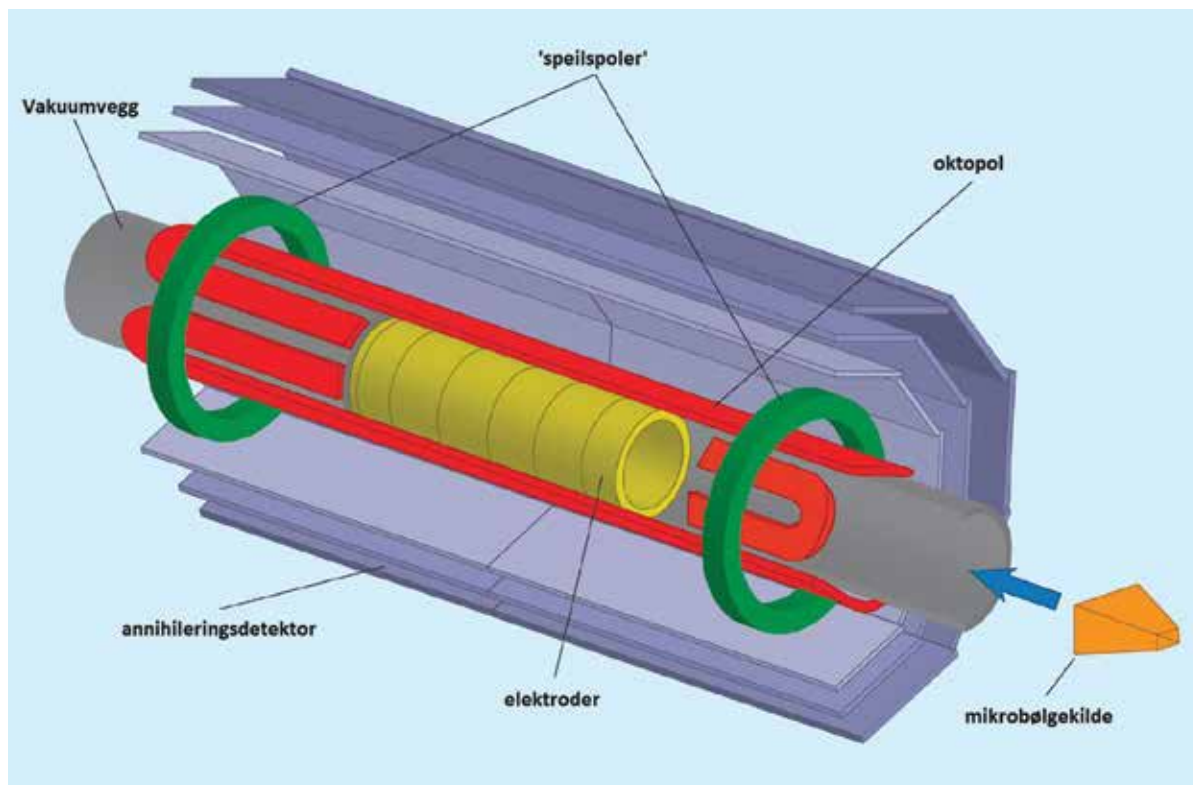
Heldigvis har antihydrogenatomene et lite magnetisk moment. Det betyr at de påvirkes av magnetkrefter og kan sperres inne i et magnetfelt som hindrer dem i å komme i kontakt med vanlig

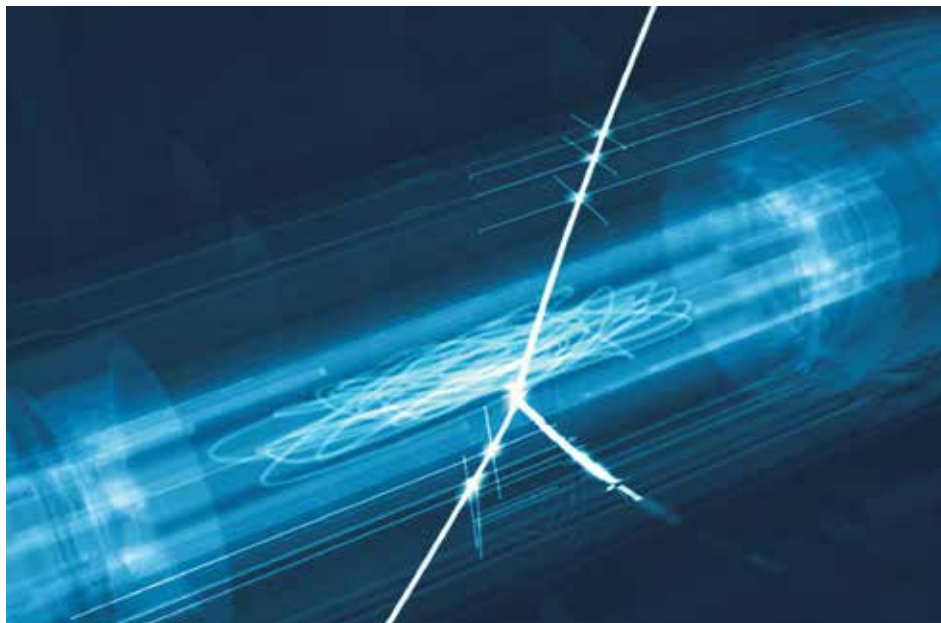
Antimaterie: Materie bestående av antipartikler. Til hver type elementærpartikkel finnes en tilsvarende antipartikkel som har samme masse og spinn som partikkelen, men motsatt verdi av samtlige ladningstall; elektrisk ladning, baryontall, leptontall osv.

materie. I praksis var det en krevende oppgave å lage et slikt magnetisk bur for antihydrogenatomene. Etter flere års arbeid lyktes forskerne i dette (Figur 2–4).

Dermed kunne de sendte laserlys mot antihydrogenatomene slik at de ble eksitert. Når atomene falt tilbake til grunntilstanden sendte de ut lys. Fra de observerte spektrallinjene kunne bølgelengdene bestemmes med stor nøyaktighet. Det viste

Figur 3. Skjematisk figur av ALPHA-apparatet. Figuren viser elektrodene (gult) som danner et bur for antihydrogenatomene og positronene. Figuren viser også et system av spoler (grønt og rødt) som lager magnetfeltet som fanger noen av antihydrogenatomene. Den såkalte annihilator detektoren som registrerer at antihydrogenatomer går over til energi i møte med vanlige atomer på utsiden av spolen er vist med grå farge [3].





Figur 4. Illustrasjon av en sky av anti-hydrogen fanget i et magnetfelt med baner til partikler dannet ved annihilering av et antihydrogenatom [4].

seg at innenfor målenøyaktigheten var spekteret til antihydrogenatomene likt spekteret til vanlige hydrogenatomer.

CPT-invarians

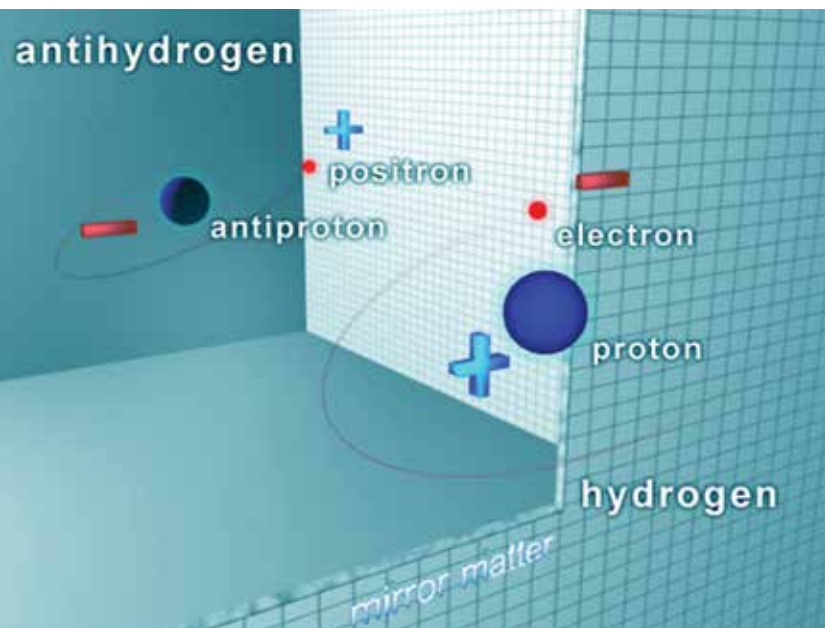
Et av prinsippene i standardmodellen av elementærpartikkelfysikken er at naturlovene er de samme som i vår verden i en speilvendt verden hvor all ladning har motsatt fortegn (Figur 5), og tiden går baklengs. Dette kalles prinsippet om CPT-invarians. Det innebærer at antimaterien oppfyller de samme lovene som materien. Dette krever

videre at antihydrogenets spektrum skal være det samme som hydrogenspekteret. Følgelig er en test av om dette er oppfylt også en test av om antimaterien oppfyller prinsippet om CPT-invarians.

Forskerne bak de nye resultatene, Ahmadi og medarbeidere, skriver i *Nature*-artikkelen [1]: «Vårt resultat er konsistent med CPT-invarians med en relativ presisjon på $2 \cdot 10^{-10}$.» Det første spekteret fra antimaterie er altså i god overensstemmelse med elementærpartikkelfysikkens standardmodell. ■

Referanser

1. M. Ahmadi og medarbeidere. «Observation of the 1S-2S transition in trapped antihydrogen». *Nature* (2016).
2. L. Bugge, Ø. Grøn og G. Skjevling. «Hvordan oppsto materien?» *Fra Fysikkens Verden* 4 (2008), s. 128–133.
3. CERN. «ALPHA». 2016. Internettadresse: <https://home.cern/about/experiments/alpha>.
4. M. Charlton og medarbeidere. «Antihydrogen in a bottle». *Physics Education* 48 (2013), s. 212–220.
5. Sci-News. «CERN Physicists Observe Light Spectrum of Antimatter for the First Time». 19. desember 2016. Internettadresse: <http://www.sci-news.com/physics/light-spectrum-antimatter-04465.html>



Figur 5. Er naturlovene de samme i en speilvendt verden med antimaterie som i vår verden?

Partikkel bestående av fire nøytroner?

Nye eksperimenter og simuleringer har demonstrert eksistensen av kortlivede såkalte tetranøytroner, det vil si partikler som består av fire nøytroner.

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo og Akershus

En japansk gruppe av fysikere har lyktes i å produsere en kortlivet partikkel som består av fire nøytroner, et såkalt *tetranøytron* [1,2], og en amerikansk gruppe har utført simuleringer som bekrefter at en slik partikkel kan eksistere med en levetid på $5 \cdot 10^{-22}$ s [3,4].

Frie nøytroner er ustabile og henfaller til et proton, et elektron og et antinøytrino med en gjennomsnittlig levetid på litt under et kvarter. Siden nøytroner er elektrisk nøytrale og det derfor ikke er noen elektrisk frastøtning mellom dem, har kjernefysikere lurt på om den sterke kjernekraften kan binde sammen flere nøytroner til en partikkel. Allerede for over 50 år siden ble det søkt etter tetranøytroner [5].

Fysikere har gjort simuleringer på datamaskiner for å finne ut om det kan eksistere partikler som består av flere nøytroner. Resultatet var at det ikke kan eksistere partikler som består av to eller tre nøytroner, men at det kan oppstå kortlivede såkalte resonanser med fire nøytroner. Slike «resonanser» er kortlivede tilstander av partikler som ikke er varig bundet til hverandre, men der «resonansen» eksiterer lenge nok (typisk opp til 10^{-21} s) til at den i prinsippet har målbare partikkelegenskaper som spinn og energi. For et tetranøytron er levetiden ekstremt kort, $5 \cdot 10^{-22}$ s.

I eksperimentet ble tetranøytronet ikke observert direkte. Men forskerne målte forskjellen i

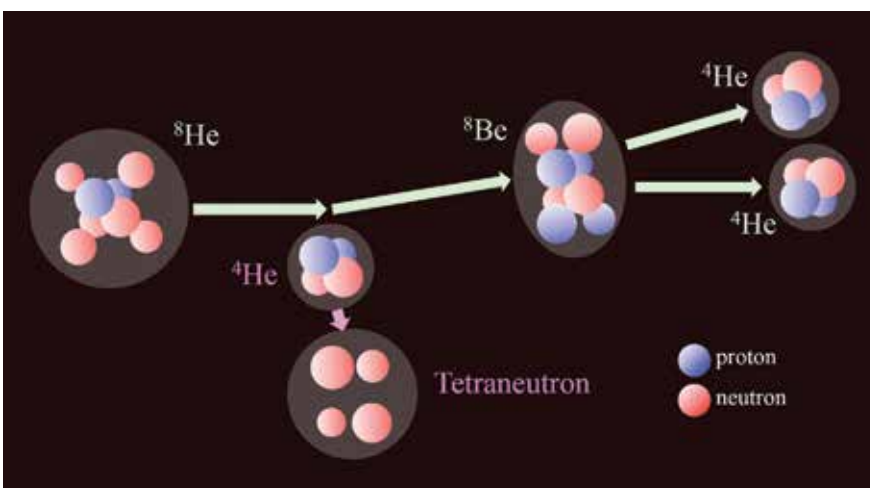
energi og bevegelsesmengde før og etter reaksjonen og utledet fra det at det måtte være dannet en partikkel med energi og bevegelsesmengde lik denne forskjellen.

Dette kan høres enkelt ut, men i praksis var det en mengde vanskeligheter som måtte overvinnnes, og den indirekte registreringen var helt på grensen av hva som er mulig. Det ble kun observert fire avvik fra bevaring av energi-impuls som kunne tolkes som at et tetranøytron var dannet og unnsloppet.

Nye målinger med større følsomhet og med større produksjon av tetranøytroner er allerede i forberedelse. Vi er kanskje her ved inngangen til et nytt forskningsområde der den sterke kjernekraften vil bli undersøkt ved å studere partikler som består av fire nøytroner. ■

Referanser

1. K. Kisamori et al. «Candidate Tetraneutron Resonant State Populated by the ^4He (^8He , ^8Be) Reaction». *Physical Review Letters* 116, 052501 (2016).
2. N. Orr. «Viewpoint: Can Four Neutrons Tango?» Internettadresse: <http://physics.aps.org/articles/v9/14>
3. A.M. Shirokov et al. «Prediction for a four-neutron resonance». *Physical Review Letters* 117, 182502 (2016).
4. Sci-News. «Physicists Demonstrate Existence of Tetraneutron». 4. november 2016. Internettadresse: <http://www.sci-news.com/physics/tetraneutron-04340.html>
5. J.P. Schiffer og R. Vandenbosch. «Search for a Particle Stable Tetra-Neutron». *Physics Letters* 5, 292 (1963).



Figur 1. Reaksjonen brukt av Kisamori og medarbeidere for å produsere tetranøytroner. En høyenergi-stråle av radioaktive isotoper av heliumkjerner med seks nøytroner i kjernen ble sendt mot heliumkjerner med to nøytroner i kjernen. Da produseres både tetranøytronpartikler, dvs. partikler som består av fire nøytroner, og energirike berylliumkjerner som raskt spaltes i heliumkjerner (alfapartikler).

Er metallisk hydrogen endelig en realitet?

Forskere hevder at de har greid å lage en prøve av metallisk hydrogen i fast form.

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo og Akershus

Eksistensen av metallisk hydrogen ble forutsagt for over 80 år siden av Eugene Wigner og Hillard Bell Huntington. De gjorde beregninger som tydet på at hydrogen kan bli metallisk ved tilstrekkelig høyt trykk – over 250 000 atmosfærer eller 25 GPa (GPa: gigapascal, dvs. 10^9 N/m² eller ti tusen atmosfærers trykk). At et stoff er metallisk betyr at det leder strøm. Det har ledningselektroner som kan bevege seg forholdsvis fritt i metallet.

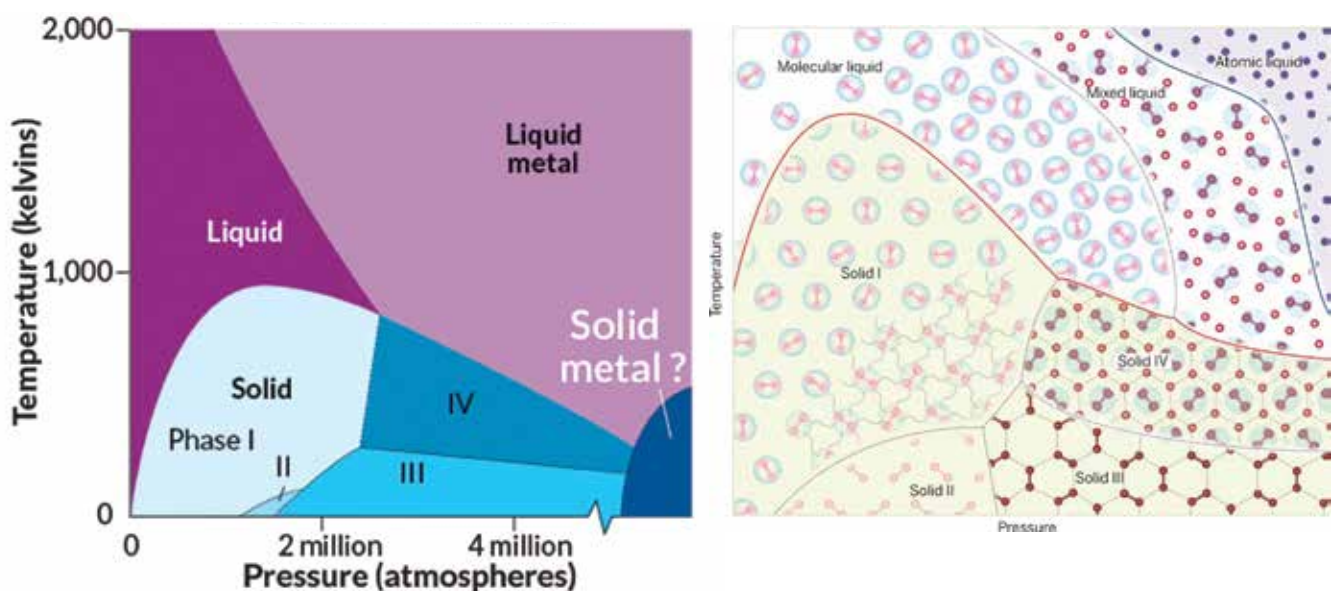
Temaet «Metallisk hydrogen» ble presentert av Emil Samuelsen i *Fra Fysikkens Verden* i 2012 [1]. Her kan leseren få en innføring om de ulike fasene til hydrogen under høyt trykk, og om arbeidet utført frem til 2012 for å fremstille metallisk hydrogen. Spesielt hadde en forskergruppe i Mainz [2] rapportert om observert metallisk hydrogen ved trykk over 270 GPa. Resultatet ble kritisert av andre forskere, og særlig kritiske [3] var forskerne fra den gruppa ved Cornell-universitetet som nå annonserer [4] at de har påvist metallisk hydrogen i fast form, som beskrevet nedenfor.

Wigner-Huntington faseovergangen til metallisk hydrogen i fast form

Ved værelsestemperatur og én atmosfæres trykk er hydrogen en gass som består av hydrogenmolekyler med to atomer i hvert molekyl. Men ved økende trykk og temperatur skjer det forskjellige faseoverganger. Det er identifisert åtte faser av hydrogen, en gassfase, tre forskjellige væskefaser og fire faststoff-faser (Figur 1).

Det er utført Monte Carlo simuleringer for å studere atomær og molekylær struktur av hydrogenets ulike faststoff-faser. Den mest spennende egenskapen er at den metalliske fasen forutsagt av Wigner og Huntington muligens er kvasistabil. Det betyr at hvis man greier å sette hydrogen under så høyt trykk at det dannes metallisk hydrogen i fast form, så vil hydrogenet bevare denne strukturen når trykket minskes.

Eksperimentalfysikere har prøvd å fremstille metallisk hydrogen i fast form. Dersom de greier dette og denne strukturen er kvasistabil, kan de praktiske konsekvensene bli store. For beregningene tyder på at metallisk hydrogen er superledende. Metallisk hydrogen i fast form vil altså kunne være superledende ved værelsestemperatur. Man kunne da oppnå store energigevinster ved å bruke ledninger av metallisk hydrogen til å overføre elektrisk energi.



Figur 1a og b. Figur 1a til venstre viser et fasediagram for hydrogen [3]. Gassfasen opptrer i et område nederst til venstre som er så lite at det ikke er tegnet inn. Det er identifisert fire forskjellige faststoff-faser eksperimentelt. Figur 1b til høyre viser atom- og molekylstrukturene for de ulike fasene. Det er ikke full overensstemmelse mellom figurene. Det skyldes at de er laget med noen års mellomrom av forskjellige forskergrupper. På dette området foregår det forskning samtidig i mange grupper, og resultatene er ikke alltid helt i overensstemmelse med hverandre.

Ekspérimentalfysikerne fant imidlertid ingen overgang til metallisk hydrogen ved 25 GPa som forutsagt av Wigner og Huntington. Selv ved ti ganger så stort trykk er det ikke observert noen bekreftet overgang til metallisk hydrogen. Simuleringene har gitt en forklaring på dette. Wigner og Huntington brukte en trykkuavhengig kompressibilitet for hydrogen i sine beregninger. Simuleringene har imidlertid vist at kompressibiliteten øker raskt med trykket ved høyt trykk, og forutsier at Wigner-Huntington faseovergangen til metallisk hydrogen i fast form først skjer ved et trykk mellom 400 GPa og 500 GPa.

Er metallisk hydrogen endelig produsert?

Den 26. januar 2016 publiserte *Science* en artikkel av R.P. Dias og I.F. Silvera [4]. Forskerne har fortalt om vanskelighetene med å få til å utsette hydrogen for opp til 5 millioner atmosfærers trykk. Hydrogenet ble plassert mellom to diamanter som var planslipt i den spisse enden med sirkulære flater med diameter på 30 mikron (Figur 2). Bitte små urenheter i diamantene kunne få diamantene til å sprekke når trykket ble stort nok. Dette løste de ved å «høvle» av et 5 mikron tynt lag på endeflatene og dekke det med aluminiumoksid.

Så ble temperaturen senket til 15 K, og hydrogenet ble plassert mellom diamantene i en form for pakning. Trykket ble så økt ved en mekanisk innretning. Det hele ble plassert i en kryostat der temperaturen ble holdt under 83 K. Hydrogenet ble forsiktig belyst både nedenfra og ovenfra. Vedvarende sterkt lys for eksempel med laser kunne forårsake skade på flatene hydrogenet ble klemt mellom. Derfor ble hydrogenet belyst med laser kun en kort stund da trykket var størst. Hydrogenprøven ble fotografert flere ganger og observert med spektrometer.

Da trykket var 205 GPa (ca. to millioner atmosfærer) var hydrogenet gjennomsiktig, og spektroskopiske analyser viste at det da var elektrisk isolerende (venstre fotografi i Figur 3). Da trykket nådde 414 GPa ble hydrogenet svart og det var nå i en halvleder-tilstand. Det maksimale trykket var 494 GPa. Fotografier og spektroskopiske analyser viste at det nå hadde inntruffet en faseovergang der hydrogenet var kommet inn i en fase som en metallisk leder i fast form.

Dersom det blir bekreftet at Dias og Silvera virkelig har greid å fremstille hydrogen i en fase som en fast-stoff metallisk leder, er dette et resultat av stor betydning. For omfattende simuleringer av faseovergangen til metallisk faststoff-leader, har vist at denne fasen er superledende. Ikke bare det: den er trolig «kvasistabil» slik at det er mulig



Figur 2. Hydrogenet fanges i en felle mellom to diamanter der de harde diamantflatene gjør det mulig å utsette hydrogenet for et enormt trykk.

å senke trykket uten at metallstrukturen går tapt. Dette er en egenskap vi kjenner til for diamanter. De dannes under 10 GPa trykk, men beholder sin struktur ved vanlig atmosfæretrykk.

Dersom Dias og Silvera virkelig har greid å danne en prøve av hydrogen som har disse egenskapene, vil dette kunne få store praktiske konsekvenser. Hydrogen er universets vanligste grunnstoff. Det vil da være tenkelig at Dias og Silvera har åpnet døren til å masseprodusere et fast stoff som er superledende ved vanlig trykk og temperatur, og hvor råstoffet finnes i praktisk talt ubegrensede mengder.

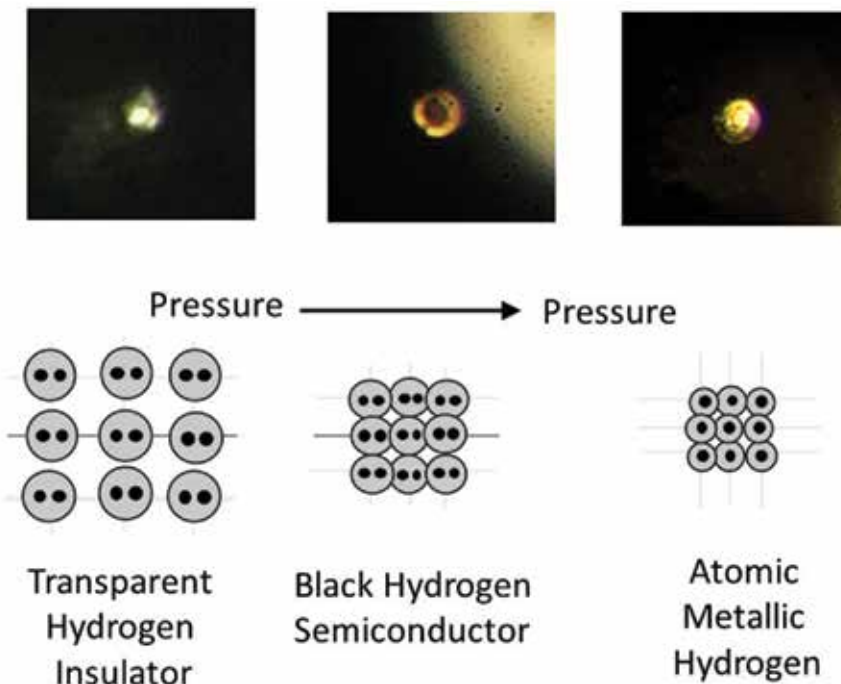
Men det er foreløpig for tidlig å vite om disse rosenrøde fremtidsdrømmene vil bli realisert.

Kritikk

Den 2. februar 2017 publiserte *Nature* en artikkel av D. Castelvechi [6] der han manet til nøkternhet i vurderingen av hva Dias og Silvera har oppnådd. Han skriver at fem eksperter fortalte nyhetsteamet til *Nature* at de ikke trodde Dias og Silvera virkelig har produsert metallisk hydrogen i fast form.

Å lage metallisk hydrogen i fast form har vært et mål for eksperimentalfysikere innenfor området høytrykksfysikk helt siden denne fasen av hydrogen ble forutsagt av Wigner og Huntington i 1935. De siste ti årene har aktiviteten på dette området økt, og flere grupper har konkurrert om å bli de første til å lage metallisk hydrogen i fast form. Men frem til høsten 2016 var det ingen som kunne rapportere om at de hadde fått det til.

Dias og Silvera fra Cornell-universitetet publiserte i oktober 2016 et preprint der de hevdet at ved å plassere en slags ambolt med to diamanter



Figur 3. Bildene til viser fotografier av en prøve av hydrogen med utstrekning på 8 ganger 10 mikron og tykkelse 1,2 mikron under høyt trykk. Prøven er belyst. Det kommer reflektert lys både fra prøven og en pakning den er festet til. I fotografiet til venstre er hydrogenet under et trykk på 205 GPa. Da er hydrogenet gjennomsiktig. I midten er trykket 414 GPa, og hydrogenet er svart og reflekterer nesten ikke noe lys. Til høyre er trykket 495 GPa. Her reflekterer hydrogenet lys, og spektroskopiske analyser viste at hydrogenet har gjennomgått en faseovergang til metallisk hydrogen. Figurene under fotografiene viser hydrogenets struktur i de 3 tilstandene: til venstre molekyler med avstand mellom, i midten tettpakkede molekyler og til høyre en atomær struktur.

som ble presset mot en pakning med hydrogen i en kryostat, hadde de greid å produsere høyere trykk mot en prøve av hydrogen enn noen andre har klart: 495 GPa (eller omtrent fem millioner ganger atmosfæretrykket). Da trykket ble økt fra 465 GPa til 495 GPa skjedde «underet» – en faseovergang til metallisk hydrogen i fast form.

Preprintet ble kritisert. A. Goncharov, en geofysiker ved Carnegie Institution for Science i Washington, sier at det er langt fra opplagt at materialet som er fotografert ved maksimalt trykk, faktisk er metallisk hydrogen. Andre sier at trykk-kalibreringen ikke har vært god nok, og at det maksimale trykket de oppnådde er overvurdert. E. Gregoryanz ved University of Edinburgh sier at det burde ha vært tatt flere bilder i sluttfasen av trykkøkningen slik at man kunne fått sett hvordan faseendringen utviklet seg. Det vil gjøre det lettere å vite hva sluttresultatet er. Videre burde forskerne også ha gjort analyser for å forsikre seg om at det ikke er laget av aluminiumoksid på diamantene som er blitt metallisk på det siste fotografiet (Figur 3). Kritikerne sier videre at artikkelen som ble publisert i *Science* 26. januar 2017, ikke inneholdt tilstrekkelige svar på kritikken til å være overbevisende.

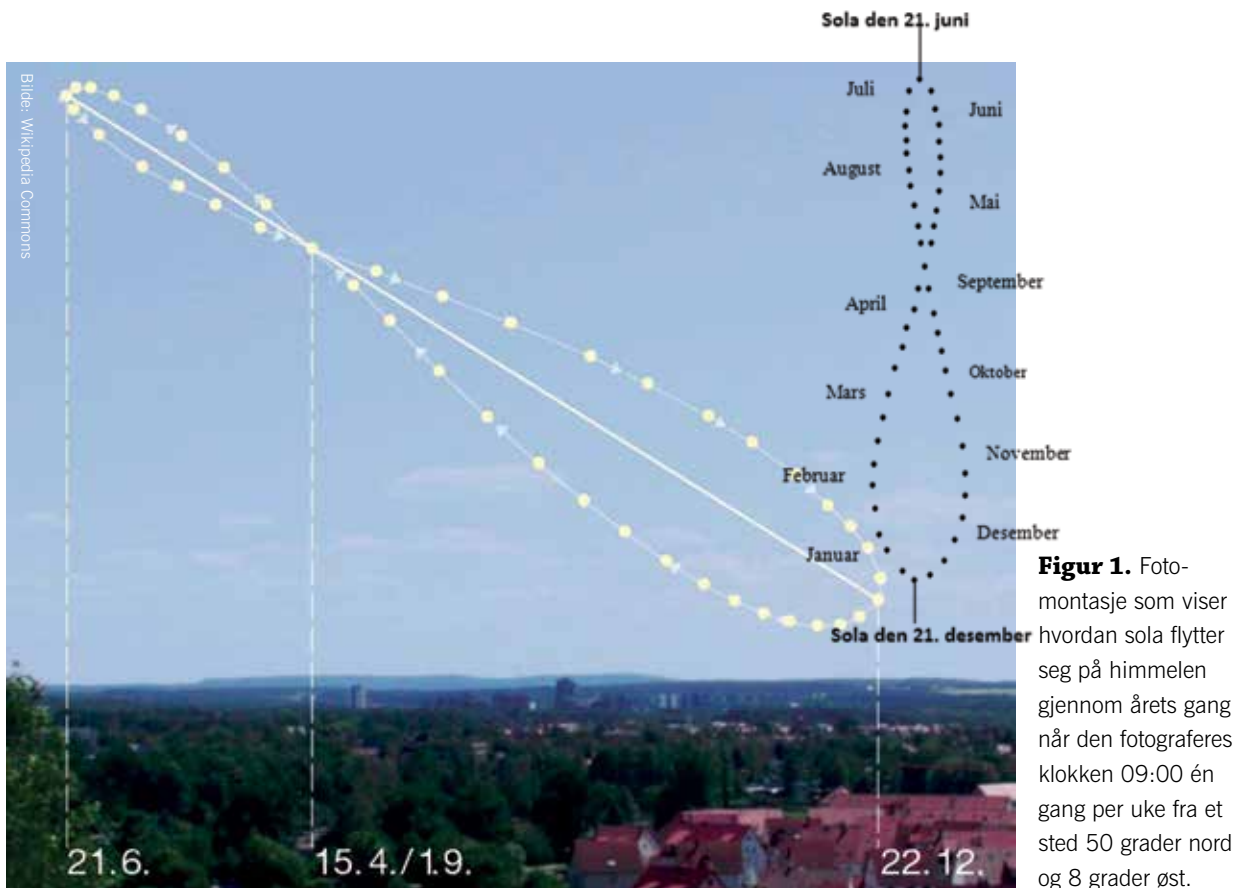
Dias og Silvera svarer at de er i gang med å forberede nye forsøk for å imøtegå kritikken. Kritikerne er av den oppfatning at slike kontrollforsøk burde ha vært gjort før forskerne gikk ut og annonserte at de hadde produsert metallisk hydrogen i fast form. Til dette svarer Silvera rett og slett at de ønsket å annonsere sitt resultat så raskt som

mulig. Han var rimelig sikker på at de hadde lyktes i å produsere et lite flak av metallisk hydrogen i fast form. Dersom kontrollforsøkene viser at de virkelig gjorde det, vil de både bli historiske og en Nobelpris rikere. Hvis nye forsøk viser at de ikke har laget metallisk hydrogen, blir det en skikkelig nedtur, men en nedtur til å leve med.

For verken Dias og Silvera eller de andre forskergruppene har tenkt å gi seg. Nå er alle på hugget. Troen på at metallisk hydrogen i fast form er innenfor eksperimentalfysikernes rekkevidde, er sterkere enn noen gang tidligere. ■

Referanser

1. E.J. Samuelsen. «Metallisk hydrogen». *Fra Fysikkens Verden* 4 (2012), s. 109.
2. M.I. Eremets og I.A. Troyan. «Conductive dense hydrogen». *Nature Materials* 10 (2011), s. 927–931.
3. W.J. Nellis, A.L. Ruoff og I.F. Silvera. «Has Metallic Hydrogen Been Made in a Diamond Anvil Cell?» Preprint (2012).
4. R.P. Dias og I.F. Silvera. «Observation of the Wigner-Huntington transition to metallic hydrogen». *Science* 10.1126/science.aal1579 (2017).
5. M. Conover. «The pressure is on to make metallic hydrogen». 20. august 2016. Internettadresse: <https://www.sciencenews.org/article/pressure-make-metallic-hydrogen>.
6. D. Castelvocchi. «Hydrogen yet to prove it's metal». *Nature* 542, 17 (2017).



Figur 1. Foto-montasje som viser hvordan sola flytter seg på himmelen gjennom årets gang når den fotografertes klokken 09:00 én gang per uke fra et sted 50 grader nord og 8 grader øst.

Analemma

Analemma er navnet på kurven som solen beskriver på et bestemt klokkeslett hver dag gjennom et helt år. Kurven er formet som et flattrøkt åttetal. Fenomenet skyldes flere faktorer.

Tor Arne Holm pensjonert lektor

En analemma viser hvordan sola forflytter seg på himmelen dersom den fotografertes ved samme klokkeslett over et helt år (Figur 1). Denne forflytningen på himmelen skyldes ikke at sola beveger seg, men har med jordas bevegelse å gjøre. Det er to forhold som spiller inn:

1. Jordas akse heller. Jordaksen heller med $66,5^\circ$ på jordas baneplan (ekliptikken). Siden jordas ekvatorplan ikke faller sammen med ekliptikken, det vil si det planet jorda beveger seg i rundt sola, står sola høyere på himmelen om sommeren enn om vinteren. Det forårsaker opp ned-forflytningen i analemmaen.
2. Jordas bane er en ellipse. Siden jorda beveger seg langs en ellipsebane har jorda forskjellig hastighet rundt sola i de ulike årstidene. Den beveger seg fortest når den er nærmest sola – om vinteren på jordas nordlige halvkule.

Hvordan oppstår analemmaen?

Klokka vår er konstruert ut i fra at jordas bane er en sirkel og at jorda dermed går med konstant fart. På ett døgn har jorda i en sirkulær bane, flyttet seg $(360^\circ/365,24 \text{ døgn}) = 0,985653^\circ$. Dette betyr at når jorda har rotert 360° er ikke sola i syd før jorda har rotert ytterligere $0,985653^\circ$. Dette betyr at jorda bruker 24 timer på å rotere $360,985653^\circ$. Jorda bruker 3 minutter og 56 sekunder på å rotere $0,985653^\circ$.

Jorda har forskjellig fart i banen sin fordi banen er en ellipse (Keplers 1. lov). Jorda går fortest i desember/januar og saktest i juni/juli (Keplers 2. lov). Altså får vi at jorda flytter seg mer enn $0,985653^\circ$ og mindre enn $0,985653^\circ$ per døgn avhengig av hvor jorda er i banen sin. La oss gå ut i fra at sola er i syd kl. 12:00. Om jorda flytter seg mer enn $0,985653^\circ$ på et døgn, må jorda rotere litt mer for å få sola i syd. Om jorda flytter seg noe mindre enn $0,985653^\circ$ i banen sin på ett døgn, vil «syd» komme litt tidligere enn 24 timer. Altså får vi at ettersom jorda roterer med konstant fart, vil vi observere sola i syd før

Keplers 1. lov: Planetenes baner er ellipser med sola i det ene brennpunktet.

Keplers 2. lov: Baneradiene sveiper over like store flater på like lange tider.

kl. 12:00 eller etter kl. 12:00 avhengig av hvor jorda er i banen sin.

Et resultat av dette er at når klokken viser 24 timer fra en dag til den neste, har solen gjort runden på 23 timer 46 minutter den 13. februar og 24 timer 16 minutter den 31. oktober. En viktig detalj har vi ved at det er 13–14 dager mellom vintersolverv, 21. desember, og perihelium, 3. januar. Denne detaljen gjør at analemmaen ikke er helt symmetrisk om en tenkt linje gjennom 21. juni/21 desember! Figur 1 viser solas forflytning på himmelen kl. 12:00 en dag i uken gjennom et helt år.

Sammenheng mellom analemma og tidsjevning

Vi kan strekke ut kurven over et helt år slik at x -aksen er dager fra 0 til 365 og at y -aksen viser hvor sent eller tidlig sola kommer i syd oppgitt i minutter. Da får vi en kurve som beskriver *tidsjevningen*. Tidsjevningen (equation of time) er forskjellen i tid mellom den sanne solens tid og middelsolens tid.

Middelsolen («the mean sun») er en tenkt sol som går med jevn hastighet i en sirkulær bane og som bruker 24 timer på en rotasjon – den som klokken er stilt etter. Den sanne sol («the true sun») er den virkelige solen og den går med variabel hastighet.

Tidsjevningen er tilnærmet gitt ved:

$$f(x) = -7,65 \sin\left(\frac{2\pi}{365,24}(x - 4)\right) + 9,59 \sin\left(2 \cdot \frac{2\pi}{365,24}(x - 80)\right) \quad (1)$$

der $x \in [0, 365]$ og er kurven markert med fet skrift på grafen under. Det første leddet,

$g(x) = -7,65 \sin(2\pi/365,24(x - 4))$, er bidraget til tidsjevningen som skyldes at jordas bane er elliptisk. Se graf markert rød. Det andre leddet, $h(x) = 9,87 \sin(2 \cdot 2\pi/365,24(x - 80))$, er bidraget til tidsjevningen som skyldes at jordas rotasjonsakse skråner med $66,5^\circ$ på jordbanens plan. Se graf markert blå.

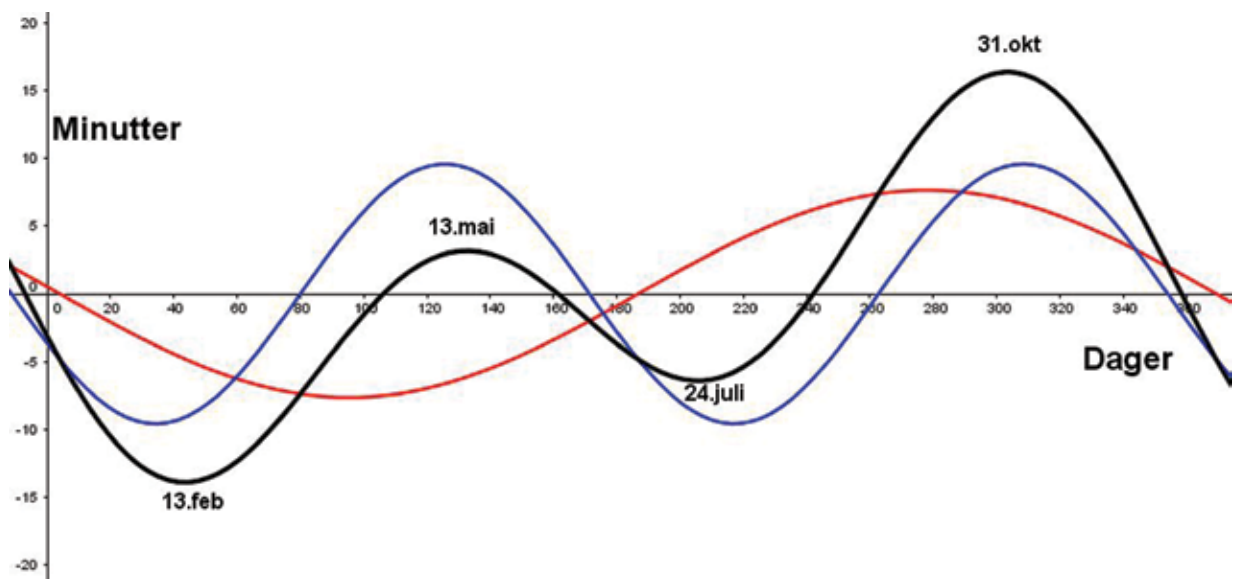
Laveste verdi er $f(x)_{\min} = -14$ minutter for $x = 44$ (13. februar) og høyeste verdi er $f(x)_{\max} = +16$ minutter for $x = 304$ (31. oktober)

Variasjonen i jordas banehastighet forårsaker den vannrette forflytningen i analemmaen. Denne forflytningen har igjen sammenheng med tidsjevningen – at det er forskjell i den sanne solas tid og middelsolas tid.

Etter vår modell har tidsjevningen fire nullpunkter og disse er $x = 103$ (13. april), $x = 161$ (10. juni), $x = 242$ (29. august) og $x = 358$ (24. desember). På disse datoene roterer jorda $360,985653^\circ$ på eksakt 24 timer. Datoene vil kunne variere noe fra år til år. En enkel versjon av tidsjevningen er $y = \sin x + \sin 2x$.

Litt analyse av ligning (1):

1. For $x = 4$ har vi 4. januar. Da står jorda nærmest sola. Kan også være den 3. januar.
2. For $x = 80$ har vi 21. mars og da er sola i vårjevndøgnpunktet. Årets lengde er tiden mellom to påfølgende passeringer av vårjevndøgnpunktet. At vårjevndøgnpunktet flytter seg østover, gjør ikke beregningene enklere!
3. Jorda beveger seg $0,9856^\circ/\text{døgn} = 360^\circ/365,24$. I radianer får vi $0,0172$.
4. $1,9713^\circ = 2 \cdot 0,9856^\circ$. I radianer får vi $0,0344$.



Figur 2. Rød kurve: Bidraget til tidsjevningen som skyldes at jordas bane er elliptisk. Blå kurve: Bidraget til tidsjevningen som skyldes at jordas rotasjonsakse skråner med $66,5^\circ$ på jordbanens plan. Svart kurve: Den totale tidsjevningsskurven.



Figur 3. Analemma på Skedsmo videregående skole.

Analemmaen er en vakker figur som kan være en kilde til undring, men også til en bedre forståelse av hvordan vi måler tiden her på jorda.

Analemmaen på Skedsmo skole

På sydveggen på Skedsmo VGS har vi satt opp et stativ med lengde på to meter ut fra veggen for å kunne måle solas posisjon på et bestemt klokkeslett (Figur 3). I enden av stativet har vi ei stoppskive. Når sola skinner kan vi se et bilde av solas gang over himmelen ved å studere stoppskivas skygge på veggen. På veggen vår avmerket vi solas posisjon kl. 13:30 normaltid og kl. 14:30 sommertid, det vil si kl. 12:30 GMT. Etter ett år og 64 avlesninger, hadde vi en nydelig analemma på veggen. Av den avleste analemmaen har vi laget en installasjon med 52 LED-lys til å markere figuren. 51 LED-pærer lyser rødt og en lyser gult. Den gule LED-pæren viser solas posisjon og flytter seg hver tirsdag. ■

Referanser

1. www.analemma.com viser veldig godt hvordan figuren analemma fremkommer.
2. <http://www.math.nus.edu.sg/aslaksen/projects/tsy.pdf> gir en matematisk tilnærming og som funksjonene i denne artikkelen er hentet fra.
3. Peter Duffett-Smith: *Practical astronomy with your calculator*. Cambridge University Press.
4. For øvrig er *Almanakken* et utmerket hjelpemiddel til å lese av «rundetidene» til sola.

Husk å melde
adresseforandring til
nfs.styret@gmail.com

Magnetoelektrisk materiale

Denne kategorien faste stoff er av betydeleg interesse for tida, både frå teoretisk og frå teknologisk synsstad. Magnetoelektrisk effekt kan opptrre i visse ordna magnetiske materiale som oppviser både tidsinversjons- og romleg inversjonssymmetri. Artikkelen drøfter effekten i metalloksid med såkalla korundstruktur, strukturen til aluminiumoksidmineralet korund Al_2O_3 .

Emil J. Samuelsen Institutt for fysikk, NTNU

Materialfysikk er ei interessant og givande grein av fysikken. Her finn ein krevande teoretiske utfordringar og mange fysiske effektar å forstå og beskrive, og også å utnytte teknisk. Ein kan skilje mellom konstruksjonsmateriale, brukt i berande konstruksjonar og i verktøy, og funksjonelle materiale, der dei *ibuande* eigenskapane blir nytta. Vi talar om elektrisk leiande eller isolerande materiale, halvleiarar, dielektrika, ferroelektrika, piezoelektrika, optiske og magnetiske materiale, men også om materiale med kombinerte eigenskapar. Her skal vi avgrense oss til å gi eksempel på *magnetoelektriske* materiale, og sjå kva som ligg bak ein slik kombinert eigenskap. Vi skal ofte nytte kortforma ME for magnetoelektrisk.

Magnetoelektrisk effekt

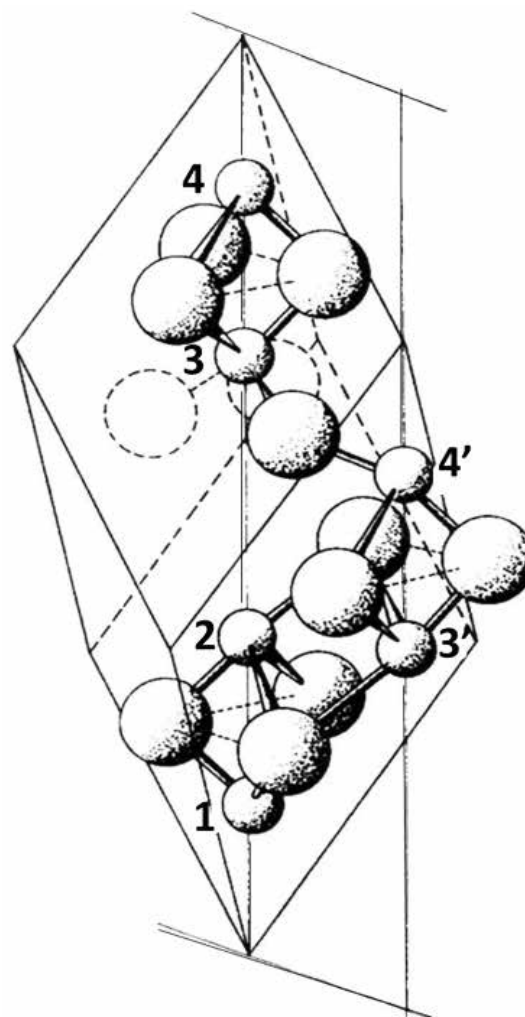
Effekten vart utvikla teoretisk i 1959 og påvist eksperimentelt for første gong i 1960. Han opptrer berre i materiale som er magnetisk ordna (ferri-, ferro- og antiferromagnetiske), men som i tillegg oppfyller bestemte symmetrikrav.

ME-effekten er karakterisert ved at elektriske felt (E) kan gi opphav ikkje berre til elektrisk polarisasjon (P), men også til magnetisering (M), og omvendt at magnetiske felt (H) induserer også

Krystallstruktur: Atoma sitt geometriske mønster som er periodisk i rommet.

Magnetisk struktur: Magnetisk moment til atom inntar faste geometriske ordningsmønster ved låg temperatur: Er parallelt innretta i ferromagnetar, og er vekselvis motsett retta i antiferromagnetar. Ved høg temperatur blir mønstret ødelagt; kvart stoff har sin karakteristiske overgangstemperatur.

Magnetoelektrisk effekt: Magnetfelt og elektrisk felt har begge både magnetisk og elektrisk effekt på materiale.



Figur 1. Trigonal repetisjonscelle til sesquioksidstrukturen. Store kuler: Oksygenion. Små kuler: Metallion. Metalliona er nummererte langs trigonal diagonal som 1, 2, 3, 4, og som 3' og 4' i ei tilgrensande celle. Strukturen har romleg inversjonssymmetrisentra i cellespissane og i cellesenteret. Cellekantane har lengder a_t og skeive vinklar mellom.

elektrisk polarisasjon i tillegg til magnetisering. På komponentform kan ME-effekten uttrykkast ved

$$M_k = \mu_0^{-1} \sum_l \alpha_{kl} E_l \quad (1)$$

og

$$P_i = \sum_j \alpha_{ij} H_j. \quad (2)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs}/(\text{A m})$ er magnetisk permeabilitet i tomt rom. Den magnetoelektriske koplinga α med komponentar α_{ij} , er den same i dei to uttrykka.

Det er kombinasjon av romleg og magnetisk symmetri som avgjer om magnetoelektrisk effekt kan eksistere eller ikkje i gitte materiale. Eg synest dette best kan illustrerast ved å sjå på to sentrale og velkjente materiale som begge er antiferromagnetiske (antiferromagnetisme blir forklart to avsnitt lenger framme) og tilsynelatande omtrent heilt like, men der små ulikskapar gjer det eine magnetoelektrisk, det andre ikkje.

Tabell 1. Liste med krystalldata over mykje studerte sesquioksid.

M_2O_3	Mineralnamn	$a_r/\text{\AA}$
Al_2O_3	Korund	5,120
Ti_2O_3	Tisaritt	5,427
V_2O_3	Karelianitt	5,472
Cr_2O_3	Eskolaidd	5,363
Fe_2O_3	Hematitt	5,424

Korundstrukturen

Korund er namnet på eit aluminiumoksidmineral med formel Al_2O_3 . Som naturleg mineral er det nokså vanleg førekommande mange stader på jorda. I rein form er det fargelaust eller kvitt; slikt kvitt korundpulver er råstoffet for aluminiummetallframstilling. Rubin er korund med små forureining av krom, som gir den raude fargen, og med forureining av litt titan får vi safir, som er blå. Korund er blant dei aller hardaste materiala vi finn i naturen, ofte rangert som det nest hardaste etter diamant.

Her skal eg omtale ei gruppe metalloksid som har same krystalstruktur som korund, men som likevel er berarar av ulike funksjonelle eigenskapar. Dei har kjemisk formel M_2O_3 , iblant kjent under det litt rare namnet «metall-sesquioksid» (ordet *sesqui* er latin og betyr «halvannan»). M er metallion og O oksygenion, som dannar ei tett kulepakking der metallionane går inn i visse mellomposisjonar. Strukturen er trigonal, som har tre like lange repetisjons-cellekantane med lengder a_r , med skrå vinkel mellom. Sjå illustrasjon i Figur 1, og Tabell 1. Stoffa nemnde i tabellen finst alle i naturen som mineral, med namn gitt i tabellen, jamvel om det berre er namna korund og hematitt som er godt kjente.

Som det framgår av tabellen har dei fire siste sesquioksida i tabellen nokså samanfallande geometrisk parameter. Densiteten er mellom 4,0 og $5,3 \text{ g/cm}^3$, og stig jamt med atommassen for metallionet M.

Desse materiala er mykje studerte og har mange og varierte eigenskapar. Al_2O_3 er mellom dei hardaste materiala vi kjenner. Ti_2O_3 er umagnetisk og er ein god isolator ved låge temperaturar, men utviklar gradvis metallisk leiingsevne når tempe-

raturen aukar til om lag 450 K. V_2O_3 har kanskje mest uventa eigenskap. Det er antiferromagnetisk og isolerande (som Fe_2O_3 og Cr_2O_3) ved låg temperatur, men ved 150 K aukar leiingsevna brått med ein faktor på *ein million*, samtidig som antiferromagnetismen blir borte! Denne brå endringa blir i blant kalla Mott-overgang, men den detaljerte fysikken bak fenomenet er berre delvis forstått.

Fe_2O_3 og Cr_2O_3 er eksempel på at enkelte eigenskapar i blant er knytt til små detaljar i strukturen til materialet. I det følgjande skal vi drøfte eigenskapar til desse to. Dei er isolatorar og antiferromagnetiske, og eitt av dei er magnetoelektrisk.

Antiferromagnetisme i Cr_2O_3 og Fe_2O_3

Fe_2O_3 er kjent som mineralet hematitt, ein betydeleg jernmalmkjelde, mellom anna med førekomst ved Storforshei i Dunderlandsdalen. Både hematitt Fe_2O_3 og eskolaidd Cr_2O_3 er gode isolatorar og er antiferromagnetiske.

Antiferromagnetisme betyr at elektronspinn eller det magnetiske momentet til Fe^{3+} -ionet i Fe_2O_3 og Cr^{3+} i Cr_2O_3 ikkje er parallelle som i ein ferromagnet (som jern og nikkel), men har alternerande retningar (antiparallelle). Med referanse til figur 1 er spinnretninga for iona 1, 2, 3, og 4 langs den trigonale diagonalen (vertikalt på figuren) alternerande «pluss» og «minus». Men der er ein viktig ulikskap mellom dei to ved at sekvensen av innretninga ikkje er den same. Rekna langs diagonalen er sekvensen $+- - +$ for Fe_2O_3 , men $+- + -$ for Cr_2O_3 . Korfor det er slik, og om det har betydning, blir drøfta lenger framme.

Den antiferromagnetiske ordninga blir borte ved temperaturar høgare enn overgangstemperaturar kalla *Néel-temperatur*, som er $T_N = 953 \text{ K}$ for Fe_2O_3 og $T_N = 308 \text{ K}$ for Cr_2O_3 . («Néel-temperatur» er kalla opp etter franskmannen Louis Néel, som fekk nobelprisen i fysikk i 1970 for å ha føresagt eksistensen av antiferromagnetisme).

Antiferromagnetisk ordning kan studerast eksperimentelt med spreining av nøytronstrålar frå kjernereaktorar. Nøytronstrålar kan også nyttast til å studere forstyrrelsar i spinnsystemet, såkalla spinnbølgjer. Spinnbølgjespektret inneheld detaljert informasjon om koplingskreftene mellom dei magnetiske iona. Eg gjorde slike studiar på eskolaidd og hematitt i min tidlege forskarkarriere [1,2]. Ettersom eksperimenta var særskilte krevande, har dei

Tabell 2. Koplingsparametrar mellom metallionane i Figur 1, bestemt frå spinnbølgjespektra [1,2]. Dei sterkaste koplningane er merka raude.

M_2O_3	Kopling 1-2/meV	Kopling 2-3'/meV	Kopling 3-4'/meV	Kopling 2-4'/meV
Fe_2O_3	1,25	0,35	-6,5	-5,0
Cr_2O_3	-11,3	-5,0	0,09	0,03

blitt ståande som arbeide det framleis blir referert til i faglitteraturen, der mellom anna koplingsparametrar vart bestemt. Dei er gitt i Tabell 2 nedanfor, der negative verdiar er antiferromagnetiske koplingar, og positive er ferromagnetiske.

Ein vil sjå av tabellen at antiferromagnetisk kopling dominerer i hematitt mellom Fe^{3+} -iona nummeret 3 og 4', og mellom 2 og 4' i Figur 1, og det forklarar spinnsekvensen $1^+2^-3^-4^+$ for Fe_2O_3 , mens $1-2$ og $2-3'$ -koplingane er veikare og får ikkje dominere med sin ferromagnetiske natur. Omvendt er antiferromagnetisk kopling mellom Cr^{3+} -iona 1 og 2, og mellom 2 og 3' dominerande i eskolaitt, og det forklarar sekvensen $1^+2^-3^+4^-$ for Cr_2O_3 .

Korfor dei første koplingane i tabellen dominerer i Cr_2O_3 og dei to siste dominerer i Fe_2O_3 , er meir subtilt, og er knytta til at Cr^{3+} -ionet har *tre* spinnberande ($3d$ -) elektron, mens Fe^{3+} -ionet har *fem*. Eg skal ikkje gå nærmare inn på dette her.

Magnetoelektrisk effekt i Cr_2O_3

Russaren Igor Dzialoshinskii foreslo i 1957 på teoretisk grunnlag at Cr_2O_3 skulle kunne oppvise magnetoelektrisk effekt, og eksperimentell påvising skjedde alt i 1960. Grundige målingar og analyse av Rado og Folen [3] i 1962 gav temperaturvariasjonen av magnetoelektrisk parameter (Figur 2), både ved bruk av elektrisk felt og magnetisk felt. I seinare litteratur er Cr_2O_3 rekna som kjerneeksemplet på magnetoelektrisk effekt. Teoretisk utleiing av parametrane gir at dei skal vere proporsjonale med produkt av magnetisk susceptibilitet og ordningsgrad («undergittermagnetisering») av enkeltspinna, den ordninga som forsvinn ved T_N .

Som ein ser, blir effekten borte for temperaturar over $T_N = 308$ K. Magnetoelektrisk effekt opptrer berre i materiale med magnetisk ordna struktur, og Cr_2O_3 er eit av dei få materiala som er magnetoelektriske ved romtemperatur. Men det er påfallande at effekten ikkje opptrer i Fe_2O_3 !

Magnetoelektrisk effekt og tidsinversjonssymmetri

Nøkkelen til å forstå skilnaden på dei to nesten identiske materiala ligg i dei ulike spinnsekvensane $1^+2^-3^+4^-$ for Cr_2O_3 og $1^+2^-3^-4^+$ for Fe_2O_3 , for dei representerer ulik magnetisk symmetri for dei to.

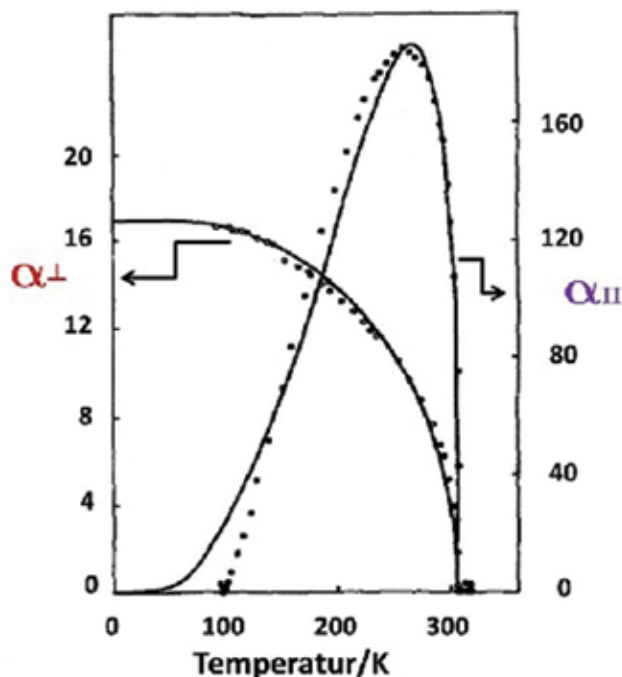
Eit romleg inversjonssenter (symbol I) beskriv at eit atom med koordinat (x, y, z) (målt frå inversjonssentret) har eit identisk «tvilling»-atom med koordinat $(-x, -y, -z)$. Begge materiala har slike sentra midt i cella (Figur 1), slik at til dømes metall 2 og 3 er romleg identiske, men ikkje nødvendigvis også magnetisk identiske. Magnetisme er i sin natur ein relativistisk effekt. Ein

magnetisk dipol (eller spinn) kan betraktast som ei ministraumsløyfe med dipolretning etter høgrehandsregelen: dipolen skiftar retning om straumen i sløyfa skiftar retning. Men skifte av straumretning svarar til å snu retning for tida. For magnetisme kjem altså spørsmål om *tidsinversjonssymmetri* (gitt med symbol R) inn.

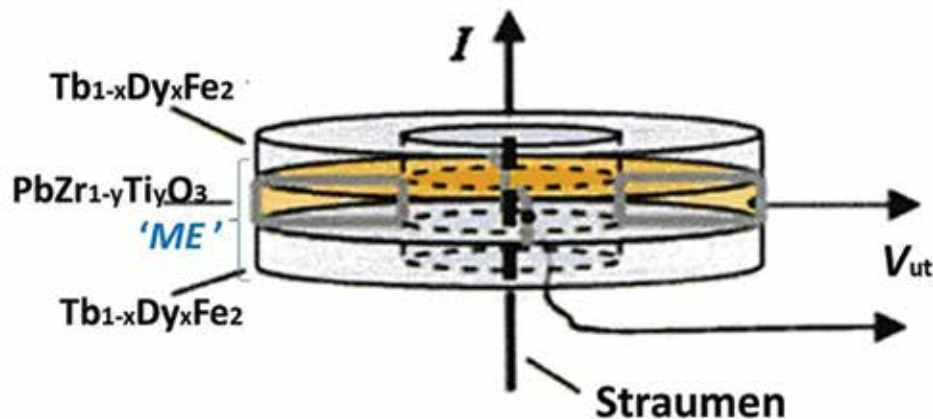
Mens magnetisk struktur for Fe_2O_3 har romleg inversjonssentra utan tidsinversjon, er struktur for Cr_2O_3 symmetrisk både romleg og ved tidsinversjon om same sentra, og er altså også fullt magnetisk symmetrisk (det vil si RI).

Fysiske eigenskapar kan berre eksistere i materiale som er invariante under symmetrioperasjonane. Magnetoelektrisk effekt er ein eigenskap som inneber samtidig elektrisk polarisasjon (ved at atom blir flytta ved feltpåvirking), og magnetisering (ved at spinninnrettinga kan bli endra ved feltpåvirking). Romleg inversjon I svarar til at ion 2 går over til ion 3, samtidig som tidsinversjon R gjer + til -, altså at 2^-3^+ -konstellasjonen (og 1^+4^- -konstellasjonen) er i samsvar med magnetisk symmetri, og slik gjer magnetoelektrisk effekt muleg i Cr_2O_3 . For Fe_2O_3 gjeld også I mellom 2 og 3, men R gjeld ikkje (mellom 2^- og 3^-).

Påtrykte ytre felt bryt symmetrien, både den romlege og den magnetiske.



Figur 2. Observert magnetoelektrisk effekt i Cr_2O_3 som funksjon av temperatur [3]. Målingane er med elektrisk felt som induserer magnetisering. Vertikalaksane er vilkårlige. Prikkaner er observasjonar; kurvene er teoretiske. α_{\perp} målt loddrett på hovudaksen; α_{\parallel} målt parallelt med hovudaksen. Same referanse gir også målingar med påtrykt magnetfelt, som gir elektrisk polarisasjon.



Figur 3. Ein samansett ME-ring av ferroelektrisk PZT ($\text{PbZr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$) og magnetisk terfenol-D ($\text{Tb}_y\text{Dy}_{1-y}\text{Fe}_2$) som straum-sensor. Straumen (vertikalt) induserer magnetfelt i den «kunstige» magnetoelektriske ringen, og ME-effekten gir ut elektrisk spenning V_{ut} mellom det indre og det ytre av ringen. (Basert på referanse [4].)

Symmetrien avgjer om ein gitt effekt er muleg eller ikkje. Men kor stor effekten er, og kva som er den mikroskopiske mekanismen, seier symmetri ingenting om.

Mekanisme for ME-effekt

Det finst mange arbeide over muleg mekanisme. Eg skal ikkje gå djupt inn i spørsmålet her, men nøye meg med å nemne at spinn-bane-kopling spelar ei sentral rolle i dei fleste teoretiske modellane. Spinn-bane-kopling («spin-orbit-coupling») betyr at det er kopling mellom *elektronspinn* \mathbf{S} og *banespinn* \mathbf{L} , som inngår i energioperatoren for systemet som $\mathbf{H}_{\text{s-o}} = \gamma \mathbf{L} \cdot \mathbf{S}$, med γ som ein koplingsparameter. Påtrykt elektrisk felt vil flytte litt på atoma i materialet, noko som påverkar banespinn \mathbf{L} , som så koplar over på elektronspinn \mathbf{S} , og elektronspinn er jo berar av magnetismen. Det omvendte skjer med påtrykt magnetisk felt.

Andre magnetoelektriske materiale

Eskolaidd, Cr_2O_3 , er prototypen på ME-materiale, men det finst fleire magnetiske materiale som oppfyller symmetrikrav for å kunne ha ME-effekt. Men mange av dei har magnetisk ordningstemperatur under romtemperatur og er slik sett ikkje aktuelle for eventuell teknisk utnytting av ME-effekten.

Her har materialforskinga gått i retning av å lage «kunstige» ME-materiale. Spesielt er det stor innsats på å framstille visse komposittar av dielektriske og magnetiske materiale, og på det viset få til kopling mellom eigenskapane i dei ulike materiala. Det er utvikla komposittar med ME-effektar som er 100–1000 gongar større enn for Cr_2O_3 . Også nanostrukturar i form av multilagsmateriale av dielektriske og magnetiske

materiale blir utvikla. For fleire detaljar viser eg til referanse [4].

Figur 3 illustrerer bruk av ME-effekt i eit instrument utvikla til måling av ultrasmå straumstyrkar.

Nytte av ME-materiale

Mange bruksområde for ME-materiale er blitt foreslått, der ein kan utnytte at elektriske felt kan styre magnetfelt eller omvendt. Men så langt eg har kunna finna ut, er få av forslaga realisert som kommersielle produkt til no. Eg nemner summarisk følgjande bruksområde: Sensorar for veike magnetfelt og for straumstyrkar (Figur 3); delar for gyratorar; mikrobølge-utstyr; filtrar; optiske fase-skiftarar; element for spinntronikk. Fleire detaljar kan ein finne under referanse [4]. ■

Referansar

1. E.J. Samuelsen, M.T. Hutchings og G. Shirane. «Inelastic Neutron Scattering Investigations of Spin Waves and Magnetic Interactions in Cr_2O_3 ». *Physica* 48 (1970), s. 13–42.
2. E.J. Samuelsen og G. Shirane. «Inelastic Neutron Scattering Investigation of Spin Waves and Magnetic Interactions in $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ». *Physica Status Solidi* 42 (1970), s. 241–256.
3. G.T. Rado og V.J. Folen. «Magnetoelectric effect in antiferromagnets». *Journal of Applied Physics* 33 (1962), s. 1126–1132.
4. C-W. Wen, M.I. Bichurin, S. Dong og D. Viehland. «Multiferroic magnetoelectric composites». *Journal of Applied Physics* 103 (2008), s. 031101-1–031101-35.

Leserinlegg: Unøyaktigheter om drivhuseffekten

Jeg kan gjerne innrømme det: Ettermiddagskaffen satte seg ørlite fast i halsen da jeg leste FFV-3/2016 – Solheim, Eriksen og Engebretsen (heretter SEE16). Ikke fordi jeg har noe mot at noen enkle eksperimenter med små drivhus får spalteplass – det er redaktørens sak. Det jeg reagerer på er «innpakningen» eksperimentene har fått. Selv om redaktørene på to plasser i bladet presiserer at innlegget ikke gjelder atmosfærens «drivhuseffekt», skriver SEE16 atskillig – og upresist – om den.

Arne Marius Raaen Malvik

Jeg vil gjerne forklare hvorfor jeg mener artikkelen burde vært bearbeidet mer før trykking.

Først litt kontekst: Professor Solheim er erklært «klimaskeptiker», og medlem i Klimarealistenes Vitenskapelige Råd. Professor Solheim mener endog at økningen i CO₂ i atmosfæren ikke skyldes menneskelige utslipp, men kan («a substantial part») forklares med avgassing fra havene [1].

Språkbruk

Begrepet «drivhuseffekten» (i bestemt form entall) er i dagens språkbruk klar: Det gjelder den atmosfæriske drivhuseffekten. Tilsvarende er «drivhusgasser» gasser som bidrar til «drivhuseffekten».

Bokmålsordboka åpner for bruk av «drivhuseffekt» også om det som skjer i vanlige drivhus, og Store Norske Leksikon har et eget oppslag om «Drivhuseffekt – byggeteknikk».

Så bruk av «drivhuseffekt» om det som skjer i et drivhus har presedens. Når SEE16 bruker «drivhuseffekten» om det samme, er saken mer uklar, og faren for misforståelse til stede. Det burde man unngått.

SEE16 gjør det til et poeng av atmosfæren ikke kan beskrives som et drivhus, og konkluderer med «Våre eksperimenter viser at det er feil å sammenlikne jordas atmosfære med et drivhus».

Her kan det være nyttig å konsultere en moderne lærebok i feltet. I *Principles of Planetary Climate* fra 2010 [2] leser man på side 5: «... is called the 'greenhouse effect'. The term ... in some ways is misleading, since real greenhouses do not work by blocking infrared emission.»

Bruken av «drivhuseffekten» om det som skjer i atmosfæren er altså en abstraksjon («broader metaphor» [2]), og å bruke plass på å argumentere om at analogien er dårlig er etter min mening som å utfordre fargene i kromodynamikken.

SEE16 viser to ganger til «Gerlich og Tschuschners grundige analyse», der det hevdes at «drivhuseffekten» og «drivhusgasser» er «bevisst feilaktige begreper».

Historisk kan en merke seg at Arrhenius selv skal ha brukt begrepet «Drivbänk» [3], og at «Greenhouse effect» ble brukt av Poynting i allerede i 1907 [4]. At Arrhenius og Poynting for over 100 år siden skulle bruke manipulerende begreper faller på sin egen urimelighet.

De som ønsker en analyse av Gerlich og Tschuschner kan sjekke den mest fysikktunge klimabloggen på nettet, *scienceofdoom.com*.

Om forsøkene

CO₂ sitt bidrag til drivhuseffekten er knyttet til to vibrasjonsmoder, rundt henholdsvis 5 µm og 15 µm, hvorav den siste er den mest betydningsfulle [2,5].

Solstråling har liten relativ intensitet i området. Atmosfæren vil dessuten absorbere effektivt i de aktuelle frekvensområdene. Den kunstige kilden som ble brukt hadde et filter som fjernet IR over 0,8 µm (SEE16, side 80).

Eksperimentene ble med andre ord gjort med lys som ikke er forventet å vekselvirke mer med CO₂ enn med de andre gassene. Skal man teste effekten av CO₂, trenger man en kilde som øker intensiteten ved 5 og 15 µm vesentlig over bakgrunnsnivået.

En beskrivelse av hva som skjer i eksperimentene må da bli: Synlig og infrarødt lys absorberes av



den svarte bakplaten i boksene, og luften varmes deretter via konveksjon og varmeledning. Burde ikke da resultatene vært analysert ut fra eventuell påvirkning av CO₂ på disse størrelsene?

Utendørseksperimentene ble utført en fin septemberdag med 15 °C i skyggen, og man målte opp til 60 °C inne i dem. Likevel vises det til at dugging på innsiden av plastikken må bety at temperaturen rett under plastikken var 3 °C, basert på en beregning av duggpunkt. Men det går da ikke an? Det er vel rimelig klart at her har man hatt fuktighet i materialene i drivhusene, som har forhøyet duggpunktet betydelig.

Tilleggsinformasjonen

SEE16 krydrer artikkelen med litt «informasjon» om den atmosfæriske drivhuseffekten. I slike tilfeller har jeg en sterk forventning i tidsskrifter av *FFV's* type: *Sidekommentarene skal være anerkjent fysikk*. Ønsker man å fremme andre ideer bør det være full åpning for det, men da må man være helt klar på at det man presenterer ikke er «mainstream», og begrunne sitt syn.

Det informeres på side 79 – uten referanse – at CO₂ sin andel av drivhuseffekten er 5,6 %. Man spør seg umiddelbart – hvordan kan man bestemme det med slik presisjon? Sjekker man andre publiserte arbeider, finner man da også andre tall: Schmidt et al. [6] oppgir for eksempel 19–24 % avhengig av skyer. CO₂ sitt bidrag kan altså være fire ganger så stort som SEE16 sier.

På side 80 oppgis «klimafølsomheten» til 0,6 °C for dobling av CO₂, basert på en to-lagsmodell. Det tør være kjent at Klimapanelet opererer med 3 ± 1,5 °C. Å framsette 0,6 °C uten forbehold blir da uakseptabelt.

Konklusjon

Artikkelen burde ikke vært publisert i den form den fikk.

Det kan innvendes at dette ikke er noen stor sak. En utdannet fysiker lar seg vel for eksempel ikke imponere av en påstand som (side 78) «Resultatet av Arrhenius' beregninger ble umiddelbart motbevist ... av Wood». Man kan da ikke motbevise noe som helst om atmosfærisk drivhuseffekt ved å se på vanlige drivhus!

Men man må også ha den utvidete leserkretsen i tankene. Skoleelever må få slippe å lese i *FFV* at

- det kan bli 3 °C i et drivhus som står ute i sola i 15 °C,
- klimafølsomheten er 0,6 °C når det anerkjente tallet er usikkert, men større,
- CO₂ er en lite viktig klimagass (5,6 %) når det anerkjente tallet er 3–4 ganger så stort.

Appendiks: Kan avgassing fra varmere hav forklare CO₂ økningen?

Det er allerede alt for mange «halvstuderte røvere» som mener noe om klimavitenskapen. Jeg skal derfor ikke prøve å gi et svar på spørsmålet, men heller peke på tre punkter som burde vært diskutert og avklart før man framsetter en slik påstand.

- Fra iskjernepøver har man gode tall for temperatur og CO₂-nivå under istidene. CO₂ varierte med omtrent 100 ppm, mens temperaturen varierte med 5–6 °C. Det antyder mindre enn 20 ppm per grad.
- Henrys lov og den tilhørende bikarbonatlikevekten er viktige for fordeling av CO₂ mellom atmosfæren og havene. Temperaturavhengigheten kan tilnærmes med Arrhenius' likning. Setter man inn tall finner man at de er rimelig konsistente med observasjonene fra istidene. Man bør her merke seg at Henrys lov er en likevektslaw, og at likevektstiden må være mer enn 30–40 år – så for så korte tider vil Henrys lov overestimere potensialet.
- Konvensjonelt antar man at omtrent halvparten av våre utslipp fortsatt er i atmosfæren, mens den andre halvparten har fordelt seg mellom havene og biosfæren. Vil man hevde at økningen skyldes avgassing fra havene, må man presentere en alternativ beskrivelse av hvordan CO₂ fordeler seg.

Takk

Jeg takker begge redaktørene for mange nyttige kommentarer.

Referanser

1. O. Humlum, K. Stordahl, J-E. Solheim. «The phase relation between atmospheric carbon dioxide and global temperature». *Global and Planetary Change* 100 (2013), s. 51–69, doi:10.1016/j.gloplacha.2012.08.008
2. R.T. Pierrehumbert. *Principles of Planetary Climate* (2010). Cambridge University Press
3. Wikipedia. «Växthuseffekten». 1. februar 2017. Internettadresse: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Växthuseffekten>
4. J.H. Poynting. «On Prof. Lowell's Method for Evaluating the Surface-temperatures of the Planets; with an Attempt to Represent the Effect of Day and Night on the Temperature of the Earth». *Philosophical Magazine* 14 (1907), s. 749–760
5. R.T. Pierrehumbert. «Infrared radiation and planetary temperature». *Physics Today* (2011), January, s. 33–38.
6. G.A. Schmidt, R.A. Ruedy, R.L. Miller, A.A. Lacis. «Attribution of the present day total greenhouse effect». *J Geophys. Res.* 115 (2010), D20106, doi:10.1029/2010JD014287



Justas Zalieckas
Universitetet i Bergen

Justas Zalieckas forsvarte 21. november 2016 sin avhandling «Determination of the ratio of b-quark fragmentation fractions f_s/f_d and study of the Higgs boson production and couplings with the ATLAS detector in pp collisions» for Ph.D.-graden ved Universitetet i Bergen.

Atomkjerner består av protoner og nøytroner, som igjen består av elementærpartikler kalt kvarker. Det finnes seks kvarktyper, som alle har ulik masse. Kvarker vil alltid binde seg sammen og danne partikler, og slike bindingsprosesser kan observeres i proton-proton (pp) kollisjoner. Den kraftigste pp-akseleratoren i verden er Large Hadron Collider (LHC) ved CERN. Det er her ATLAS- og CMS-eksperimentene finner sted.

Den såkalte b-kvarken kan binde seg til en lettere kvark og slik danne et B-meson. B-mesoner er ustabile og henfaller til andre partikler. Det er vanskelig å beskrive bindingsprosessene teoretisk og slik forutsi sannsynligheten for at en b-kvark skal binde seg til en annen kvark. Derfor må slike prosesser måles eksperimentelt, og i avhandlingen diskuteres målinger av slike prosesser ved ATLAS-detektoren på LHC. Målingene gjøres ved å studere henfall av to ulike B-mesoner.

Målet til LHC er å undersøke egenskapene til elementærpartikler og teste ulike teories forutsigelser. Én av teoriene postulerte eksistensen til Higgs-bosonet, som er ansvarlig for at alle andre partikler får masse. Etter mange års søk ble Higgs-bosonet oppdaget av ATLAS- og CMS-eksperimentene i 2012. Higgs-bosoner kan produseres via mange ulike mekanismer i pp-kollisjoner ved LHC. Fenomener fra ny, så langt ukjent, fysikk kan påvirke produksjonsratene til Higgs-bosoner. Følgelig omhandler avhandlingen

også målinger av Higgs-bosonets produksjonsrater og dets koplinger til ulike partikkeltyper.

Justas Zalieckas er født i 1983 i Litauen. Han fullførte mastergraden i fysikk ved Universitetet i Bergen i 2012. Siden august 2012 har han arbeidd som ph.d. stipendiat ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen, under rettleiing av professor Gerald Eigen og professor Bjarne Stugu.

Zalieckas har nå fått innvilget et prosjekt finansiert av Norges forskningsråd, og administrert av Bergen Teknologioverføring (BTO) «A new Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition (MPCVD) technology for diamond coating». Målet er å utvikle og bygge en stor MPCVD reaktor med en ny type koplingsteknologi basert på mikrobølgestråling for skalerbar prosessering av diamantbelegg. ■



Anders Haarr
Universitetet i Stavanger

Anders Haarr forsvarte 1. desember 2016 sin avhandling «Electroweak Baryogenesis in Scalar Extensions of the Standard Model and I-degenerate pseudo-Riemannian Metrics» for Ph.D.-graden ved UiS.

Den såkalte *standardmodellen* forklarer hvordan alt i universet er bygget opp av tolv grunnleggende partikler (fermioner, eksempelvis elektroner) som samhandler ved hjelp av fem vekselvirkningspartikler (bosoner, eksempelvis fotoner).

Anders Haarr har i sitt doktorgradsarbeid sett nærmere på modellen som ble «allemannseie» da den såkalte Higgspartikkelen ble påvist i den underjordiske partikkelakseleratoren ved CERN i Geneve i 2012.

Et fundamentalt spørsmål i kosmologi er hvorfor alle astrofysiske objekter består av partikler – når de i prinsippet like gjerne kunne bestått av antipartikler. Det viser seg at en slik asymmetri mellom partikler og antipartikler kan oppstå i det meget tidlige universet, om det skjedde en såkalt faseovergang; i prinsippet som når vann koker.

Det viser seg også, at hvis standardmodellen er «det hele», så kan en slik faseovergang ikke ha funnet sted. Dermed er den observerte asymmetrien bevis på at standardmodellen må utvides med «noe mer»! Anders Haarr har sammenholdt de nyeste data fra CERN med kravet om en faseovergang, og undersøkt om «noe mer» kan være flere Higgs-partikler enn den vi har oppdaget.

At vi nå allerede fire år etter at Higgs-partikkelen ble oppdaget har nok data til å utelukke eller oppdage flere Higgs-partikler, vitner om hvordan forskerne og ingeniørene ved CERN har lyktes med å tune, forfine og oppgradere detektorer og akseleratorer.

Doktorgradsstudiet er foretatt ved Universitetet i Stavanger, Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet. Veileder har vært professor Anders Tranberg og medveileder Sigbjørn Hervik. ■



Asgeir Osland
Universitetet i Stavanger

Stipendiat Asgeir Osland forsvarte 2. desember 2016 sin avhandling «Kvantekorreksjoner i noen inflasjonsmodeller» for PhD-graden ved UiS.

De første 400 000 år etter Big Bang var universet så kompakt at lys ikke kunne bevege seg fritt. Deretter ble universet gjennomskiktig. Strålingen

fra den tiden kan observeres i dag og kalles den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Temperaturen i strålingen er svært lik i alle retninger på himmelen. Med små variasjoner er den nå på 2,7 Kelvin. Det at denne strålingen er så lik i alle retninger, tyder på at de ulike retningene på himmelen en gang har vært i kontakt med hverandre. Dette kan forklares med at universet i en liten brøkdel av det første sekundet hadde en periode med akselerert ekspansjon. Denne fasen kalles inflasjonsfasen. I starten av inflasjonsfasen var ekspansjonsfarten liten og avstandene små, og hele det synlige univers kommer fra et område som da var kausalt forbundet. Dette førte til den observerte isotropien i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.

Man antar at et skalarfelt driver den akselererte ekspansjonen ved at det forårsaker frastøtende gravitasjon, noe som ikke eksisterer ifølge Newtons gravitasjonsteori. En må derfor bruke generell relativitetsteori for å beskrive dynamikken til feltet og den kosmiske ekspansjonen. Siden bakgrunnsstrålingen er så lik i alle retninger, antar man i beregninger ofte at geometrien, som beskrives av den generelle relativitetsteorien, er lik overalt i det tidlige universet. Osland trekker i sin avhandling inn små fluktasjoner i geometrien og undersøker hvilken effekt disse har for dynamikken til skalarfeltet.

På et grunnleggende nivå blir alt stoff i naturen beskrevet av kvantefysikk. I kvantefysiske beregninger ender en ofte opp med divergerende uttrykk som en må relatere til fysiske størrelser. Dette kalles renormalisering. I avhandlingen presenterer Osland en forbedret beregning for en kvantefysisk renormalisering i det tidlige universet.

Osland benytter kvantefysikk for å hjelpe oss med å forstå inflasjonen på et grunnleggende nivå. Dette vil gi informasjon til fremtidige presisjons-observasjoner og beregninger av det veldig tidlige universet.

Doktorgradsstudiet er foretatt ved Universitetet i Stavanger, Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet. Veileder har vært professor Anders Tranberg og medveileder professor Per Amund Amundsen. Asgeir Osland er nå lektor på Dalane videregående skole. ■



Carl Angell

70 år

Naturfagdidaktikk som fagområde i Norge startet ved Skolelaboratoriet på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Her var velkjente navn som Otto Øgrim, Helmut Ormestad, Svern Lilledal Andersen, Svein Sjøberg og Anders Isnes viktige aktører i tidlige faser. Men den som har sittet lengst ved roret er professor (nå emeritus) Carl Angell, som rundet 70 år den 11. november 2016. Han har styrt Skolelaboratoriet fra å være service-avdeling for skoler til dagens status som forskningsseksjon for fysikkdidaktikk.

70-årsjubileet ble markert med et fysikkdidaktikk-symposium ved Fysisk institutt den 18. november. Det var et program i jubilantens ånd – faglig, humoristisk og med gleden over fysikkfaget i sentrum – med bidrag fra en rekke fagkolleger fra fjern og nær. Jubilanten selv holdt et glitrende foredrag om fysikkdidaktikkens historie fram til i dag. Symposiet ble en feiring av fysikkdidaktikk som undervisningskunst og som forskningsfelt – men først og fremst var det en feiring av Carl og hans innsats for fagområdet.

Gjennom sine nærmere 30 år ved Skolelaboratoriet har Carl Angell arrangert etter- og videreutdanningskurs for lærere, veiledet master- og PhD-studenter, og undervist blivende



Emil J. Samuelsen

80 år

Emil Johannes Samuelsen, professor emeritus ved Institutt for fysikk, NTNU, fylte 80 år den 11. januar. Samuelsen ble født i Lyngen i Troms i 1937. Etter sivilingeniørgrad i fysikalsk kjemi fra NTH i 1960 og militærtjeneste ved FFI ble han ansatt ved IFE. Han forsvarte graden dr. philos. i fysikk ved Universitetet i Oslo i 1971 på en studie av faseoverganger i magnetiske materialer ved hjelp av uelastisk nøytronspredning. Fra 1976 har han vært ansatt på NTH, senere NTNU, ved Institutt for fysikk.

Spektroskopi og diffraksjonsteknikker basert på lys, røntgen og nøytroner har vært hans viktigste forskningsverktøy gjennom hele karrieren, anvendt på ulike lav-dimensjonale systemer. To-dimensjonale magnetiske systemer og senere tynne polymerfilmer, som forøvrig nylig har fått anvendelser som felteffekt-transistorer og lys-emitterende dioder, er vesentlige høydepunkt.

Samuelsen var den første som eksperimentelt demonstrerte Lars Onsagers teoretiske løsning av

fysikklektorer. Han har vært involvert i TIMSS-undersøkelsen av norske fysikkelevers kunnskaper (bl.a. gjennom doktoravhandlingen fra 1996), forsket på elevers og studenters forståelse, motivasjon og læring innen fysikk, arrangert Fysikkolympiaden, og utviklet og prøvd ut læremateriell knyttet til bl.a. matematisk modellering og til kvantefysikk og relativitetsteori. En håndfull fag- og lærebøker har han også på samvittigheten.

Han var sentral i etableringen av Norsk fysikklærerforening i 1994 og har siden den gang fungert som generalsekretær i foreningen.

Carl Angell er et nav som mye av fysikkdiraktikken i Norge dreier seg rundt. Han er i kontakt med det meste som rører seg blant fysikklærere og fysikere med interesse for undervisning i landet vårt. Dette har han oppnådd blant annet gjennom landskonferansene for fysikkundervisning som Fysikklærerforeningen har arrangert siden 1990-tallet, senest i København i 2016 i samarbeid med den danske søsterforeningen.

Du kan ta Carl Angell ut av klasserommet, men du kan ikke ta klasserommet ut av Carl Angell. Carls hjerte for fysikkundervisning ligger utenpå, og han har satt sitt tydelige preg på kulturen både i Fysikklærerforeningen og ved Skolelaboratoriet/

Seksjon for fysikkdiraktikk. Det er en kultur preget av humor, entusiasme og glede, raushet og samarbeid, fokus på kvalitativ forståelse av fysikken så vel som på regneferdigheter, og respekt for elever og lærere. Carl har alltid vært kompromissløs på at fysikkdiraktikk skal være nær faget, og nær eleven. Han innførte «dagens forsøk» på Skolelaboratoriet – alle økter skal inneholde et forsøk, helst flere. Utallige elever, lærere og studenter har sett Carl demonstrere rotasjonsmekanikk mens han forteller om den skjøre, verdifulle koppen av kinesisk porselen han har dinglende i en snor. De har sett ham koble opp elektriske kretser der spikre tar fyr, selv ved lav spenning. Sånn sett kan ingen ta Carl helt ut av klasserommet. Lærerne han har utdannet, elevene han har inspirert, bøkene han har skrevet og kollegene han har engasjert vil sørge for at Carl er til stede i norske fysikk-klasserom i lang tid. Vi gratulerer vår alltid støttende og konstruktive kollega med dagen og takker for samarbeidet – så langt.

*Ellen K. Henriksen, Cathrine W. Tellefsen,
Maria Vetleseter Bøe og Arne Auen Grimenes*

den to-dimensjonale Ising modellen. Han siteres også fortsatt hyppig for sine arbeider på filmer av organiske halvledere, hvor han var blant de første til å bruke synkrotronstråling tidlig på 1990-tallet. Samuelsen hadde i mange år en framskutt rolle opp mot European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), synkrotronen i Grenoble, hvor Norge fortsatt er aktivt medlem. Samuelsen har undervist ved NTNU på alle nivåer fra lavere grads kurs i grunnleggende elektromagnetisme til doktorgradskurs i spredningsteori. Han har utdannet om lag ti doktorgradstudenter og har i årenes løp også påtatt seg mange administrative oppgaver. Samuelsen er medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab og Norges Tekniske Vitenskapsakademi.

De senere årene, som professor emeritus, har Emil fortsatt å være til berikelse for miljøet ved Institutt for fysikk, ikke minst som flittig brukt sensor til studentoppgaver og eksamensbesvarelser. Vi setter stor pris på det gode og alltid konstruktivt kritiske samarbeidet med Emil.

I tillegg til omfattende vitenskapelig produksjon med ca. 140 vitenskapelige avhandlinger, har Emil også vært en aktiv formidler. Han har skrevet et stort antall populærartikler, ikke minst i *Fra Fysikkens Verden*. Emil Samuelsen har vært redaktør av *Fra Fysikkens Verden* fra 2013 sammen med en av de undertegnede (ØG). Han har arbeidet med stort engasjement og energi.

Emil Samuelsen har også dyrket en rekke andre interesser opp gjennom årene, ikke minst innen språk og lokalhistorie. Han har vært meget opptatt av orientering, men helsa har vel nå satt en stopper for løping i ulendt terreng.

Vi gratulerer Emil J. Samuelsen med 80 år og ønsker ham fortsatt mange gode og aktive år!

Dag W. Breiby og Øyvind G. Grøn



Jens Lothe

(1931–2016)

Professor Jens Lothe døde 25. september 2016, nær 85 år gammel. Han var en ruvende skikkelse i internasjonal faststoffysikk. Han var en god kollega og venn, og han var selve forbildet på lærer, forsker og vitenskapelig leder for mange. Han var den som alltid hadde omsorg for alle. Han søkte aldri administrativ makt, men ville være, og han ble, den inkluderende og faglig dyktige ombudsmannen for forskningsgruppen Faste stoffers fysikk på Blindern. Han kjente forskningstemaene til de aller fleste av oss gjennom sin brede og dyptpløyende faglige innsikt.

Lothe ble født i Oslo 25. november 1931. Familien flyttet like etter til Elverum hvor han fikk sin oppvekst og skolegang fram til Examen artium i 1950. Deretter ble han utvekslingsstudent ved Coe College, Iowa, USA før han begynte å studere realfag på Blindern høsten 1951 med fysikk som hovedfag. På bare fire år fullførte han cand.real.-studiet med fire bifag og hovedoppgave i akustikk, «A theoretical investigation of sound transmission through horns of small flare, with special emphasis on the exponential horn».

Faste stoffers fysikk hadde etter krigen blitt et eget stort forskningsfelt i hele den vestlige verden. Lothes hovedfagsveileder, professor Johan P. Holtsmark, var fortvilet over at relevant aktivitet manglet i Norge.

Holtsmark fikk Lothe til å omskolere seg til Faste stoffers fysikk, og sendte han til University of Bristol, Theoretical Solid State Physics. Her arbeidet flere av feltets pionerer og også ambisiøse stipendiater, blant dem John P. Hirth fra USA, som Lothe seinere skulle ha et tett samarbeid med.

Jens Lothe har bidratt med mange og fundamentale originale arbeider på tre så forskjellige felt

som statistisk fysikk, teorier for strukturelle feil i krystallinske faste stoffer (dislokasjoner) og teorier for bølger i elastisk anisotrope krystaller. Dette er imponerende og uvanlig blant våre samtidige nå.

Få norske fysikere har kjennskap til innholdet i hans vitenskapelige produksjon, som faller utenfor den tids norske «mainstream». Internasjonale fagfeller inkluderer imidlertid han som tilhørende den absolutte eliten innenfor alle tre feltene. Hans internasjonale orientering vises tydelig ved at 90 av hans 117 publiserte arbeider har utenlandske medforfattere; 10 av disse er stipendiater (fra India, Iran, Japan, Kina, Sverige og USA) som han veiledet her i Oslo. Han publiserte også flittig sammen med sine norske stipendiater, men aldri med noen norsk seniorfysiker etter hans eget hovedfagsarbeid.

Lothe oppsøkte fysikere med interessante ideer og som arbeidet på de feltene han selv var mest opptatt av, og dem fant han bare i utlandet. Ved University of Bristol i 1957–58 møtte han den jevnaldrende amerikaneren John P. Hirth, som han samarbeidet med siden, og de to og deres familier ble venner for livet. Sammen skrev de boken *Theory of Dislocations* (1968). Den har blitt en klassiker på feltet og er oversatt til mange språk, men den har bare hatt en mindre revisjon (1982) på 50 år. Boken som nå kommer i revidert utgave, er i utstrakt bruk i undervisning og forskning verden over.

Allerede som ung hadde Jens fått internasjonal status og det førte ham til USA som gjesteprofessor. Først to år ved Carnegie-Mellon i Pittsburg fra 1960 til 62 i samarbeid med professor G.M. Pound (som like etter kom til Stanford), og dernest ett år (1965–66) hos John Hirth som nå var blitt professor ved Ohio State University i Columbus. Under Carnegie-Mellon-oppholdet og fram til omkring 1970 samarbeidet Jens med mange amerikanske fysikere. Her nevnes bare professor Ken Russel (MIT i Boston) og professor David Barnett ved Stanford University. Han arbeidet med dem enkeltvis på de tre hovedfeltene sine. Hirth, Pound, Russel og Barnett har hatt flere samarbeidsopphold her i Oslo, og samarbeidet førte til over 50 publiserte arbeider.

I denne perioden var Lothe svært sentral i byggingen av forskningsmiljøer på Blindern. Han drog sine tidlige hovedfagstudenter Torstein Jøssang og Jens Feder med i samarbeidet med amerikanerne. Sammen med Jens Lothes sin første hovedfagstudent, Bjarne Nøst, ble vi alle nære faglige kolleger med ansettelse på Faststoff-gruppa til pensjonsalder. Jens Lothe var utvilsomt hoveddrivkraften bak suksessen til denne gruppa og han

var også «jordfar» til forskningsgruppa Kooperative Fenomen som fikk toppkarakterer i den store internasjonale NAVF-evalueringen av norsk fysikk mot slutten av 1980-tallet.

På 1960-tallet ble Lothe fascinert av noen interessante arbeider fra sovjetiske vitenskapsmenn. At han i den forbindelsen like godt lærte seg russisk ved selvstudier for å kunne lese originalarbeidene (engelsk oversettelse manglet helt eller kunne ta mange år), forteller om Jens sin grundighet. På den tiden kunne russerne ikke reise på konferanser i utlandet, så Jens brakte resultatene deres til den engelske språkkrets. Derved utviklet han fra 70-tallet et svært fruktbart samarbeid med flere sovjetiske akademiprofessorer, her nevnes bare V.L. Indenbom og V.I. Alshits, som resulterte i mange tidsskriftartikler i egne kapitler i bøker. Alshits besøkte Jens hjemme i Bærum uken før hans død. Deretter skrev han i en minneartikkel¹: «[Jens] remained mentally alert almost to the end. On September 17, 2016, nine days before his death, he explained something to [me] who had visited him at hospice in Oslo. In order to be correctly understood, Jens repeated his statement to [me] in quite correct Russian. That was Jens Lothe! It was such a pleasure to collaborate with this outstanding scientist and to enjoy his friendship.»

De aller fleste arbeidene som er vist til ovenfor, omhandler dislokasjoner og elastiske bølger i faste stoffer, og på dette feltet ligger hoveddelen av forskningen og resultatene som Lothe har produsert etter 1970. Både reelt fysisk og formelt matematisk er det en nær forbindelse mellom dislokasjoner i bevegelse og overflatebølger i anisotrope elastiske materialer. Han utviklet selv metodene for å angripe mange grunnleggende og uløste problem på dette feltet.

I matematiske spørsmål fikk han senere hjelp av professor P. Chadwick, FRS, ved School of Mathematics, University of East Anglia, UK, som i monografien *Foundations of the Theory of Surface Waves in Anisotropic Elastic Materials* (1977), reformulerte Jens sine tidligere arbeider i en omfattende og matematisk formelt stødig teori, som imidlertid ikke ledet til nytt fysisk innhold eller resultater. Dette utviklet seg til videre samarbeid dem imellom.

I 1980 samarbeidet Lothe med professor Per Holm, Matematisk institutt ved UiO, i en – for fysikere begrepsmessig vanskelig – studie av topologien til elastiske bølgers polarisasjonsfelter på enhetskulen. Dette viser nok en gang Lothe sin grundighet og hans streben for å forsikre seg om at arbeidene hans tåler kritiske etterprøvelser og undersøkelser av andre. Holm var eneste norske senior Jens publiserte med.

Lothe veiledet mange hovedfagstudenter og viderekomne stipendiater. Han hadde oftest selv en skisse til løsningsstrategi i hodet når han formulerte prosjektet, og han kunne også forutse kvalitative resultater, men dette meddelte han aldri til studentene. Han fulgte imidlertid nøye med i arbeidet, og hvis studenten/stipendiaten kom opp med originale bidrag til løsningen, ble han definert som hovedforfatter og måtte stå for skrivning og framdrift. Jens hadde således evnen til å stimulere sine studenter og gi dem æren, selv om hans egne skjulte bidrag oftest var viktigst.

I sine forelesninger maktet Jens å presentere de begrepsmessig vanskeligste tema i fysikken, som oftest også var matematisk krevende, på en måte som ga de fleste studentene ektefølt innsikt og aha-opplevelser. Til dette ble studentene også både motivert og inspirert av Lothe sine energiske fakter og intense, nesten hypnotiserende blikk mot auditoriet mens han skrev med så stor kraft på tavlen at krittskyen sprutet over så vel hår, ansikt og klær. Gjennom 40 år er det kommet tallrike tilbakemeldinger fra studenter på alle nivåer som alltid evaluerte Lothe til å være blant de ypperste formidlere av fysikkfaget, og spesielt av det som var begrepsmessig vanskeligst.

Jens Lothe er innvalgt medlem i Det Norske Videnskaps-Akademi i 1972 og samme år ble han tildelt Fridtjof Nansens belønning for fremragende forskning.

Jens mistet sin kjære Elisabeth i 2015 etter 55 års ekteskap. Da fikk barna Jakob, Lars og Solveig og familiene deres all hans store og altomfattende omsorg. Våre tanker er hos dem.

Vi takker Jens sine tre barn for til å lov til å bruke fotografiet fra 2015 av Jens her.

Torstein Jøssang, Jens Feder og Bjarne Nøst

¹ Torstein Jøssang, John P. Hirth, Vladimir I. Alshits, David M. Barnett: «Remembrances of Jens Lothe» (1931–2016), *Wave Motion* 69, 1, 2017. Professor David Barnett, Stanford University tok initiativ til denne minneartikkelen som ble sendt til *Wave Motion*. Nå vil redaktøren publisere artikkelen vår på redaksjonell plass (side A1 til A8) i marsnummeret. Det er en stor internasjonal æresbevisning til Jens. FFV-minneartikkelen her er et sammendrag av *Wave Motion*-artikkelen.



Jakob Sandstad

(1920–2016)

Tidligere førsteamanuensis ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Jakob Sandstad, døde 3. desember 2016. Jakob Sandstad ble født i Kina av misjonærforeldre 23. mars 1920, men vokste opp i Norge. Sandstad hadde sin utdanning fra NTH i Trondheim, Linje for teknisk fysikk, og ble ansatt som vitenskapelig assistent ved Fysisk institutt, UiO, i 1947. Han ble senere amanuensis og førsteamanuensis, og i mange år ledet han Elektronikklaboratoriet som utviklet avanserte måleinstrumenter for de eksperimentelle forskningsgruppene ved instituttet. Sandstad var ingeniør til fingeressene, praktisk innrettet og alltid hjelpsom. I tillegg til sine praktiske evner hadde han stor teoretisk innsikt både når det gjaldt faglig bredde og dybde. Han kunne på stående fot alltid svare utfyllende på ethvert faglig spørsmål. Innsikten han hadde i sitt fag, gjorde at han kunne gi studentene grundige forklaringer og samtidig vise til praktiske konsekvenser.

Sandstad virket i en tid hvor elektronikken var i rask teknologisk utvikling, fra rørteknologi til halvlederkomponenter og til integrerte kretser. Studentene fikk følge med på denne spennende utviklingen ved hovedfagsoppgaver hvor de siste nyvinninger innen elektronikk skulle prøves. Hans engasjement for faget kom blant annet også til uttrykk gjennom populære foredragsserier om elektronikk i regi av Studentenes friundervisning på 1950–60-tallet. Sandstad var også kjent for sine mange gode artikler i Store Norske Leksikon.

Sandstad var aktiv i undervisningen lenge etter at han gikk av med pensjon. Han ledet regneøvelser og kollokvier i Lineær kretselektronikk til han var 75 år. Regelmessig var han i mange år innom Fysisk institutt, ofte på sin faste plass på felleskollokvi-

ene. Som en av de mange studentene som har hatt gleden av å lære Sandstad nærmere å kjenne, vil jeg i det følgende knytte noen mer personlige ord til min opplevelse av ham:

Mine beste minner fra studietiden ved Universitetet i Oslo skyldes nettopp førsteamanuensis Jakob Sandstad ved Fysisk institutt! Etter flere semestre ved universitetet med mer generelle, innledende kurs, entret jeg en dag auditoriet hvor Jakob Sandstad skulle undervise i Elektronikk og kretsteknikk. Her møtte jeg en mann i hvit frakk og med kraftige briller og ble slått av en entusiasme og et driv i undervisningen som fascinerte og inspirerte meg mektig. Sandstad var en glimrende foreleser, og med stor innsikt og innlevelse underviste han med hele seg. Tavlebruken var forbilledlig. Tempoet var gjennomgående høyt, og som studenter måtte vi virkelig følge med i svingene. Men han var levende opptatt av, og forsikret seg stadig om, at vi virkelig skjønnte noe. Jeg har ennå glede av notatene fra den tiden.

Da det nærmet seg tiden for å velge tema for en hovedfagsoppgave, hadde jeg et sterkt ønske om å få Sandstad som min veileder. Jeg var lykkelig den dagen han sa ja til dette. Med dyktig faglig veiledning og med sin omgjengelige og fine personlighet preget han miljøet for oss studenter slik at hovedfagstiden ble en svært positiv opplevelse. Sandstad organiserte studieturer for oss studentene og oppmuntret oss til å delta på eksterne seminarer og foredrag. Et viktig forum var blant annet «Studiemøtet i elektronikk og datateknikk», men også flere bedrifter ble besøkt. I alle sammenhenger noterte Sandstad flittig på sammenbrettede A4-ark og arkiverte sine notater sirlig i konvolutter med dato og tema. På sitt kontor kunne han derved på kort varsel gjenskape hovedpunktene for oss i hvilket foredrag det skulle være.

Sandstad var aldri dominerende i sin veiledning. Han var forsiktig med å fortelle oss konkret hva vi skulle gjøre, men oppmuntret oss til selv å tenke og foreslå. Han hadde blant annet stor glede av at vi som studenter kollokverte nytt fagstoff og fulgte selv ivrig med på dette. Selv den forholdsvis omfattende cand.real.-eksamen, som vi alle gruet oss til, ble en fest under hans kyndige ledelse. Sandstad åpnet også sitt hjem for oss kandidater etter eksamen. Blant annet ville han markere at vi hadde nådd et viktig mål. Etter studietiden har jeg hatt den store glede av mer sporadisk å treffe Sandstad i ulike sammenhenger, – alltid like entusiastisk for sitt fag, med glimt i øyet, og hvor jeg fortsatt følte hans interesse og omtanke for meg personlig.

Det var med stor sorg jeg mottok meldingen om at Jakob Sandstad – etter et langt liv – nå hadde endt sitt livsløp. Samtidig er jeg svært takknemlig over alle de gode minnene jeg har om en dyktig og engasjert fagperson og et varmt og omsorgsfullt medmenneske! Jeg lyser fred over Jakob Sandstads minne.

Oddvar Søråsen



Gunnar Løvhøiden (1939–2017)

Gunnar Løvhøiden døde 7. februar, nær 78 år gammel, etter en tids sykdom. Han var født på Torshov i Oslo 12. mars 1939, og familien flyttet til Skedsmo da han var 3 år gammel. Løvhøiden ble cand. real. ved Universitetet i Oslo (UiO) og dr. philos. samme sted i 1972. Han var dosent og senere professor ved Universitetet i Bergen (UiB) fra 1973 til 1992, da han fikk et personlig profesorat i Oslo.

Med Gunnar Løvhøidens bortgang har norsk fysikk har mistet en av sine mest markante forskere, og vi en reflektert og samlende venn og inspirator. Gunnar Løvhøiden var opptatt av de store spørsmål i livet. Han så bakenfor de mange trender i vitenskapen og i samfunnet. Det ble naturlig at han viet sin forskningstid til å studere materiens opprinnelse og de fysiske lover som gjelder naturens minste byggestener. Det er derfor kanskje ikke så overraskende at han gradvis viet sin forskningstid til å forstå litt mer av hvordan verden er blitt til gjennom «det store smellet».

Det begynte med studier av atomkjerne-nes struktur. Det førte ham i første omgang til Niels Bohr Institutet (NBI) i Danmark og videre til McMaster-universitetet i Canada, der han la grunnlaget for sin doktoravhandling om kjernestruktur i sjeldne jordarter. Også etter at han

flyttet til Bergen orienterte han sine eksperimentelle studier mot utenlandske laboratorier. Med stort hell bygget han opp et nettverk av forskere både nasjonalt og internasjonalt (Rochester, Yale/Brookhaven, NBI/Nordita, Groningen, etc.). Fokus var i første omgang kjernestrukturstudier ved hjelp av kjernerreaksjoner med lette ioner. Etter hvert flyttet han virksomheten sin over til studier med tunge ioner, først ved lave energier, siden ved stadig høyere energier. Han tok gruppen ved UiB med fra starten av tungione-programmet ved CERN, først i NA36-eksperimentet ved SPS i 1987, videre via WA94, WA97 og NA57 fram mot dagens store aktivitet i ALICE ved LHC-akseleratoren, som omfatter flere norske institusjoner. Etter at han dro tilbake til Oslo, var han aktiv i Brahms-eksperimentet på RHIC i Brookhaven, fortsatt med mange deltagere fra UiB. Han fortsatte også sin virksomhet i ALICE-prosjektet fram til få år tilbake.

Løvhøidens forskning dekket et stort spenn, fra studier av deformerte kjerner ved lave energier til studier av tungione-kollisjoner og kvark-gluon plasma. Det ga ham et stort internasjonalt forskernettverk som også ble til glede for hele fysikkmiljøet i Norge. I sine siste yrkesaktive år var han president i Norsk Fysisk Selskap, og en skattet taler på Fysikermøtets festmiddager. Han har representert norsk fysikk i flere internasjonale styre og råd. Løvhøiden ble innvalgt som medlem av Det Norske Videnskaps-Akademi i 1991, og ble i 2005 den første mottaker av Birkeland-prisen.

Gunnar Løvhøiden var ikke bare en dyktig forsker, men også en glimrende foreleser med evne til å fengsle studenter og andre tilhørere. Han var medforfatter til lærebøker for universitets- og høyskolestudenter.

Gunnar Løvhøidens mange utmerkelse og store internasjonale anerkjennelse påvirket ikke hans framferd; han var vel en av de minst høytidelige personene i norsk fysikk.

Vi kjenner alle et stort tap ved Gunnar Løvhøidens bortgang. Men størst er tapet for hans kone Turid, etter et lykkelig samliv gjennom nær 55 år, og for barna Nina og Andrine. Det må være stor trøst i de mange rike minner, og stoltheten de kan føle over hans viktige bidrag til en dypere forståelse av vår fysiske verden.

*Håvard Helstrup, Jan S. Vaagen, Jan R. Lien; UiB.
John Rekstad, Eivind Osnes, Bernhard Skaali,
Sunniva Siem, Torgeir Engeland,
Finn Ingebretsen; UiO.*

Styret i Norsk Fysisk Selskap

President:

Professor Åshild Fredriksen
Inst. for fysikk og teknologi, UiT
E-post: *ashild.fredriksen@uit.no*

Visepresident:

Professor Michael Kachelriess
Institutt for fysikk, NTNU
E-post: *michael.kachelriess@ntnu.no*

Styremedlemmer:

Førsteamanuensis Wojciech Jacek Miloch, Fysisk institutt, UiO
Seniorforsker Rolf Korneliussen, Havforskningsinstituttet i Bergen
Professor Jan Petter Hansen, Institutt for fysikk og teknologi, UiB
Professor Håvard Helstrup, Høgskolen i Bergen
Førsteamanuensis Magnus Lilledal, Institutt for fysikk, NTNU
Professor Jon Samseth, Høgskolen i Oslo og Akershus, Kjeller
Lektor Morten Trudeng, Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

PhD-stipendiat Ole Meyer
Inst. for fysikk og teknologi, UiT,
Pb. 6050 Langnes, 9037 Tromsø,
E-post: *nfs.styret@gmail.com*
Bankgiro: 7878.06.03258

www.norskfysikk.no/nfs/

ISSN-0015-9247