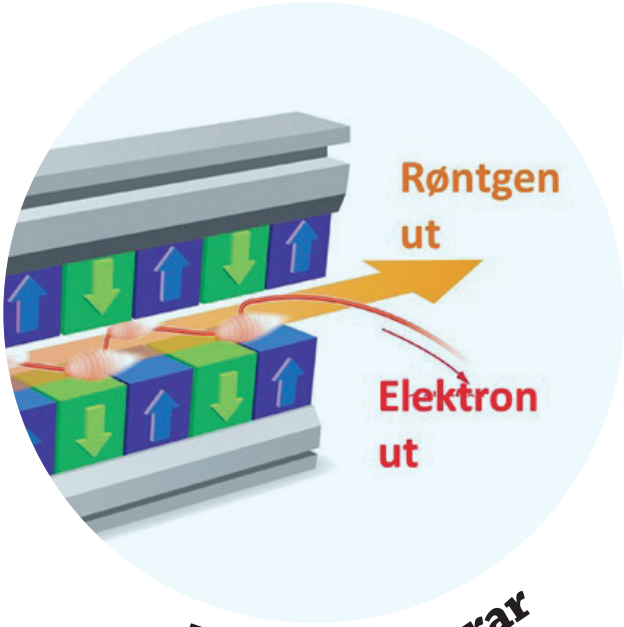
NR. 2 – 2017
79. ÅRGANG

Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

Satellittmålt atmosfæretemperatur



Røntgenlaserar

Isaac Newton

Les også om:

- Gravitasjonsbølger og mørk materie
- Triboelektrisk bølgjekraft
- Superflytende fast stoff

Nr. 2 – 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/*

Abonnere:
Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 ganger årlig.
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær på følgende adresse eller e-postadresse:

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

Årsabonnement 200 kr. (studenter 100 kr.)

Retningslinjer for bidragsytere
Fra Fysikkens Verden (FFV) utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler.

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 lignenede 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

Frå redaktørane *Emil J. Samuelsen* 36
FFV gratulerer: NTNU-professor blir president i Optical Society of America 36
Det skjer: Nye sentra for framifrå forsking *Emil J. Samuelsen* 37

Fysikknytt

Superflytende fast stoff? *Øyvind G. Grøn* 38
Bølgjekraftverk ved hjelp av triboelektrisitet? *Emil J. Samuelsen* 40
Europeiske røntgenlaserar i drift i 2017 *Emil J. Samuelsen* 42

Artikler

Satellittmålt atmosfæretemperatur *Arne Marius Raaen* 43
350 år siden Isaac Newtons «mirakelår» *Tor Arne Holm* 48
Gravitasjonsbølger, svarte hull og mørk materie *Øyvind G. Grøn* 52

Annet

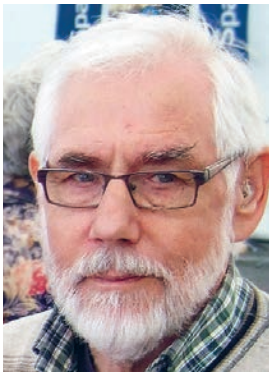
Bokmelding: *Johannes Lohne: En fremragende vitenskapshistoriker og hans motsetningsfulle liv* *Per Chr. Hemmer* 55
Kommentar: Feil om drivhuseffekten *Jan-Erik Solheim* 56

In memoriam

Anders Omholt *Asgeir Brekke og Olav Holt* 58

Fra redaktørene

Øyvind G. Grøn



Emil J. Samuelsen

Dette nummeret av *FFV* er det andre i ny bladbunad. Vi tar gjerne mot synspunkt frå lesarane om det nye opplegget.

Den atmosfæriske drivhuseffekten er eit tema som alltid fører til debatt. Eit innlegg i *FFV* 3/2016 vart kommentert i 1/2017, som igjen blir kommentert i dette nummeret. Endå fleire kommentarar kunne sikkert følgje, men vi vél å avslutte sekvensen her. – Eit sideordna spørsmål om korleis temperaturen i atmosfæren blir bestemt ved hjelp av satellitt er tema i ein artikkel i dette nummeret.

Stadig aktuelle tema som gravitasjonsbølgjer og mørk materie blir omtalte også i dette nummeret, som har tre andre innslag under Fysikknytt: Europeiske røntgenlaserar; superfluiditet i Bose-Einstein-kondensat; bølgjekraft frå triboelektrisk effekt.

Så kan vi ønske velkommen fleire nye forskingsråd-finansierte sentra med status som SFF (Senter for Framifrå Forsking): i solfysikk, kvante-elektronikk og porøse materiale. Og vi får eit møte med Isaac Newton 350 år etter «mirakelåret» hans.

Det er planlagt to fysikkrelaterte hendingar her heime i sommar som kan nemnast.

I Trondheim skal STARMUS-festival gå av stabelen 18.–23. juni. Tidlegare Starmus-festivalar har alle vore på Gran Canaria. Festivalen skal samle stjerne-vitskapsfolk og stjerne-musikarar i eit mangfaldig program. Blant stjernene er Stephen Hawking og 45 andre vitskapsfolk, m.a. 11 nobelprisvinnarar og 10 astronautar. Dessverre er deltakarprisen altfor høg, og festivalen står i fare for å bli meir ein media-jippo enn ein folkefest.

I Tromsø skal Fysikarmøtet gå av stabelen 7.–9. august. Det er ein rimelegare fest, men også den med gode «stjerner» på programmet, og med ønske å vere møteplass for fysikarar frå dei ulike forskingsmiljøa, vidaregåande skolar, høgskolar og universitet i landet. Sjå programmet på side 61.

FFV gratulerer:

NTNU-professor blir president i Optical Society of America

Professor Ursula Gibson ved Institutt for fysikk, NTNU, er nyleg innvald som medlem av øvste styringsorgan i Optical Society of America (OSA). OSA praktiserer ein fire års engasjementsyklus: I 2017 vil professor Gibson vere visepresident for OSA. For 2018 blir ho det som blir kalla «president-elect», og for 2019 får ho funksjonen som president for organisasjonen. Det siste av dei fire åra, 2020, blir tittelen «past-president». *FFV* gratulerer!

Professor Gibson er frå USA, med doktorgrad frå Cornell i 1982. Ho har hatt engasjement ved fleire institusjonar i USA, og elles i Australia, Finland og Sverige. Ho kom til NTNU i 2010, der ho er professor i optiske systemer, med vekt på halvleiar-fiber og lineær- og ikkje-lineær optikk i det infraraude området. I tillegg har ho engasjement ved KTH i Stockholm og ved Dartmouth College i New Hampshire.

Det skjer:
Nye sentra for framifrå forsking

Forskingsrådet har gitt ti nye forskingsgrupper status som Senter for framifrå forsking (SFF).

Kvart av sentera får tildelt 150 millionar kroner over ti år. Føremålet med SFF er å stimulere forsking på høgt, internasjonalt nivå. Fem av dei nye sentera er ved UiO med eitt i fysikk, og to er ved NTNU, begge i fysikk. I tillegg er eit SFF-senter oppretta i teoretisk kjemi med betydeleg fysikkrelatert innhald, lokalisert til UiO og UiT. Sentera har fått namn på engelsk (vi gir mulege norske omsettingar i parentes). Ved UiO er det ein god tradisjon å kalle opp eigne kjente forskarar. Som det framgår nedanfor blir to SFF-senter oppkalla etter astrofysikaren Svein Rosseland og atomfysikaren Egil Hylleraas.

Rosseland Centre for Solar Physics (Rosselandsenteret for solfyikk)

Senteret er lokalisert ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved UiO, med professor Mats Carlsson som senterleiar. Andre medarbeidarar i Oslo blir professorane Viggo Hansteen, Boris Gudiksen, Luc Rouppe van der Voort og Sven Wedemeyer. Bart De Pontieu ved Lockheed Solar and Astrophysics Laboratory er professor II ved senteret.

Ved å kombinere observasjonar med modellering skal senteret studere i detalj korleis sola fungerer. Særleg ønsker ein å få kunnskap om partikkeloppførsel og om oppvarming både i og rundt sola. Det er prosessar som påverkar jordatmosfæren og liv på jorda.

Centre for Low Dissipation Quantum Spintronics (QuSpin) (Senter for energieffektiv kvantespinntronikk)

Senteret er lokalisert ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Arne Brataas som senterleiar. Andre deltakarar frå instituttet er professorane Asle Sudbø og Jacob Linder, og førsteamanuensis Justin Wells. I tillegg vil forskarane Rembert Duine frå Utrecht og Mathias Klaeui frå Mainz vere knytte til prosjektet. Senteret skal utvikle nye og energisparande metodar for å kontrollere signal i nanoelektroniske system for informasjons- og kommunikasjonsformål. I staden for å sende og lagre informasjon ved hjelp av elektron*ladning* som i våre dagars elektronikk, noko som gir betydeleg varmeutvikling, skal ein nytte elektron*spinn* i magnetiske materiale. Målet er å kontrollere spinnet (og andre kvantevariable) ved hjelp av materialkombinasjonar på nanoskala.

Porous Media Laboratory (Laboratorium for porøse materiale)

Senteret er lokalisert ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Alex Hansen som senterleiar. Andre deltakarar frå NTNU er professorane Ursula Gibson frå Institutt for fysikk, Signe Kjelstrup og Dick Bedeaux frå Institutt for kjemi, og Ole Torsæter frå Institutt for geovitskap og petroleum. Frå Fysisk institutt, UiO deltar professorane Knut Jørgen Måløy og Eirik Flekkøy.

Senteret skal utvikle metodar for presise berekningar av dei kompliserte væskestraumane i porøst materiale ved kombinering av metodar frå fysikk, kjemi, geofysikk og geologi, utifrå eksperiment, modellering og utvikling av ny teori. Slik innsikt er av betydning for effektiv utvinning av vatn i tørkeområde og av olje i oljebrønnar.

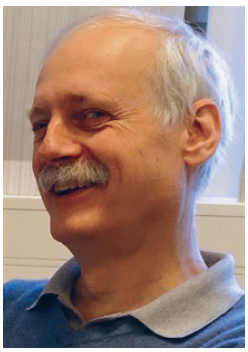
I tillegg til dei tre fysikksentera nemner vi også det fysikkrelaterte senteret i teoretisk kjemi:

Hylleraas Centre for Quantum Molecular Sciences (Hylleraas-senteret for kvantemolekylær forsking)

Senteret er lokalisert til Kjemisk institutt ved UiO med forgreining til Gruppe for teoretisk kjemi ved UiT. Professorane Trygve Helgaker, UiO og Kenneth Ruud, UiT er senterleiarane.

Senteret skal utvikle nye berekningsmetodar for å handtere store molekylsystem med opp til millionar av atom. Ein ønsker å forstå og å kontrollere komplekse kjemiske og biologiske system under ekstreme forhold. Eksperimentell testing vil skje ved samarbeidande laboratoriar i utlandet.

Emil J. Samuelsen



Fra venstre:
Mats Carlsson, Arne Brataas, Alex Hansen.

Superflytende fast stoff?

To grupper av fysikere har brukt forskjellige metoder til å påvise en fase av et stoff som på engelsk kalles «supersolid». Det er en fase av et såkalt Bose-Einstein kondensat med en form for krystallstruktur der det finnes defekter som kan bevege seg fritt gjennom materialet.

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo og Akershus

Hva er en supersolid?

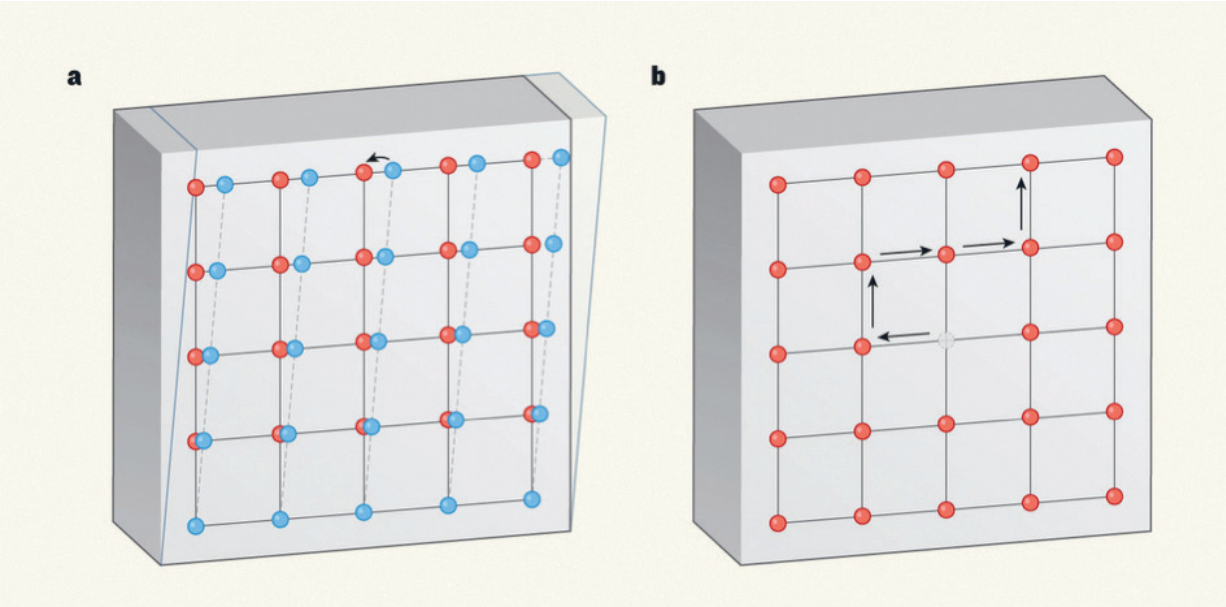
Det er foreløpig ikke etablert en norsk betegnelse på den fasen av et stoff som på engelsk kalles *supersolid*. E. Samuelsen [1] har fremhevet at betegnelsen «supersoliditet» er sterkt misvisende siden det ikke er snakk om materiale som er supersolide (for eksempel superharde), men krystallinske.

I et forsøk på en oversettelse må vi altså huske at ordet *solid* i denne sammenhengen ikke betyr noe som er solid eller sterkt, men at materialet har en krystallinsk struktur. Videre antyder forstavelsen *super* her at det er et stoff som kan flyte uten motstand. Men hvis vi da ser for oss vann som flyter uten motstand, gir det feil assosiasjoner. For en *supersolid* har en krystallstruktur som gir det stabil fasong. Det er bare molekyldefekter inni stoffet som kan bevege seg uten motstand. Hvis et system av slike defekter oppfattes som et stoff, kan dette kalles «superflytende».

Men virkeligheten er på dette området ennå mer fremmed. Dersom vi etter forklaringen ovenfor oversetter *supersolid* til «superflytende fast stoff» (SFS), ser vi kanskje for oss et stoff med stabil fasong der molekyldefekter kan bevege seg fritt i stoffet. Selv dette kan være misvisende. For den type *supersolid* det nå rapporteres om at er påvist i to laboratorier, minner ikke om et stoff med stabil fasong. Det er ikke som en terning du bruker i et spill, som beholder sin fasong når du har kastet den.

I sin karakterisering av *supersolid* legger forskerne mer vekt på periodisk krystallstruktur enn at stoffet skal oppføre seg som et legeme med fast form. En supersolid slik den fremtrer i laboratoriene, er noe helt annet. Det er en manipulering av noe som kalles et Bose-Einstein-kondensat.

Elementærpartiklene har spinn. Med den vanlige kvantemekaniske enheten for spinn har partiklene som materien består av, for eksempel kvarker og elektroner, spinn ½, og partikler som overfører krefter, for



Figur 1. Illustrasjon av et SFS. Det har to karakteristiske egenskaper. (a) På samme måte som et vanlig fast stoff har et SFS en stabil fasong. Det er stivt og går tilbake til sin opprinnelige fasong hvis det påvirkes av en kraft som så fjernes. (b) En defekt i molekylstrukturen slik som et manglende atom, kan bevege seg uten noen som helst motstand i et SFS.

eksempel fotoner, spinn 1. Den indiske fysikeren Bose laget en statistikk for partikler med heltallige spinn, og Einstein fulgte opp med å utvide denne teorien slik at den også kunne anvendes på partikler i faste stoffer. Tilsvarende laget den italienske fysikeren Fermi en statistikk for partikler med halvtalling spinn. Derfor kalles partikler med halvtalling spinn for *fermioner* og partikler med heltallige spinn for *bosoner*.

Et *Bose-Einstein-kondensat* er en iskald og svært tynn gass som består av partikler med heltallig spinn. Temperaturen er typisk av størrelsesorden hundre nanograder Kelvin, altså bare en ti milliarddel over det absolutte nullpunkt. Og tettheten er så liten at forskerne angir mengden av materie ved å snakke om noen tusen molekyler. Partiklene i denne gassen oppfyller Bose-Einstein-statistikken. Den innebærer blant annet at nesten alle partikkelparene befinner seg i laveste energinivå ved ekstremt lav temperatur. Dette har en merkelig konsekvens. Det opptrer da globale kvantemekaniske effekter i Bose-Einstein-kondensatet, slik at det får en periodisk struktur. Dette minner om en krystallstruktur, men er noe helt annet. Det er et kvantemekanisk fenomen.

Det fysikerne kaller et *supersolid* er et Bose-Einstein-kondensat med en periodisk struktur og der det eksisterer partikler som kan bevege seg uten friksjon i kondensatet.

Påvisning av superflytende fast stoff i laboratorier

For over 50 år siden begynte enkelte fysikere å tenke på om en slik tilstand kunne eksistere ved svært lave temperaturer, nær det absolutte nullpunkt. De gjorde kvantemekaniske beregninger og fant at det burde være mulig. Det ble også gjort eksperimenter, og man oppnådde svært lovende resultater, noe som blant annet førte til at W. Ketterle fikk nobelprisen i fysikk i 2001.

Men det viste seg å være vanskelig å fremstille SFS i laboratorier. Helium ble betraktet som det mest lovende stoffet. I 2004 rapporterte en gruppe fysikere at de hadde fremstilt helium med SFS-liknende egenskaper, men det ble etter hvert klarlagt av det ikke dreide seg om stabilt SFS.

Resultatene fra to forskergrupper, den ene under ledelse av Léonard et al. [2] og den andre av Ketterle og Li et al. [3], rapportert i to artikler som ble publisert i *Nature* 2. mars 2017, der de beskriver fremstilling av SFS, omtales nå som at man for første gang har greid å fremstille SFS. Det må imidlertid understrekes at prøvematerialet er ekstremt kvantemekanisk, nemlig et Bose-Einstein-kondensat i et elektromagnetisk felt.

Selv om metodene som ble benyttet i de to laboratoriene, var noe forskjellige, startet begge med å kjøle ned et grunnstoff nesten til det absolutte nullpunkt, der det gikk inn en fase som et Bose-Einstein-kondensat. I en slik tilstand dukker det opp kvantefenomener som blant annet gjør at den tynne gassen blir superflytende.

Den ene gruppen arbeidet med rubidium 87 og den andre med natrium 23 som begge danner par med heltallig spinn som altså er bosoner. Begge gruppene påvirket Bose-Einstein-kondensatet med laserlys på en slik måte at det oppsto en krystallinsk struktur i kondensatet som i et fast stoff. Dermed ble det til et superflytende fast stoff.

Det er stor forskningsaktivitet på dette området. Som alltid når det gjelder forskning på materialegenskaper, er det forventninger om at de nye resultatene kan gi opphav til en utvikling som vil vise seg å få praktisk betydning, selv om en slik visjon her krever en god porsjon optimisme siden *supersolidfasen* som så langt er fremstilt, er et modifisert Bose-Einstein-kondensat med en temperatur på en ti milliarddel av en grad kelvin.

Referanser

1. E.J. Samuelsen. «Supereigenskapar i materiale». *Fra Fysikkens Verden* 4 (2008), s. 138.
2. J. Léonard og medarbeidere. «Supersolid formation in quantum gas breaking a continuous translational symmetry». *Nature* 543 (2017), s. 87–90.
3. Jun-Ru Li og medarbeidere. «A stripe phase with supersolid properties in spin-orbit-coupled Bose-Einstein condensates.» *Nature* 543 (2017), s. 91–94.
4. K.R.A. Hazzard. «Quantum physics: A solid more fluid than a fluid». *Nature* 543 (2017), s. 47–48.

Bølgjekraftverk ved hjelp av triboelektrisitet?

Eksisterande anlegg for å skape elektrisitet frå havbølgjer består oftast av store flytebøy-konstruksjonar som duvar i bølgjene. No har ei kinesisk forskingsgruppe [1,2] saman med folk frå USA lansert eit prosjekt for å hauste bølgjeenergi ved å utnytte kontakt-elektrisk effekt mellom materiale som har ulike elektrokjemiske potensial.

Emil J. Samuelsen Institutt for fysikk, NTNU

Effekten er kjent under nemninga «triboelektrisitet» (av gresk *tribo* = gniding, friksjon). Denne effekten opptrer ved kontakt mellom materiale med ulike elektriske overflateeigenskapar. Kjente eksempel er plastkam gjennom tørt hår, glass gnidd mot pelsverk, buksebak gnidd mot stol med trekk av skinn eller plast. Spesielt gir mange polymerstoff denne effekten. Hovudpoenget er at stoffa har ulike såkalla elektrokjemiske potensial, ein eigenskap knytt til kor lett stoff kan gi frå seg elektron.

Når to stoff med ulike potensial kjem i kontakt med kvarandre, vil dei utveksle elektrisk ladning i overflatesjiktet: nokre elektron vil springe over frå stoffet med lågast potensial, som derfor sjølv blir positivt ladd i overflata. Det andre stoffet blir tilsvarande negativt ladd. Når stoffa etterpå blir flytta slik at kontakten blir broten, vil dei to overflatene framleis vere elektrisk ladde. Gniding er i seg sjølv ikkje påkrevd, men gir større effekt ved at større areal kjem i kontakt når det blir gnidd.

Spenninga mellom dei to overflatene kan bli betydeleg, og i blant kan ladning springe tilbake med gnistdanning. Høgspenningsgeneratoren van de Graaf, som utnyttar denne effekten, kan operere med spenningar i megavolt-området. Sjå elles artikkel i *Fra Fysikkens Verden* om Thomsons dropegenerator [3].

Triboelektrisk generator

Effekten kan nyttast til å generere elektrisk straum ved at dei to materiala blir førte slik at det vekslar med kontakt og ikkje-kontakt mellom dei, og ved at dei to delane blir kopla til elektriske leiarar så at overskotsladningane kan bli leid bort og nytta i ytre kretsar. Den elektriske energien som blir laga, har opphav i den mekaniske energien knytt til å bevege dei to materiala i forhold til kvarandre. I prinsippet kan alle slags rørsler nyttast: vibrasjonar frå transport og maskineri, kropplege rørsler som å gå; bølgjerørsler på overflata av vatn. Ei prinsippskisse ved opp-ned-rørsle er vist i Figur 1. Sidelengs glide-rørsle av dei to delane i nærkontakt er også brukbart. Med periodiske rørsler blir vekslande spenning registrert i måleinstrumentet.

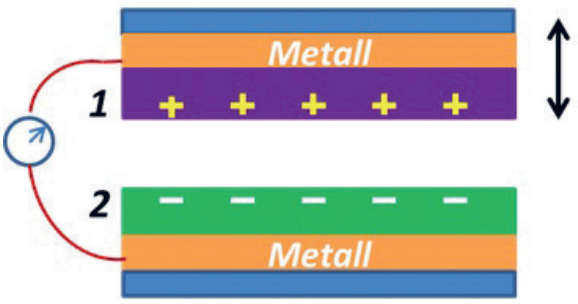
Det kan bli generert betydelege spenningar med slike innretningar, avhengig av dei to materiala som blir nytta. For positiv ladning («dielektrikum 1») kan nyttast gummi, akryl og andre polymerar, og også metall. Teflon, polytetrafluoroetylen (PTFE), eit billeg og slitesterkt isolerande materiale, gir god negativ overflateladning («dielektrikum 2»). Spenningar i mange titalls og hundretalls volt kan skapast over kontaktflatene.

Småe generatorar for bruk for småelektronikk som sensorar, GPS og mobiltelefonar, kan framstillast med eit fåtall individuelle kontaktceller. Der ligg no føre forslag til storskalageneratorar, sånn som for havbølgjeutnytting, som forklart nedanfor.

Generator for utnytting av bølgjeenergi

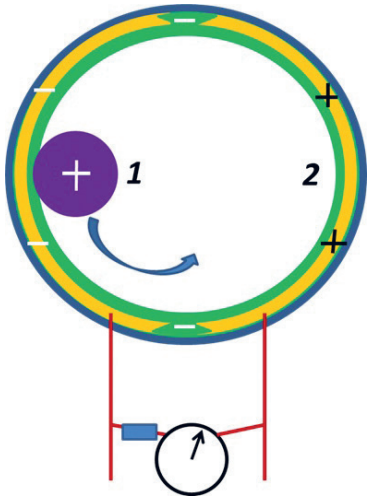
Z.L. Wang og medarbeidarar [1,4] foreslår innretningar for å omgjere bølgjeenergi i havbølgjer til elektrisk energi. Dei hevdar at triboelektrisk utnytting skal vere betre enn elektromagnetisk utnytting (med flytebøyer) fordi frekvensen i havbølgjene er låg, typisk berre nokre få hertz. Forfattarane har vurdert ulike variantar av innretningar. Til no er ingen av dei sett ut i livet i teknisk fullskala.

Eg skal her avgrense meg til å beskrive ein bestemt, sinnrik idé: å skape elektrisitet i ballar av storleik som appelsinar eller tennisballar, illustrert i Figur 2. Ballane er lette så dei kan flyte på og i



Figur 1. To tynne og ulike dielektrika, 1 og 2, induserer overflateladningar med motsette forteikn ved fysisk kontakt, og spenning kan målast mellom metall-sjikt i kontakt med kvar av dei. Ved å flytte på ein av dei ned og opp mellom fysisk kontakt og ikkje-kontakt, kan indusert spenning utnyttast i ein ytre krets. Ein annan metode er å la dei to delane gli sidelengs over kvarandre. Ein kan også nytte berre eitt dielektrisk materiale og gjere bruk at triboelektrisk effekt mellom det materialet og metall-sjiktet, som kan vere av t.d. koppar eller aluminium.

Figur 2. Skisse av ball for generering av elektrisitet i havbølgjer. Gråblått: Vasstett ytre skall. Gult: metal (koppar). Fiolett: Rullekule av dielektrisk material 1 (hardgummi). Grønt: dielektrisk materiale 2, som dekker metalldelane og gap mellom dei. Rulleretning angitt i aktuell situasjon. Når kula ruller over til motsett side, blir ladningane snudd om i metalldelane. Voltmeter med lastmotstand mellom metalldelane. Etter skisser i [1].



vatnet. Dei må sjølvsagt vere vasstette. På innsida skal dei ha belegg av metall, t.d. koppar, som skal dekke over to skilde område, kvart område med leidning ut. Utanpå metall-laget blir lagt eit tynt lag med eit isolerande, dielektrisk materiale («2»), t.d. teflon. Inne i holrommet blir det plassert ei massiv mindre kule av eit anna dielektrisk materiale, som t.d. hard-gummi («1»), som har eit anna elektrokjemisk potensiale enn teflon.

Mange slike ballar blir festa til eit nettverk, eit «garn», som blir lagt på vatnet (Figur 3) og også nede i vatnet. Bølgjerørslene får gummikulene til å rulle hit og dit inne i ballane. Rullerørsla vil indusere ladningar i dei to metalldelane, som skiftar polaritet kvar gong kula rullar frå den eine sida til den andre. Det blir antyda at kvar ball kan yte nokre få milliwatt ved moderate bølgjer. Elektrisiteten kan tappast ut frå metall-delane.

Estimat av kapasitet

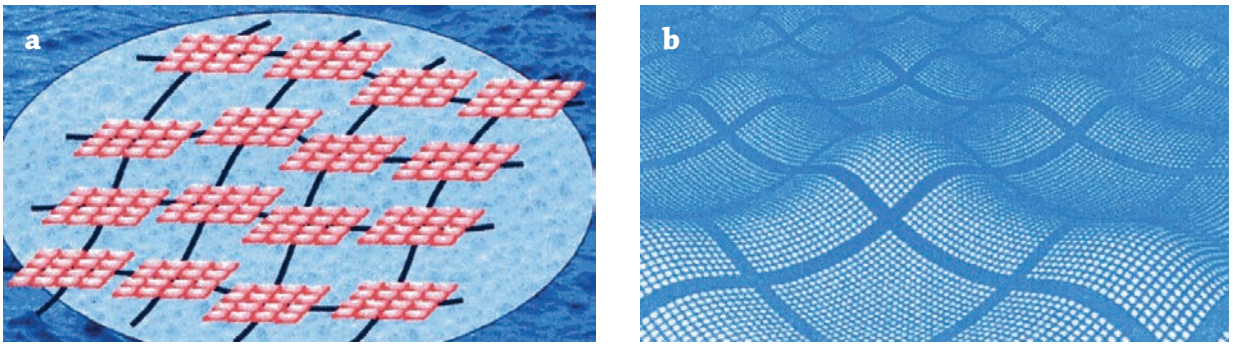
Forfattarane er optimistiske om utviklings- og nyttepotensialet av store, flytande havkraftverk av denne typen, for eksempel at utnyttingsgraden kan bli opptil 50 % for bølgjeenergi ⇒ elektrisk energi. Eit estimat som går att i fleire av publikasjonane deira, gir verdiar på 1,2 megawatt per kvadratkilometer havflate, svarande til 1,2 W/m^2. Det er ikkje godtgjort om også bølgjeenergien i dei langbølgja dønningane til havs kan utnyttast slik.

Forskarane er sjølvsagt klåre over at der er mange tekniske problem å løyse før idéane kan bli realiserte.

Eit område som ikkje er beskrive i publikasjonane, er korleis samankoplinga av dei ulike elementa skal skje. Spenninga frå elementa vil skifte nokså vilkårleg mellom pluss og minus. Det let seg nok gjere å kople inn likerettarar, eller også individuelle vendarar styrt frå spenningssensorar ved kvart element. Kanskje er dette eit patentbelagt område som dei ikkje ønsker å publisere. Straumen må førast i land og enten nyttast direkte eller lagrast i nokon slags batterisystem, som ikkje blir vidare drøfta.

Referansar

1. Z.L. Wang. «New wave power». *Nature* 542 (2017) s. 159–160.
2. Z.L. Wang, J. Chen og L. Lin. «Progress in triboelectric nanogenerators as a new energy technology and self-powered sensors». *Energy and Environmental Sciences* 8 (2015), s. 2250–2282.
3. L.E. Helseth. «Thomsons dråpegenerator og ladningsoverføring». *Fra Fysikkens Verden* 78 nr. 3 (2016) s. 84–87.
4. J. Chen og medarbeidarar. «Networks of Triboelectric Nanogenerators for Harvesting Water Wave Energy». *ACSNANO* 9 (2015) s. 3324–3331.



Figur 3 a. Seksjonar av enkeltelement blir kopla saman. **b.** Seksjonane blir kopla til nettverk, eit «garn», som flyt på overflata. Det kan nyttast mange lag med «garn» nedover i vatnet. Frå [4].

Europeiske røntgenlaserar i drift i 2017

For materialforskinga i Europa vil 2017 bli eit merkeår ved at to super-røntgenkjelder vil komme i drift, ei i Hamburg kalla European XFEL [1], og ei i Zürich kalla SWISSFEL [2].

Emil J. Samuelsen Institutt for fysikk, NTNU

Røntgenkjeldene var høgtideleg innvidde i oktober og i desember 2016. Frå før finst det to slike kjelder til i verda, ei ved Stanford, USA (kalla SCLS) og ei ved Sanyo, Japan (kalla SACLA).

I Europa nyttar ein akronyma FEL eller XFEL ((X-ray) Free Electron Laser) for slike røntgenkjelder, fordi røntgenstrålane blir skapt ved hjelp av høgenergetiske elektronstrålar i sikk-sakk-bane; sjå figur 1. Røntgenfluksane kan bli fleire milliardar gonger sterkare enn røntgen frå synkrotronkjelder, som igjen er mange millionar gonger sterkare enn vanlege røntgenrør for laboratoriebruk. Prinsipp og verkemåte for røntgenlaserar er forklart i ein *FFV*-artikkel frå 2009 [3]. Artikkelen nemner spesielt Hamburg-installasjonen, som skulle stå ferdig i 2014, men som altså først no blir operativ.

Røntgenstrålar er sentrale for forsking på fagfelt som medisin, biologi, kjemi, geologi, material- og nanovitskap og fysikk. Dei nye kraftige strålekjeldene opnar for at nye sider av fagfelta kan studerast.

Anlegga krev mykje plass og er delvis lagt under bakken. For eksempel er flygebanen i Hamburg 1,7 km lang i ein tunnel med totallengd 3,4 km. Ein del av banen har 800 supraleiande magnetar som er nedkjølte til −271 °C. Røntgenstrålen som blir skapt, blir fordelt på mange eksperimentstasjonar, med bølgjelengder i området 0,05–4,7 nm. Strålen er pulsa, med pulslengder i området 10^{-15} sekund, er ≈100 % polarisert og ≈100 % koherent, eigenskapar som opnar for studium av nye materialfenomen, som t.d. reaksjonsforløp av kjemiske reaksjonar og faseforandringar. Sjå referansane for detaljar.

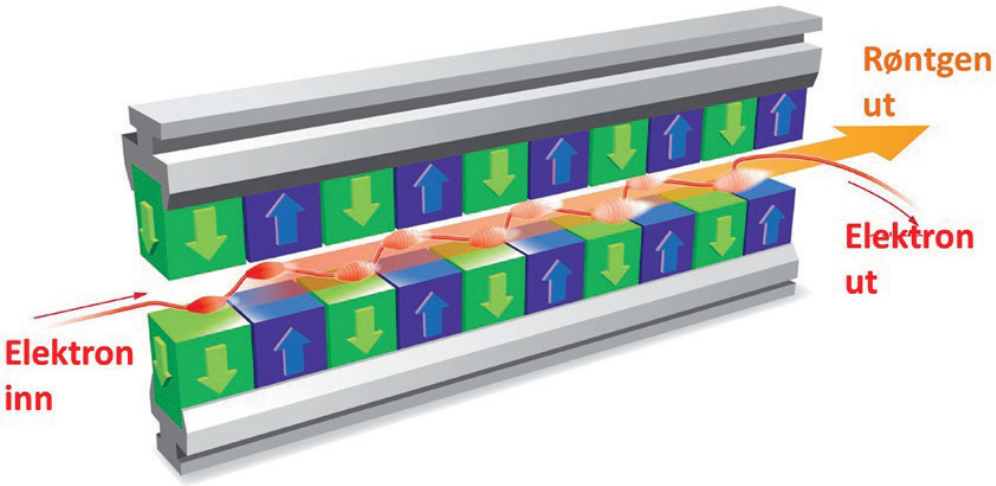
Hamburg-installasjonen kostar 1,2 milliardar euro, dekka med 58 % av Tyskland, 28 % av Russland, og resten av ni andre medlemsland, mellom dei Danmark og Sverige. Norge er ikkje med, men norske forskarar kan få tilgang gjennom samarbeidsordningar.

Zürich-installasjonen er noko mindre, med bølgjelengder i området 0,1–7 nm. Her er den underjordiske flygebanen 700 m. Kostnaden er svarande til 260 millionar euro, betalt av Sveits aleine.

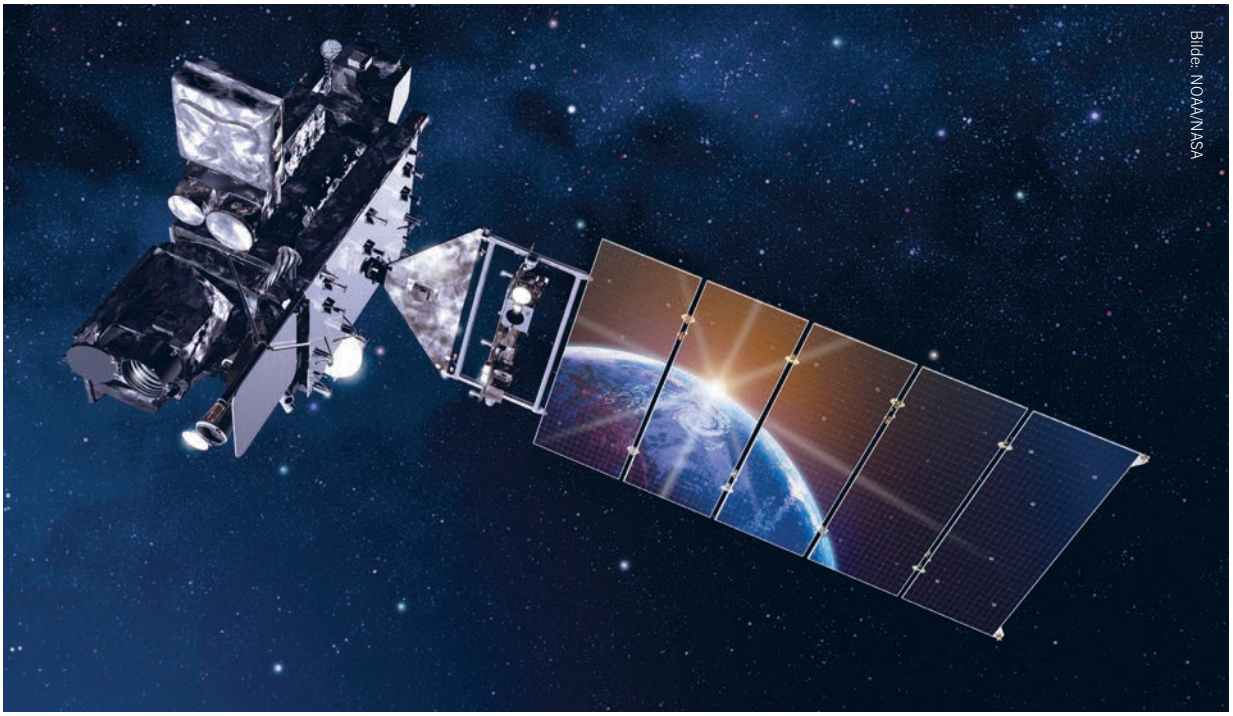
Installasjonane skal opne for drift i løpet av sommaren og hausten 2017.

Referansar

1. Wikipedia. «European XFEL»
2. Wikipedia. «SWISSFEL»
3. Emil J. Samuelsen og Dag W. Breiby. «Røntgenlaser». *Fra Fysikkens Verden* 71 (2009), s. 42–47.



Figur 1. Multimagnet som skaper røntgen med elektronstråle i sikksakk-bane gjennom magnetfeltet.


Bilde: NOAA/NASA

Satellittmålt atmosfæretemperatur

Satellittmålt temperatur har et verdifullt fortrinn over bakkebaserte termometre og værballonger: Det gir en jevnere romlig (og for ballonger også tidsmessig) fordeling av målingene. På grunn av dette benevnes satellittmålingene av og til som «gullstandarden» for global temperaturmåling. Satellittmålingene har mange egne utfordringer, så det er en overforenkling. I dette innlegget vil jeg skissere grunnlaget for satellittmålt temperatur, og påpeke noen av de viktigste utfordringene.

Arne Marius Raaen Malvik

Satellittene måler intensiteten av elektromagnetisk stråling fra atmosfæren. Denne intensiteten øker med økende temperatur (med noen forbehold), og kan derfor gi et kvantitivt mål på temperatur.

Mens væsker og faste stoffer med hensyn på stråling kan tilnærmes som svarte legemer, med et nær kontinuum i frekvens som beskrives godt med Plancks strålingslov, er gassers stråling sterkt frekvensavhengig. Frekvensmønsteret er knyttet til vibrasjons- og rotasjonsmoder for gassmolekylene, og er derfor unike for hver gass.

For å finne temperaturen i atmosfæren, bør en måle på en gass som er jevnt fordelt. Det utelukker umiddelbart vanndamp, selv om H_2O på grunn av sitt permanente dipolmoment har det rikeste elektromagnetiske spekteret.

De andre viktigste drivhusgassene, CO_2 og CH_4 er i utgangspunktet symmetriske, og får sine elektriske dipolmoment indusert ved vibrasjonsmoder. De må forkastes som kandidater fordi vekselvirkningen er for stor: Bare stråling fra atmosfærens øvre deler vil nå satellittene. I tillegg kommer at frekvensområdet er sterkt influert av skyer.

Til redning kommer O_2, som er et av få molekyler med like antall elektroner som er paramagnetisk. Fra en enkel klassisk tankegang, vil en magnetisk dipol som roterer, sende ut elektromagnetisk stråling. I neste avsnitt skisseres hvordan dette beskrives kvantemekanisk.

Kvantemekanikk: O_2's elektronstruktur og rotasjonsnivåer

O_2 har 16 elektroner. De to ytterste er i en orbital med plass til fire. Hunds regler (Friedrich Hund, 1898–1997) tilsier da at molekylet får spinn 1 (en triplett-tilstand) og O_2 er dermed paramagnetisk i grunntilstanden.

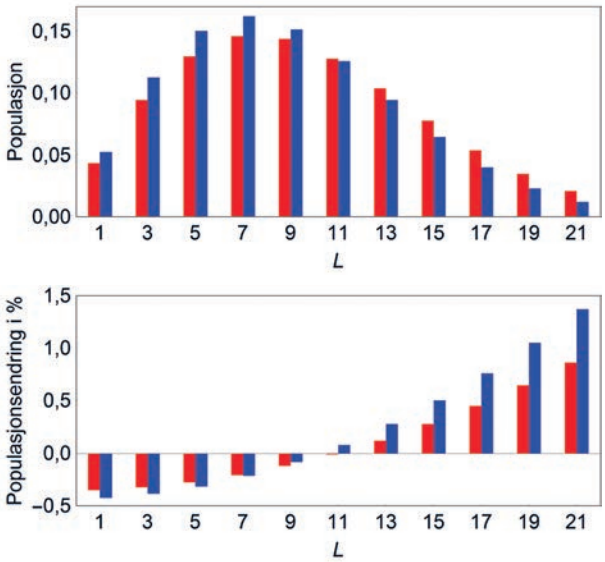
En lineær rotator har energinivåene (se for eksempel [1])

$$E = L\,(L+1)\,\frac{\hbar^2}{2I} \qquad (1)$$

der L er et kvantetall som inntar heltallsverdier, og I er treghetsmomentet til molekylet.

For oksygen er $\hbar^2/2I = 0{,}178$ meV [1]. Dette svarer til frekvensen 43,5 GHz.

For oksygen er det 99,8 % av isotopen med atomvekt 16. Siden de to atomene dermed stort sett er identiske, setter Pauli-prinsippet begrensninger på tillatte kvantetall: *bare oddetall er tillatt* [2]. Spesielt



Figur 1. *Øvre del:* Populasjon av de 11 laveste rotasjonsnivåene i O_2 ved 230 K (blå) og 280 K (rød). *Nedre del:* Endring av populasjon i prosent ved temperaturøkning på 1 K, fra 230 K (blå) og 280 K (rød). Legg merke til at det er liten følsomhet rundt $L = 11$, og at øket temperatur betyr mindre stråling for lave L. Ved beregning av populasjonene må en ta hensyn til degenerasjonsgrad $2L + 1$ for rotasjonsnivåene [1].

Figur 2. Figuren viser skjematisk de fire laveste rotasjonsnivåene for oksygen. Venstre del viser de rene rotasjonsnivåene, mens høyre del viser hvordan nivåene splittes i tre på grunn av spinn-vekselvirkningen. Svart er totalkvantetall $J = L$, mens rød er $J = L - 1$ og blå er $J = L + 1$. Det er overgangene innen de splittede nivåene (fra svart til rød/blå) som brukes ved satellittmåling av atmosfæretemperaturen. (På grunn av overlapp er de røde linjene tegnet 50 % bredere enn de blå.) Figuren er beregnet fra formler og data i [4]).

betyr dette at en ikke-roterende tilstand er forbudt for $^{16}O_2$, men finnes for eksempel for $^{16}O^{17}O$.

For den dominerende isotopen blir derfor avstanden mellom nabonivåer

$$\Delta E = (2L + 3)\frac{\hbar^2}{I}, \quad L = 1, 3, 5, \ldots \qquad (2)$$

Med $L = 11$ i likning (1) får man omtrent 23 meV, som svarer til den termiske energien ved $T = 270$ K. Man forventer altså at mange rotasjonsnivåer er eksiterte i hele atmosfæren (Figur 1). Avstanden mellom de to laveste nivåene er omtrent 1,8 meV svarende til 430 GHz.

Siden oksygen er paramagnetisk, er det en vekselvirkning mellom spinnet og rotasjonstilstandene. Det fører til at hver rotasjonstilstand splittes i tre, med totalt dreieimpulskvantetall J på henholdsvis $L + 1$, L og $L - 1$.

Det er tillatte strålingsoverganger mellom disse splittede nivåene, med $\Delta J = \pm 1$ og $\Delta L = 0$. Det er omtrent 60 GHz mellom nivåene, men med en variasjon som skyldes høyere ordens effekter. Dette er diskutert f.eks. i [3] og [4]. Se Figur 2. Det er disse overgangene som benyttes i satellittbasert temperaturmåling.

Tabell 1 viser linjene for noen rotasjonskvantetall. Tabellen viser posisjonen av linjene ved lavt trykk, det vil si med lite vekselvirkning med nabomolekyler. Når trykket øker vil enkeltlinjene smøres ut og nærme seg et kontinuum. Dette er illustrert i Figur 3 som viser absorpsjon som funksjon av frekvens i området 53–59 GHz for fem ulike lufttrykk.

Absorpsjon

Absorpsjonen av bølgene er en viktig parameter – den bestemmer hvor mye av strålingen fra et bestemt atmosfærelag som når satellitten.

Man ser av Figur 3 at absorpsjonen varierer betydelig over noen få gigahertz. Dette kan forklares med at linjene lavest i frekvens er knyttet til høyere rotasjonskvantetall (se Tabell 1), og dermed tilstander som er mindre populert, noe som betyr at det er færre molekyler i rett tilstand tilgjengelig.

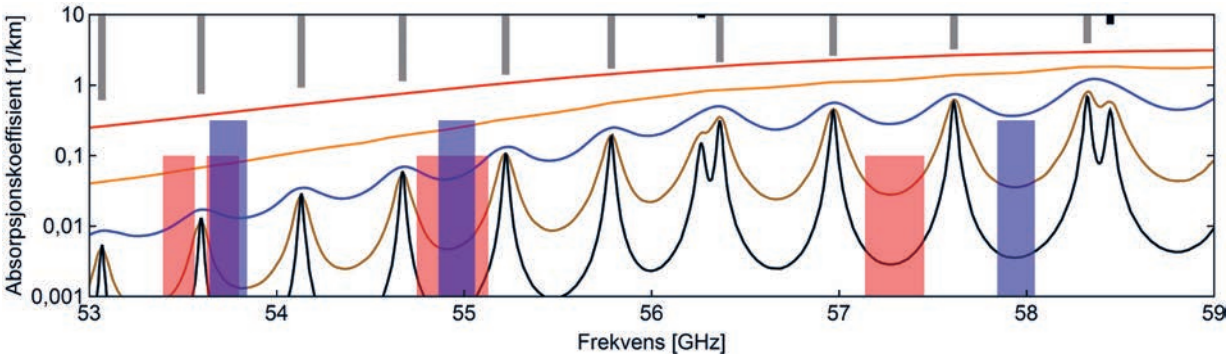
Ved å se på frekvenser med høy absorpsjon, vil man måle den ytre atmosfæren, mens frekvenser med lavere absorpsjon vil se ned mot overflaten.

Spektrometrenes følsomhetsområder er sentrert mellom linjene, for å unngå for stor absorpsjon i den øvre del av atmosfæren.

Måleprinsipp

Grunnprinsippet for målingene skulle nå være klart: Rotasjonsnivåene til O_2 termaliseres ved kollisjoner med andre molekyler, og ved deeksitasjon sendes det ut mikrobølgestråling.

Satellittene måler mikrobølgeintensiteten, og oversetter denne til en temperatur T_b («brightness temperature»). Strålingen som når sensoren, kommer fra ulike deler av atmosfæren, avhengig av tetthet (antall oksygenmolekyler), temperatur (via



Figur 3. Absorpsjon i området 53–58 GHz ved ulike atmosfæretrykk. Legg merke til den logaritmiske *y*-aksen, som betyr at det er stor variasjon i absorpsjon over noen få gigahertz. Kurvene viser utvikling fra smale, separerte linjer ved lave trykk til en bred linje ved atmosfæretrykk. (Rød 1000 hPa, orange 300 hPa, blå 100 hPa, brun 30 hPa og svart 10 hPa). Figuren viser også frekvensområdene for to ulike generasjoner satellitter, i form av blå og røde rektangler (den ulike høyden er kun for å øke lesbarheten). Legg merket til at måleområdene sentreres mellom linjene, for å redusere absorpsjon i den øvre del av atmosfæren. De svarte og grå søylene øverst viser frekvensene fra Tabell 1; lengden på søylene er proporsjonal med rotasjonskvantetallet *L*. Etter Mears og Wentz [6].

populasjonsnivået for aktuell frekvens) og absorpsjon/dempning.

Temperaturen spektrometeret ser, kan skrives som [6]

$$T_b = W_s T(0) + \int_0^{z_{maks}} W(z)\, T(z)\, dz \qquad (3)$$

der W_s er et overflatebidrag, $T(0)$ er overflatetemperaturen. z er null ved overflaten, og går i prinsipp opp til satellitten. I basistilfellet er z vertikal, men det må også beregnes for skrå målinger (se Figur 4).

Vektfunksjonen $W(z)$ avhenger av atmosfæreegenskapene. Hver målefrekvens vil ha sin unike vektfunksjon på grunn av den sterkt frekvensavhengige absorpsjonen.

Vektfunksjonene kan beregnes med avansert modellering, som tar hensyn til atmosfæreegenskapene som funksjon av høyde, og den resulterende absorpsjonen. Beregningene gir ulike vektfunksjoner avhengig av om man er over hav eller over land, og som er forskjellige for tropisk og arktisk atmosfære. Se eksempler i [6, 8].

Overflateleddet er bare av betydning for den laveste frekvensen.

Merk at likning (3) ikke brukes i noen form for inversjon: Vektfunksjonen beregnes for å identifisere hvilken del av atmosfæren signalet kommer fra. Dette betyr at man midler over tykke lag, som det normalt vil være betydelig temperaturvariasjon i. Dette er akseptabelt fordi det som rapporteres er endring i temperatur.

Tabell 1. Det er to linjer for hver *L*. Alle linjene ligger innen noen få gigahertz fra 60 GHz. Tabellen viser linjene i området 53 GHz til 59 GHz, som er relevant for satellittmålingene. Linjer merket med (*) er overgang $J = L \rightarrow J = L + 1$, de øvrige er $J = L \rightarrow J = L - 1$. Utdrag fra en fullstendig tabell i [5].

Kvantetall *L*	Frekvens [GHz]
1	56,26 (*)
3	58,45 (*)
9	58,32
11	57,61
13	56,97
15	56,36
17	55,78
19	55,22
21	54,67
23	54,13
25	53,60
27	53,07

Måling og kalibrering

Detaljene i måleprogrammet avhenger av hvilken generasjon satellitt det gjelder. I prinsipp måles mikrobølgeintensiteten i løpet av noen sekunder rett ned og noen stasjoner ut til hver side (se Figur 4). I tillegg måles for kalibrering mot verdensrommet (den kosmiske bakgrunnsstrålingen) og et mål («Hot target») i satellitten med kjent temperatur, målt med flere uavhengige temperatursensorer.

Målingen med ulike vinkler åpner for en forbedret vertikaloppløsning, som spesielt brukes ved måling av temperaturen i nedre del av troposfæren (TLT – «Temperature Lower Troposphere»). Figur 4 skisserer hvordan dette virker. Med negativ vekt til de ytre skrå målingene, som måler mer av den øvre atmosfæren, kan følsomhetsområdet «presses nedover». Bemerk at størrelsen på området betyr at lokal tid varierer omtrent en hel time.

Satellittbaner

Satellittene går i nær polare, solstasjonære baner, i en høyde på rundt 850 km og omløpstid rundt 100 minutter [9].

Dette betyr umiddelbart at det må en korreksjon til: Man må konvertere fra temperaturutvikling på et bestemt tidspunkt på dagen til et gjennomsnitt over døgnet. Dette kompliseres ytterligere av at de ulike satellittene måler på forskjellig tidspunkt.

Ved 850 km er atmosfæren tynn, men ikke fraværende. Spesielt i perioder med høy solaktivitet, som presser atmosfæren utover, vil satellittene påvirkes av friksjonen og over tid miste høyde. Konsekvensen av dette ble påpekt i en viktig artikkel i 1998 [10], og medførte at temperaturutviklingen fra satellitt måtte justeres opp med omtrent 0,1 K per tiår.

Påvirkningen av satellittbanen vil også over tid føre til at observasjonstidspunktet endrer seg, noe som betyr at en korreksjon er nødvendig, som vil variere avhengig av om man er over land eller hav.

Leverandører og datasett

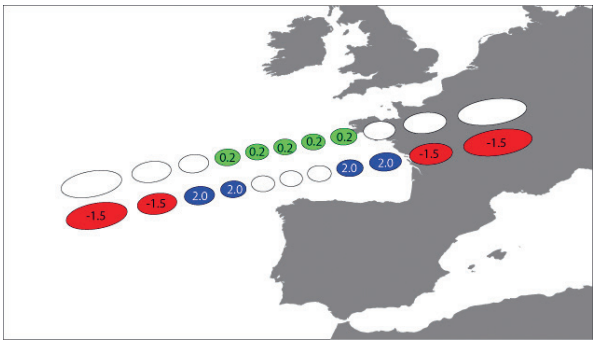
Det er to leverandører som månedlig oppdaterer sine temperaturestimater: University of Alabama at Huntsville og Remote Sensing Systems (RSS). Begge har eksperter som har jobbet med problemstillingen i flere tiår, og begge har gitt viktige bidrag til forbedring av metodikken.

Litt forenklet leverer begge tre «ikke-ekstrapolerte» produkter, dvs. direkte resultat basert på måling av én frekvens [6]:

TLS: «Temperature lower stratosphere.» Den øvre frekvensen i Figur 3. Måler primært nedre del av stratosfæren.

TTS: «Temperature troposphere stratosphere.» Den midlere frekvensen i Figur 3. Bidrag fra øvre troposfære og nedre stratosfære.

TMT: «Temperature middle troposphere.» Den laveste frekvensen i Figur 3. Måler primært troposfæren, men har et lite bidrag fra stratosfæren.



Figur 4. Prinsippskisse av måleprogram. Satellitten måler i løpet av noen sekunder rett ned og noen stasjoner ut til siden. Tallene i ellipsene er vekttall. Den øvre raden brukes for øvre del atmosfæren; her midles fem stasjoner for å forbedre signal-støy-forholdet. Den nedre raden brukes for nedre troposfære; her gis skråmålingene negativ vekt for å presse følsomheten nedover. Fra [7], med tillatelse fra RSS. Se også Mears et al. [8].

I tillegg leveres som nevnt TLT som beregnes ved en mer avansert metode. RSS leverer også TTT («Temperature total troposhere») som beregnes med

$$\mathrm{TTT} = 1{,}1 \cdot \mathrm{TMT} - 0{,}1 \cdot \mathrm{TLS}. \qquad (4)$$

Poenget er å fjerne mest mulig av stratosfærebidraget til TMT. Dette er viktig fordi øket andel drivhusgasser i atmosfæren forventes å gi kjøling av stratosfæren.

Nøyaktighet

I lys av de mange feilkildene er det vanskelig å kvantifisere usikkerheten. Det foregår en stadig forbedring av rutinene.

RSS oppdaterte i 2016 noen av sine datasett til versjon 4, for å få en bedre korreksjon for drift i måletidspunkt på grunn av satellittenes baneendringer.

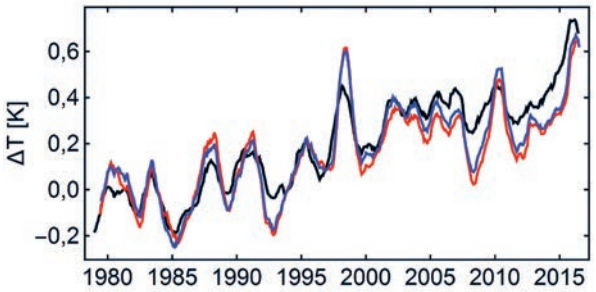
For TTT førte det til økning i temperaturutviklingen fra 0,13 K til 0,18 K per tiår [11].

TLT, troposfæretemperaturen, er foreløpig ikke oppgradert, fordi beregningene er mer komplisert. RSS har derfor manet til forsiktighet ved bruk av denne før ny versjon foreligger [12].

UAH oppdaterte i 2015/16 sine produkter fra versjon 5.6 til 6.0. I motsetning til RSS førte det til en reduksjon i temperaturutviklingen, fra 0,15 K til 0,12 K per tiår [11].

Fakta:

- Satellittene måler naturlig mikrobølgestråling nær 60 GHz.
- Absorpsjonen er sterkt frekvensavhengig fordi modene er knyttet til rotasjontilstander for O_2.
- 1. generasjon satellitter (Microwave Sounding Unit, MSU) kom i drift fra 1978.
- 2. generasjon (Advanced Microwave Sounding Unit, AMSU) kom i drift fra 1998.
- Framtidige temperaturestimater vil inkludere 3. generasjon satelliter (Advanced Technology Microwave Sounder, AMTS). Den første ble sendt opp i 2011.



Figur 5. Sammenlikning av de to satellittseriene (som har data fra 1979) og et landbasert datasett (rød: UAH, blå: RSS, svart: HADCRUT). Dataene er lastet ned fra tjenesten woodfortrees.org 14/2-2017. De er midlet med 12 måneders glidende middel, og de er justert slik at de har null middelverdi i perioden 1979–1995.

Figur 5 viser temperaturutviklingen fra 1979 for TLT datasettene til UAH (v6.0) og RSS (v3.3), sammen med et landbasert datasett. Det landbaserte datasettet viser 0,18 K per tiår, mens satellittene viser henholdsvis 0,12 K og 0,13 K. Det kan se ut som det er et økende avvik etter år 2005.

Det har vært antydet at man ser tilsvarende avvik mellom ballongdata og satellittdata i samme periode [13]. Det blir interessant å se hva neste versjoner av TLT datasettene sier om saken.

Carl Mears, RSS, sier: «... A similar, but stronger case can be made using surface temperature datasets, which I consider to be more reliable than satellite datasets (they certainly agree with each other better than the various satellite datasets do!)» [14].

Konklusjon

Jeg har skissert fysikken bak satellittmålt temperatur, og gitt en overordnet diskusjon av de viktigste utfordringene.

Satellittmålt temperatur er et verdifullt tilskudd til overvåkningen av temperaturutviklingen på jorda. Den har den åpenbare fordelen med mer jevn romlig fordeling og konsistent måling over hele kloden, men målingene har også mange utfordringer.

Tolkningsmetodikken har vært stadig utviklet ved systematisk arbeid i over 25 år, og har tatt store steg; fram til 1998 var resultatene direkte misvisende. Det er utfordringer knyttet til å sette sammen resultater fra mange ulike satellitter med baner som varierer over tid, og til å estimere gjennomsnittstemperaturen over døgnet basert på resultatene fra (langsomt varierende) tidspunkter.

Utviklingen pågår fortsatt (vi venter for eksempel på versjon 4 av TLT datasettet til RSS), så det er vanskelig å si noe presist om nøyaktighet. Grovt sett er overensstemmelsen med landbaserte datasett brukbar, og bekrefter et uomtvistelig faktum: Global oppvarming er pågående.

Takk

Jeg takker redaksjonen for mange innspill.

Referanser

1. P.C. Hemmer. *Kvantemekanikk*. Fagbokforlaget (2005). Side 99.
2. M. Tinkham. *Group Theory and Quantum Mechanics* (1964). McGraw-Hill. Side 254.
3. M. Tinkham og M.W.P. Strandberg. «Theory of the Fine Structure of the Molecular Oxygen Ground State». *Physical Review* 97 (1955), s. 937–966.
4. R. Tischer. «Zum EPR-Spektrum des molekularen Sauerstos». *Zeitschrift für Naturforschung* 22a (1967), s. 1711–1724.
5. P.H. Krupenie. «The Spectrum of Molecular Oxygen». *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 1 (1972), s. 423–534.
6. C.A. Mears og F.J. Wentz. «Construction of the Remote Sensing Systems V3.2 Atmospheric Temperature Records from the MSU and AMSU Microwave Sounders». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 26 (2009), s.1040–1056.
7. Remote Sensing Systems. «Upper Air Temperature». Besøkt 4. april 2017. Internettadresse: http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature/
8. C.A. Mears, F.J. Wentz, P. Thorne og D. Bernie. «Assessing uncertainty in estimates of atmospheric temperature changes from MSU and AMSU using a Monte-Carlo estimation technique». *Journal of Geophysical Research* 116 (2011), D08112.
9. J.R. Christy, R.W. Spencer og W.D. Braswell. «MSU Tropospheric Temperatures: Dataset Construction and Radiosonde Comparisons». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 17 (2000), s. 1153–1170.
10. F.J. Wentz og M. Schabel. «Effects of satellite orbital decay on MSU lower tropospheric temperature trends». *Nature* 394 (1998), s. 361–364.
11. K. Cowtan. «Temperature Trends». Online kalkulator, besøkt 4. april 2017. Internettadresse: http://www.ysbl.york.ac.uk/~cowtan/applets/trend/trend.html
12. Remote Sensing Systems. «Release of RSS V4.0 TMT and TTT Air Temperature Data». Besøkt 4. april 2017. Internettadresse: http://www.remss.com/node/5166/
13. G. Foster. «New RSS and balloons». Besøkt 4. april 2017. Internettadresse: https://tamino.wordpress.com/2016/04/02/new-rss-and-balloons/
14. C. Mears. «The Recent Slowing in the Rise of Global Temperatures». Besøkt 4. april 2017. Internettadresse: http://www.remss.com/blog/recent- slowing-rise-global-temperatures/

350 år siden Isaac Newtons «mirakelår»

Årene 1665/67 er begivenhetsrike år i matematikkens og fysikkens historie, og er kjent som vitenskapsmannen Isaac Newton sitt mirakelår.

Tor Arne Holm pensjonert lektor

Isaac Newton (1643–1727) er en av de største vitenskapsmennene gjennom alle tider. Etter min mening må en lærer i matematikk og fysikk (gjerne også i kjemi, filosofi og religion) referere til ham i undervisningen. I alle land handler halve pensum i matematikk og halve pensum i fysikk om Isaac Newton og hans oppdagelser og tanker. Dette gjelder både i videregående skole og universitet. Men før vi ser på hans bidrag til fysikken og matematikken, la oss starte med en kort historikk om Isaac Newton.

Oppveksten

Isaac Newton ble født i Woolsthorpe (England) den 4. januar 1643 og døde 31. mars 1727. Gården som familien eide, heter Woolsthorpe (Figur 2) og står der den dag i dag. Isaac ble født i rommet bak vinduet i 2. etasje til venstre.

Faren var bonde, og familien eide både jord og dyr, mest sauer. Faren, som også het Isaac Newton, døde tre måneder før sønnen kom til verden. Moren giftet seg på nytt da Isaac var tre år gammel. Hun forlot hjembygda for å bo hos sin nye mann, mens Isaac ble boende på Woolsthorpe under omsorg av morens foreldre.

Den voksne Newton var en vanskelig person og lite medgjørlig. Noen mener at det kan skyldes traumer rundt det at moren reiste fra ham som liten.

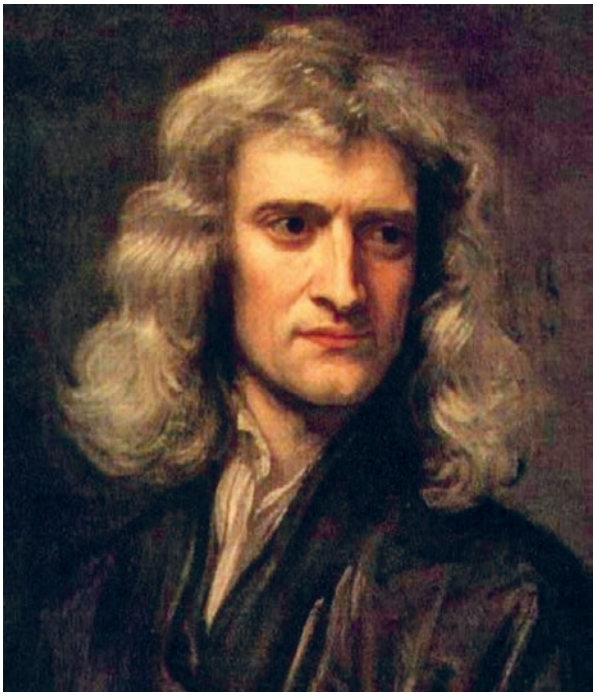
Han begynte på skole i Colsterworth der han bodde, men ble som 12-åring sendt til King's College i nabobyen Grantham. Her gikk han i seks år. Mens han gikk på skole der, bodde han hos byens apoteker, William Clarke. Den unge Newton fikk gjennom apotekeren innblikk i medisiner og kjemi.

Som attenåring begynte Newton å studere på Trinity College ved Universitetet i Cambridge. På den tiden var Trinity preget av teoriene til Aristoteles, men Newton foretrakk mer moderne filosofer som Descartes. Han leste også arbeidene til astronomene Galilei, Copernicus og Kepler. Professor Isaac Barrow så etter hvert hvilket geni han hadde fått som elev og i 1669 overga han sitt professorat til Newton.

Mirakelåret

Sommeren i 1665 brøt den store pesten ut og både Cambridge og Oxford ble stengt. Newton dro hjem til Woolsthorpe, og det var årene som fulgte at han utviklet følgende teorier:

- En metode for tilnærming av en løsning av en ligning ved hjelp av rekkeanalyse. Om man har en likning med en tilnærmet løsning, vil en rekkeutvikling rundt den tilnærmede løsningen gi et riktigere svar.
- I mai 1665 utviklet han en teori om tangenter. Hvordan skulle man finne tangenten til et punkt på en kurve? Problemet ble påkrevet når man i optikken skulle beskrive refleksjon av lysstråler mot en krum flate.
- I november 1665 utviklet han ytterligere teorien om den deriverte. Den deriverte er en teknikk til å finne hvor bratt det er i ethvert punkt på en kurve – stigningstallet eller gradienten. Jeg sier til elevene mine at den deriverte ble oppfunnet i romjula 1665!
- I januar 1666 kom han med en teori om lys. Han gjorde eksperimenter med lys på rommet sitt i annen etasje over kjøkkenet på Woolsthorpe. Newtons konklusjon var at lys er partikler, som han i 1704 beskrev i ett av sine hovedverk, *Opticks*. Christiaan Huygens i Nederland mente at lys er bølger, en teori han kom med i 1670. I dag mener fysikerne at lys er både bølger og partikler.
- I mai 1666 kom han med teorien om integraler, altså den antideriverte. Dette er teknikken man bruker for å regne ut arealer mellom kurver.
- Senere i 1666 begynte han å tenke på at gravitasjonen kunne rekke helt ut til månen og enda lenger. Det var i dette året han fikk idéen om at kraften som virker mellom jorda og sola, er proporsjonal med det omvendte av kvadratet til avstanden mellom sentrene til de to objektene.
- Han filosoferte over religion og skrev mange brev og skrifter m.m. Newton kunne ikke godta treenigheten i den kristne lære, nemlig at Jesus Kristus, Gud og Den hellige ånd er den ene og samme. Han var tilhenger av Arianismen; Jesus er et skapt vesen og er ikke guddommelig. I arianismen fant han sine trosfeller. Som student og professor ved Trinity College måtte han holde sine synspunkter på denne sentrale trosbekjennelsen hemmelig slik at han ikke skulle komme i diskreditt eller klammeri hos de bestemmende myndighetene og kongen.
- Det generelle binomialteoremet. Han begynte å utvikle matematikken som senere skulle bli kjent som matematisk analyse.



Figur 1. Isaac Newton. *Kunstner: Sir Godfrey Kneller*

Figur 2. Woolsthrope. *Foto: Tor Arne Holm*

De store teoriene ble utviklet i rommet bak vinduet til høyre i 2. etasje på Woolsthorpe (Figur 2).

Newton oppholdt seg på Woolsthorpe i nærmere to år og dro ikke tilbake til Cambridge før i april 1667. Newton har selv uttalt at disse to årene, 1665–1667 var høydepunktene i karrieren. Det må tilføyes at de overnevnte teoriene i matematikk og fysikk ikke ble fullendte på disse to årene. Han lot disse modne i to tiår, og de ble ikke offentliggjort før 1687.

Om man skriver Isaac Newton på latin og snur på rekkefølgen av bokstavene får man «Jeova Sanctus Unus» hvilket betyr «En hellig Gud». Newton kunne bruke dette som pseudonym i artikler han skrev artikler om alkymi.

Newtons hovedverk, *Principia*

I 1671 oppfant Newton speilreflekteleskopet. Prinsippet for hans konstruksjon brukes den dag i dag, i Hubbleteleskopet for eksempel. Han bygde

to, det ene er borte, men det andre kan du se i The Royal Society of London. Her kan du be om å få se Newtons teleskop, originale manuskripter og førsteutgaven av Newtons hovedverk, *Principia*.

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (ofte forkortet til *Principia*), et verk i tre bind, ble utgitt i 1687. Det var etter påtrykk og hjelp av Edmund Halley at *Principia* ble utgitt. Halley betalte av egne midler kostnadene med trykkingen. *Principia* dannet fundamentet for de neste århundrers utvikling innen astronomi og fysikk. Boken er den viktigste i vitenskapens historie sammen med Charles Darwins Artenes opprinnelse fra 1859 og Albert Einsteins avhandlinger fra 1905 og 1915. OK, Adam Smith også da (*Wealth of Nations*)!

Principia inneholdt formuleringer av alt det han hadde funnet ut av. Blant annet det som er blitt kjent som Newtons bevegelseslover, som ga grunnlaget hans for klassiske mekanikk, og hans universelle gravitasjonsteori. Her har han også utledet Keplers lover for planetenes bevegelser, som tidligere bare hadde vært empirisk fastslått. I *Principia* er det masse geometriske betraktninger og disse hadde Newton lært ved å lese Euclids *Elementer*.

I 1672 publiserte Newton resultatene fra forsøkene han hadde gjort om lys i 1665/1666. Det ene var blant annet hvordan det hvite lyset avbøyes i forskjellige farger. Forsøket hans gikk ut på at han lot en smal stråle av hvitt lys treffe et glassprisme. Han observerte at lystet ble splittet opp i et fargespekter. Newton antok da at hvitt sollys var sammensatt av alle fargene i regnbuen, og at de ble avbøyd i forskjellige grad når de passerte gjennom glassprismet. Det røde lyset avbøyes minst, mens det blå lyset avbøyes mest.

Newton var den første til å bevise at hvitt lys er laget av alle fargene vi kan se. Et annet eksperiment han gjorde var å sende et ensfarget lys gjennom et prisme. Dette var fortsatt ensfarget og ble ikke splittet opp ytterligere. Vi kan finne prismet som Newton brukte til sine forsøk i Whipple Museum i Cambridge.

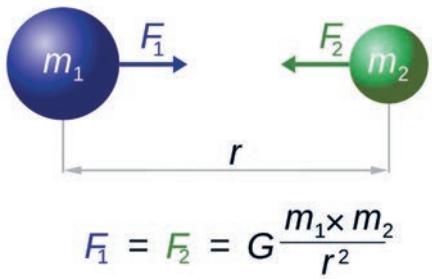
Figur 3. Bildet viser orginaltegningen som Newton tegnet av speilteleskopet som han konstruerte i 1671. *Foto: Tor Arne Holm*

Newtons gravitasjonsteori

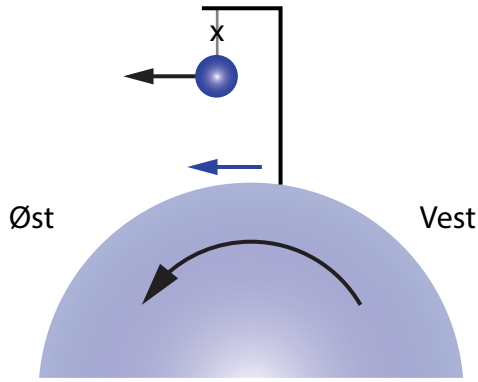
Da er det tid til å se på en av de store konklusjonene om verden som Isaac Newton har gitt oss. Mange kjenner historien om da den unge Newton satt under et av epletrærne i hagen i Woolsthorpe. Epletreet står fortsatt med de samme røttene som det i 1650. Da falt et eple ned på bakken og alltid loddrett. Newton begynte å tenke på hva som forårsaket dette. Hva med månen, dette som fikk eplet og alle ting til å falle på bakken, kunne «dette» nå opp til månen? Var «dette» like stort der månen er som i hagen? Han kalte «dette» en kraft. Det hadde han fra Galileo Galilei. Newton viste at fartsøkningen per sekund, akselerasjonen, her på jordoverflaten er 9,8 m/s^2.

Det var kjent at avstanden til månen er 60 ganger lengre ut enn jordklodens radius. Det var også kjent at månen bruker 27,3 døgn på runden og dermed kan man lett regne ut at banefarten til månen er 1020 m/s. Men månen går ikke i rett linje framover, den følger en buet kurve og faller innover

Figur 4. Newtons gravitasjonslov. To masser m_1 og m_2 drar i hverandre med en kraft $F_1 = F_2$. Kraften er proporsjonal med produktet av de to massene og omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden r mellom dem.



Figur 5. Oppsettet til Benzenbergs fallforsøk.



mot jorden. Formelen for å regne ut månens akselerasjon mot jorden er v^2/r, utledet av Christiaan Huygens i 1659. Liten r er 60 jordradier; jordens radius = 6 375 000 m. Innsatt får vi at månen har en akselerasjon mot jorda på 0,0027 m/s^2. Noe av det geniale med Newton er at han regnet ut at 0,0027 : 9,8 = 1 : 3600. Ja vel, 3600 – hva så? Jo, 3600 er 60^2! Altså finner han ut at et legeme som er der månen er, nemlig 60 ganger lenger ut, faller med 1 : 60^2. Han fikk da teften av at kraften som gjør at alle ting faller, går som $1/r^2$. Det var gutten sin det!

Vi tar en til! Et sted nord for ekvator (i England?) henger ei kule i en bøyle i ei kort snor, og slippes, se Figur 5. Hvor vil kula treffe bakken i forhold til fotpunktet rett under kula da den hang der oppe? Dette er en fin øvelse for alle. Problemet ble diskutert heftig i England i siste halvdel av 1600-tallet. Det var Newton som kom med denne utfordringen, og han mente at resultatet ville kunne fortelle noe om jordas rotasjon. Forsøket er kjent som Benzenbergs fallforsøk.

Idet kula slippes, har den større tangentiell fart enn bakken under fordi den har større avstand fra rotasjonsaksen. Alle punkt på bakken går i sirkelbane fra vest mot øst. Newton mente at kula ville treffe bakken øst for fotpunktet på grunn av den større tangentielle farten mot øst. Men dette er bare halve svaret: Mens kula er i fall, følger fotpunktet sirkelbanen, og kula vil nok lande øst for, men også litt sør for fotpunktet. I brev til Robert Hooke 14. desember 1679 innrømte Newton at han tok feil, og at Hooke hadde funne det rette svaret.

Robert Hooke la fram resultatet av problemstillingen hos The Royal Society of London og han trakk frem Newtons forslag og at den store mester tok feil. Dette var lite klokt av Hooke; etter dette ville ikke Newton vite av Hooke og Newton ville ikke sette sine bein i The Royal Society før Hooke var borte. Først fra 1703, etter Hookes død, ble Newton medlem av akademiet. Vi må nevne at Robert Hooke er en av de store fysikerne og matematikerne. Han oppfant lommeuret og han konstruerte en regnemaskin. Hans hovedinteresse var biologi og studier av celler.

Newton vs. Leibniz

Vi kan ikke forlate Newton uten å nevne tvisten mellom ham og Gottfried Leibniz (1646–1716). Det viser seg at Newton oppfant teorien om den deriverte i 1665/66, men han offentliggjorde ikke nyvinningen før i 1693! Leibniz derimot, oppfant teorien om den deriverte senere enn Newton, men Leibniz offentliggjorde resultatene allerede i 1676. På grunn av dette oppstod det en konflikt – Leibniz og hans tilhengere mente at Leibniz var først ute mens Newton og hans tilhengere mente at Newton var først ut. Leibniz var flere ganger på besøk til London og Newton mente at Leibniz måtte ha stjålet oppdagelsen om den deriverte. Leibniz derimot hevdet at han oppdaget teorien om den deriverte på egen hånd og han la frem bevis på det! Bl.a. har han en annen tilnærmingsmåte til problemet enn det Newton har. Når teorien om den deriverte omtales må begge nevnes. For øvrig er det Leibniz' notasjoner som brukes i faget i dag.

Tvisten mellom Newton og Leibniz medførte at matematikken ble liggende etter i Storbritannia. I Europa for øvrig gjorde matematikken store fremskritt gjennom Leibniz, Bernoulli, Euler, Laplace, d'Alembert og andre.

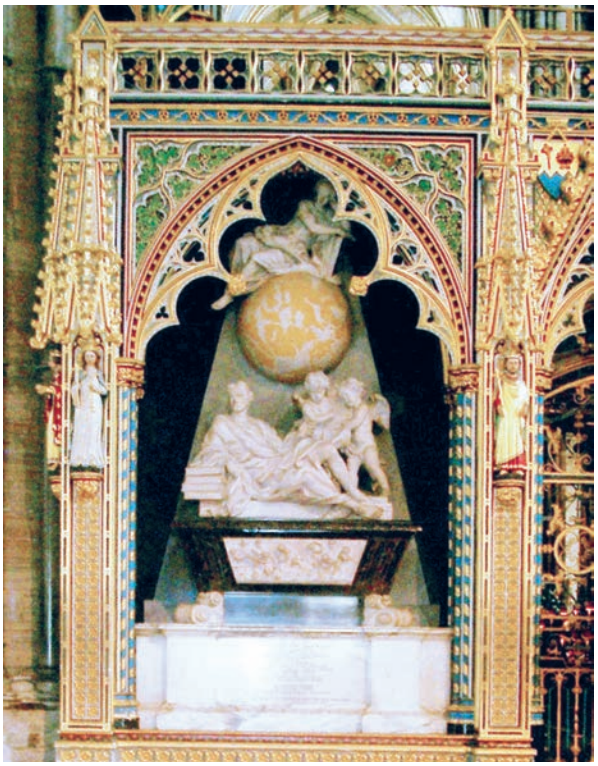
En kjempe er død

Newton ble gitt en statlig begravelse i 1727, åtte dager etter sin død, og ligger begravet i Westminster Abbey. Hans gravsted er ubeskrivelig vakkert (Figur 6).

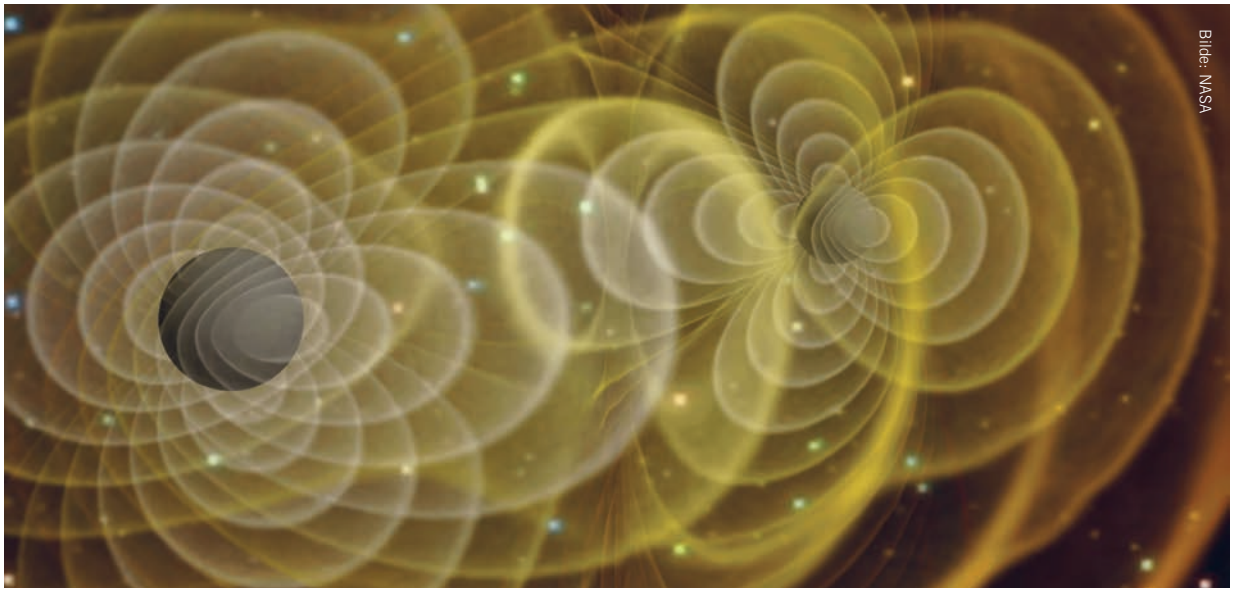
Newton var aldri gift og han fikk heller ingen barn. Derfor er det ingen som lever i dag som er i direkte avstamning etter ham.

Referanser

1. Michael White. *The Last Sorcerer.* Fourth Estate. London, England.
2. Thomas Levenson. *Newton and the Counterfeiter*. Faber and Faber. London, England.
3. Peter Aughton. *The Story of Astronomy*, s. 134. Quercus Publishing. London, England.



Figur 6. Newtons gravsted i Westminster Abbey. En figur av Newton lener seg på en stabel av sine verker, mens guttene ved siden av ham bruker instrumenter som er relatert til Newtons arbeid: et teleskop og et prisme. Over dem er en himmelkule med stjernebilder.


Bilde: NASA

Gravitasjonsbølger, svarte hull og mørk materie

I løpet av et kvart år har LIGO-detektoren registrert to gravitasjonsbølgepulser. Detaljerte analyser har vist at begge pulsene kom fra doble svart hull-systemer som kollapset slik at de svarte hullene smeltet sammen. Dette har fått kosmologer til å undres på om svarte hull kanskje utgjør en del av den mørke materien.

Øyvind G. Grøn Høgskolen i Oslo

Den første observasjonsperioden med Advanced LIGO-detektoren fant sted fra 12. september 2015 til 19. januar 2016. Allerede den andre dagen i den første observasjonsperioden for Advanced LIGO ble det registrert gravitasjonsbølger fra kolliderende svarte hull. Denne oppdagelsen ble annonsert 11. februar 2016 [1, 2]. En oppsummering av resultatene fra den første observasjonsperioden kom 22. juni 2016 [3]. Fysikken knyttet til utsendelse og registrering av gravitasjonsbølger fra kolliderende svarte hull ble presentert av LIGO-teamet i en omfattende, halvpopulær artikkel den 5. august 2016 [4]. Detektoren oppgraderes nå for å oppnå større følsomhet, og den neste observasjonsperioden vil etter planen starte høsten 2016 og vare et halvt år før det blir en ytterligere oppgradering.

Ny registrering av gravitasjonsbølger fra kolliderende svarte hull

Den 15. juni 2016 annonserte LIGO-teamet i en artikkel i *Physical Review Letters* [5] at de hadde en sikker registrering av gravitasjonsbølger fra nok en sammensmelting av svarte hull i et dobbelt svart hull-system.

Disse gravitasjonsbølgene ble registrert 26. desember 2015 og betegnes derfor med GW151226 (Gravitational Wave år-måned-dato). En grundig analyse av signalene (Figur 1) ledet til den konklusjon at bølgene kom fra en sammensmelting av to svarte hull der det ene hadde $14{,}2^{+8{,}3}_{-3{,}7}$ solmasser og det andre 7,5 ± 2,3 solmasser, mens den totale massen er $21{,}8^{+5{,}9}_{-1{,}7}$ solmasser. Det svarte hullet som ble dannet i sammensmeltningen hadde en masse på $20{,}8^{+6{,}1}_{-1{,}7}$ solmasser. Siden hele energitapet omgjøres til gravitasjonsbølger, betyr det at en energi som svarer til omtrent én solmasse ($E = mc^2$) ble sendt ut i form av gravitasjonsbølger.

De første gravitasjonsbølgene registrert av LIGO, GW150914, kom fra en sammensmelting av to svarte hull med henholdsvis 36 og 29 solmasser. Dette signalet varte i 0,2 sekunder, og man registrerte gravitasjonsbølger fra de siste 8 rundene før sammensmeltingen. Signalet registrert andre juledag 2016 varte omtrent ett sekund – fem ganger så lenge. Det kom av at de svarte hullene hadde mindre masser, som gjorde at en større del av runddansen før de svarte hullene smeltet sammen, kunne observeres i den siste registreringen. Her ble det registrert gravitasjonsbølger fra de siste 27 rundene fra sammensmeltingen. Dette var viktig for å kunne trekke ut mer informasjon for eksempel om de svarte hullenes rotasjon fra observasjonene.

Har LIGO registrert mørk materie?

17. mars 2016 offentliggjorde S. Clesse og J. Garcia-Bellído et preprint [6] (en artikkel som ikke er blitt fagfellevurdert eller publisert i et vitenskapelig tidsskrift ennå) hvor de diskuterte om den mørke

materien kan bestå av den typen svarte hull som sendte ut gravitasjonsbølgene registrert med LIGO. 19. mai ble det publisert en artikkel (7) av S. Bird et al. med overskriften «Did LIGO detect dark matter?». Disse artiklene ble skrevet før det andre gravitasjonsbølgesignalet ble registrert. LIGO-teamet utledet fra denne registreringen at det inntreffer mellom 2 og 53 slike sammensmeltinger av svarte hull per år innenfor en avstand på 3,3 milliarder lysår. Etter LIGOs andre registrering er dette blitt oppdatert til mellom 9 og 240 sammensmeltinger.

Ifølge standardmodellen for universet består omtrent 25 % av universets innhold av mørk materie. I flere tiår har forskerne prøvd å finne ut hva denne mørke materien er for noe. Alt fra elementærpartikler til svarte hull har vært vurdert og lett etter. Ingen partikler som kan utgjøre den mørke materien, har vært funnet. Og man har ment at det har vært for få svarte hull i universet til at de kan utgjøre den mørke materien. Dessuten har observasjoner der den gravitasjonelle linseeffekten har vært brukt, ledet til at svarte hull med mindre enn 20 solmasser ikke kan utgjøre den mørke materien. Og studier av dobbeltstjerner har vist at den mørke materien ikke kan bestå av svarte hull med over 100 solmasser. Ifølge Bird og medarbeidere gjenstår vinduet mellom 20 og 100 solmasser som en mulighet. Men det diskuteres om dette er realistisk i lys av Plancksatellittens observasjoner av temperaturvariasjoner i den kosmiske mikrobølgede bakgrunnsstrålingen. Det hevdes at slike svarte hull ville ha satt spor etter seg der som ikke er blitt observert. Bird et al. hevder [7] at det er store usikkerheter forbundet med denne konklusjonen.

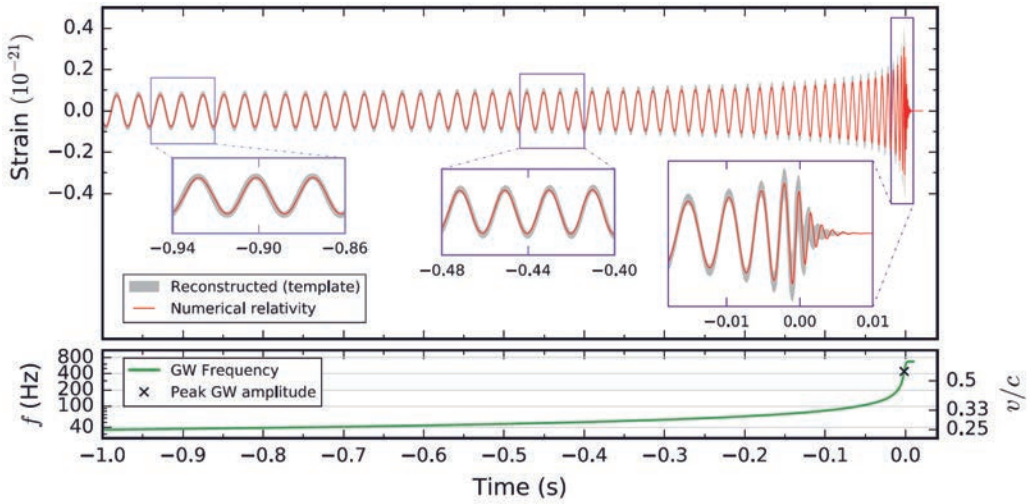
Clesse et al. og Bird et al. har uavhengig av hverandre beregnet forventet antall LIGO-registreringer av gravitasjonsbølger fra kolliderende svarte hull i dobbelt svart hull-systemer ut fra en antagelse om at universets mørke materie består av svarte hull.

Den antatte mekanismen for å danne doble svart hull-systemer er at de svarte hullene dannes et og ett, men at når to svarte hull beveger seg slik at de kommer ganske nær hverandre, vil de danne et system som sender ut gravitasjonsbølger. Dermed taper de energi. Dersom energitapet er større enn den opprinnelige bevegelsesenergien til de svarte hullene i et referansesystem der systemets massesenter er i ro, vil de bli bundet til hverandre og danne et dobbelt svart hull-system. Så går de i spiralbane inn i hverandre og smelter sammen i en kjempemessig kollisjon der en del av energien går over til gravitasjonsbølger som sendes ut.

Etter et halvt år med observasjonspause for å oppgradere detektoren, ble en ny observasjonsperiode startet 30. november 2016 med 25 % større følsomhet enn tidligere. LIGO skal etter planen være virksom i minst 6 år fremover, og i 2019 skal LIGO oppgraderes til å kunne registrere gravitasjonsbølger fra kolliderende svarte hull hvert med rundt 30 solmasser, ut til en *reisetidsavstand* (antall lysår lik antall år gravitasjonsbølgene har brukt på reisen fra de ble sendt ut til ankomst jorda) på 6,8 milliarder lysår.

Forskerne har beregnet at dersom all den mørke materien i universet består av svarte hull i doble svart hull-systemer, opptrer det omtrent tre sammensmeltinger per år av svarte hull med rundt 30 solmasser innenfor en reisetidsavstand på 3 milliarder lysår. I så fall vil LIGO i disse seks årene registrere omtrent 600 gravitasjonsbølgesignaler fra slike kilder. Dette betyr også at hvis LIGO observerer 60 gravitasjonsbølgesignaler fra kolliderende svarte hull de neste 6 årene, så bidrar doble svart hull-systemer med omtrent 1/10 av den mørke materien.

Figur 1. Gravitasjonsbølgesignalet registrert av LIGO-detektoren 26. desember 2015. Begynnelsesfrekvensen var 35 Hz som økte gjennom 55 perioder til en frekvens på 450 Hz. De svarte hullene sender ut to gravitasjonsbølger per runde, så LIGO registrerte gravitasjonsbølger fra de siste 27 rundene før de svarte hullene smeltet sammen. Rett før sammensmeltingen var hastigheten til hullene omtrent halvparten av lysets hastighet.



Opprinnelige svarte hull

De svarte hullene som sendte ut gravitasjonsbølgene registrert med LIGO, kan være dannet tidlig i universets historie, lenge før det eksisterte noen stjerner. Slike svarte hull kalles *opprinnelige svarte hull* («primordial black holes») og ble dannet da universet bare var $(M/M_\odot)\,10^{-5}$ sekund gammelt, der M er det svarte hullets masse, og $M_\odot$ er massen til sola. For eksempel ble opprinnelige svarte hull med 30 solmasser dannet da universet var 1/3 millisekund gammelt. Antall per volumenhet av de opprinnelige svarte hullene med masse M er proporsjonalt med $1/M^{5/2}$. Så jo større massen av de opprinnelige svarte hullene er, desto færre er det av dem.

Kashlinsky [8] har bidratt til dette forskningsområdet med en artikkel publisert i *The Astrophysical Journal Letters* 24. mai 2016. Han har argumentert for at en populasjon av opprinnelige svarte hull som er stor nok til å stemme med LIGO-kilden til gravitasjonsbølger, også vil bidra til å forklare observasjoner av den kosmiske infrarøde bakgrunnsstrålingen. Noe av denne strålingen kommer fra kvasarer, men størsteparten, anslagsvis 50 % til 70 %, kommer fra ultralyse infrarøde galakser milliarder av lysår fra jorda – ikke helt nok til å kunne forklare den observerte infrarøde bakgrunnsstrålingen.

De svarte hullene vil øke ujevnhetene i massefordelingen og dermed hyppigheten av stjerneproduksjon. Stjernene sender ut energirik stråling, og en del av den omformes til infrarød stråling når den treffer den interstellare materien. Dermed vil de svarte hullene bidra til økt infrarød stråling, og en bedre overensstemmelse mellom teori og observasjon.

I en artikkel publisert 2. august 2016 i *Physical Review Letters* har M. Sasaki og medarbeidere gått videre og undersøkt hvordan svarte hull med rundt 30 solmasser i doble svart hull-systemer kan være dannet tidlig i universets historie. Ifølge Sasaki et al. er det ikke nødvendig at all den mørke energien i universet utgjøres av de svarte hullene for å forklare hyppigheten av doble svart hull-systemer utledet fra LIGO-registreringen. Det er nok at bare en tusendel av den mørke materien består av slike svarte hull for å forklare LIGO-hyppigheten av dem. De konkluderer med at kilden til gravitasjonsbølgene registrert av LIGO kan være en sammensmelting av opprinnelige svarte hull dannet ved universets begynnelse, men at slike svarte hull trolig bare utgjør en liten del av den mørke materien.

L. Chen og medarbeidere presenterte 9. august 2016 et preprint der de analyserte hvilke begrensninger Plancksatellittens observasjoner av temperaturvariasjoner i den kosmiske mikrobølgede bakgrunnsstrålingen setter på antallet opprinnelige svarte hull per volumenhet. De fant at med det maksimale antall opprinnelige svarte hull som Planckdataene tillater, vil det inntreffe opp til to slike sammensmeltinger av svarte hull med 30 solmasser per tusen år innenfor en avstand på 3,3 milliarder lysår, fem per år for svarte hull med 10 solmasser og 2000 per år med to solmasser. Deres konklusjon er derfor at det er svært usannsynlig at de svarte hullene som sendte ut LIGO-gravitasjonsbølgene er av den opprinnelige typen.

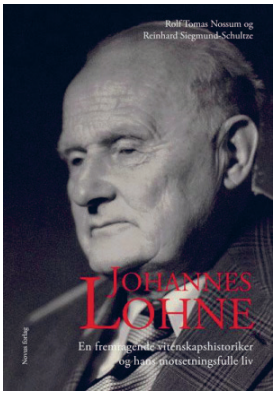
Men som dokumentert ovenfor, er dette en diskusjon som langt fra er avsluttet. Vi er ved starten av et nytt forskningsområde, og kan forvente en stor økning av antall registrerte gravitasjonsbølgesignaler de kommende årene. Ved hjelp av observasjoner i flere frekvensområder kommer vi til å lære mye om hyppigheten av ulike typer kilder for gravitasjonsbølger. Etter hvert kommer vi også til å få vite hvor stor andel av den mørke materien de svarte hullene utgjør.

Referanser

1. The LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration. «Observation of gravitational waves from a binary black hole merger.» *Physical Review Letters* 116, 061102 (2016).
2. Ø. Grøn. «Gravitasjonsbølger observert.» *Fra Fysikkens Verden* 1 (2016), s. 3–5.
3. The LIGO Scientific Collaboration og the Virgo Collaboration. «Binary black hole mergers in the first Advanced LIGO observing run.» Internettadresse: https://arxiv.org/abs/1606.04856
4. The LIGO Scientific Collaboration og the Virgo Collaboration. «The basic physics of the binary black hole merger GW150914.» Internettadresse: http://arxiv.org/abs/1608.01940v1
5. The LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration. GW151226: «Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence.» *Physical Review Letters* 116, 241103 (2016).
6. S. Clesse og J. Garcia-Bellído. «The clustering of massive Primordial Black Holes as Dark Matter: measuring their mass distribution with Advanced LIGO.» Internettadresse: http://lanl.arxiv.org/pdf/1603.05234
7. S. Bird et al. «Did LIGO detect dark matter?» *Physical Review Letters* 116, 201301 (2016).
8. A. Kashlinsky. «LIGO Gravitational Wave Detection, Primordial Black Holes, and the Near IR-Cosmic Infrared Background Anisotropies.» *The Astrophysical Journal Letters.* 823: L25 (2016).
9. M. Sasaki et al. «Primordial black hole scenario for the gravitational-wave event GW150914.» *Physical Review Letters* 116, 061101 (2016).
10. L. Chen, Q. G. Huang og K. Wang. «Constraint on the abundance of primordial black holes in dark matter from Planck data.» Internettadresse: http://lanl.arxiv.org/pdf/1608.02174

Bokmelding:

Johannes Lohne: En fremragende vitenskapshistoriker og hans motsetningsfulle liv
Rolf T. Nossum og Reinhard Siegmund-Schultze
250 sider, Novus forlag, 2017



Da det i USA skulle finnes passende stillinger for de mange framstående fysikere og matematikere som hadde flyktet fra Hitlers Tyskland, kom et forslag om *fyrvokter* fra Einstein. Men er vitenskapelig arbeid i fullstendig isolasjon mulig? Denne biografien over Johannes Lohne viser at ensomme svaler også kan bygge noe varig.

Lohne tok artium på latinlinjen i Stavanger. Etter studier i fysikk og matematikk i Oslo ble han cand.real i 1932. Lohne arbeidde som gymnaslærer i Flekkefjord, uten vitenskapelige kontakter og uten forskningsmidler. Likevel publiserte han viktig vitenskapshistoriske artikler om 1600-tallets fysikk og matematikk i velansette tysk- og engelskspråklige tidsskrifter. Eksperter på feltet fant Lohnes arbeider svært interessante.

I Lohnes artikkel fra 1960, «Hooke versus Newton», går han inn i striden mellom Robert Hooke og den sju år yngre Newton. Striden inneholdt plagiatbeskyldninger og en kuriositet som at Hookes portrett forsvant fra the Royal Society etter at Newton ble president for vitenskapsselskapet.

Lohne er svært grundig, holder seg utelukkende til originalmanuskriptene, og kontrollerer i detalj argumentene, beregningene og eksperimentene. Utgiveren av Newtons verker, Derek Whiteside, skriver i anmeldelse av «Hooke versus Newton» at Lohnes artikkel «cuts sharply through a century of muddled thoughts on the topic by Newton historians».

I 1958 hendte noe overraskende. Lohne dro til Universitetet i Oslo for å studere de klassiske optiske manuskriptene til den arabisk lærde Alhazen fra det 11. århundre og den polsk-tyske fysikeren Witelo fra det 13. århundre, samlet i én bok av Friedrich Risner. Boken i Oslo var en gave fra danskekongen til oppstarten av universitetet i 1811. På nestsiste side fant Lohne en tabell med lysbrytingsobservasjoner, skrevet med blekk. Disse handskrevne innføringene var datert Syon 1597–98, med initialene T.H. Nå husket Lohne at Kepler i 1606 hadde mottatt et brev med nøyaktige brytningsindeksmålinger fra engelskmannen Thomas Harriot. I brevet antyder Harriot at han kjenner en lovmessighet for lysbryting, uten presist å angi denne, nå vanligvis kalt Snells lov. Lohne studerte derfor Harriots manuskripter i British Museum i London, og påviste at Harriot kjente til loven for lysbrytning lenge før Snell. En må kunne si at det var et lykketreff for Lohne at Harriots private eksemplar av boka befant seg i Oslo.

Thomas Harriot var en bredt orientert vitenskapsmann, og arbeidet spesielt med matematikk og fysikk, det siste også eksperimentelt. Han innførte i matematikken tegnene > og < for større og mindre enn. Ved hjelp av teleskopet tegnet han et kart over månen, fire måneder før Galilei. Harriot var sponset av Walter Raleigh og Henry Percy, jarlen av Northumberland. Han hadde både bolig og laboratorium på jarlens landsted Syon. Han trengte derfor ikke publisere, og det finnes ingen vitenskapelig publikasjon skrevet av Harriot, bare manuskripter.

I 1979 publiserte Lohne i *Archive for History of Exact Sciences* en 223 siders artikkel «Essays on Thomas Harriot». Artikkelen inneholdt blant annet en oversikt over Harriots manuskripter. Lohne ble nå anerkjent som en sentral Harriot-forsker. Den ledende kjenner av Harriots matematikk, Jacqueline Stedall, skrev i 2000: «In recent years, by far the best and most sustained research on Harriot's science and mathematics was done by Johannes Lohne.»

Lohnes «motsetningsfulle liv» står det i bokas tittel. I 1945 ble Lohne dømt til 7 års tvangsarbeid for å ha vært frontkjemper i den norske legion. Det var frykten for et sovjetdominert Europa som drev ham til å verve seg. Lohne ble frigitt etter at halve straffen var sonet. Det tok ikke lang tid før han var tilbake i læreryrket, først i midlertidige stillinger, fra 1950 i Flekkefjord. Det var først etter at han var ansatt i Flekkefjord at han startet å arbeide som vitenskapshistoriker.

Vitenskapshistorikeren Johannes Lohne må sies å være fullstendig ukjent hertillands. Forhåpentligvis vil denne velskrevne biografien i noen grad kunne bøte på det.

Per Chr. Hemmer

Kommentar:

Feil om drivhuseffekten

I et innlegg i FFV 1/2017 kommenterer Arne Marius Raaen en artikkel i FFV 3/2016 skrevet av Solheim, Eriksen og Engebretsen med tittel «Et skoleforsøk med strålingsoppvarming av små drivhus (heretter SEE16)». Raaen hevder at vi skriver upresist og unøyaktig om drivhuseffekten, og at den «atmosfæriske drivhuseffekten» er forskjellig fra drivhuseffekten i drivhus. Det var det vi ville vise med våre enkle forsøk. Vi mener det er direkte feil å sammenligne jordas atmosfære med drivhus.

Jan-Erik Solheim tidligere Universitetet i Tromsø

Språkbruk

Raaen konkluderer med at «Våre eksperimenter viser at det er feil å sammenlikne jordas atmosfære med et drivhus». I *Principles of Planetary Climate* fra 2009 [1] 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, og å bruke plass på å argumentere om at analogien er dårlig er etter min mening som å utfordre fargene i kromodynamikken.

Svar: I en Stortingsmelding om Norsk klimapolitikk er det gitt en meget konkret definisjon av drivhuseffekten [1]: «... Drivhuseffekten er altså at vanndamp, gasser og partikler i atmosfæren virker som takene og veggene i et drivhus. Mer av varmen bevares i jordatmosfæren mens mindre forsvinner ut i verdensrommet igjen. Varmestrålingen sendes ut i alle retninger. Noe går ut i verdensrommet, men mesteparten går tilbake til jorda. De gassene som tar til seg varmestråling på denne måten kalles drivhusgasser eller klimagasser. De viktigste naturlige klimagassene er CO_2 og metan ... Menneskeskapte utslipp av klimagasser forsterker drivhuseffekten.»

For å undersøke om klimagasser kan erstatte tak i drivhus, slik som beskrevet i St. Mld. 21, har vi bygget et nytt sett av små drivhus med vegger og bunn av PMMA (polymethylmetakrylat) og innebygget varmekilde [2]. Her sammenlignet vi oppvarming av drivhus med tak med drivhus uten tak som inneholdt luft, CO_2 og ikke-drivhusgassen Argon. Drivhusene med Argon og CO_2 ble raskt varmere, men etter ca. 5 minutter forsvant varmen, mens drivhus med tak ble stadig varmere. Vi tolker dette som at gassene Argon og CO_2, som er tyngre enn luft, trenger mer varme for å settes i nok bevegelse til å forsvinne ut av drivhuset. Deretter trekkes luft inn, og vi får samme lave temperatur som i drivhus med luft uten tak. Jeg mener derfor at begrepet drivhuseffekt brukes meget konkret og feil av våre beslutningstakere. Vi har et ansvar som fysikere å påpeke dette.

Om forsøkene

Raaen: Eksperimentene ble gjort med lys som ikke vekselvirker mer med CO_2 enn med andre gasser. Skal man teste effekten av CO_2, må man ha en lyskilde som øker intensiteten ved 5 og 15 μm vesentlig over bakgrunnsnivået. I eksperimentene blir synlig og infrarødt lys absorbert av den svarte bakplaten og luften varmes via konveksjon og varmeledning. Burde ikke da resultatene vært analysert ut fra eventuell påvirkning av CO_2 på disse størrelsene?

Svar: Vi ønsket å gjenskape det som skjer på jordoverflaten. Den varmes opp av solinnstråling og stråler ut langbølget IR som stoppes av glass, men slippes gjennom av plastfilm. Vi ønsket å undersøke om mer CO_2 i drivhuset med plasttak gir høyere temperatur, men dette greide vi ikke å demonstrere. I våre nye forsøksserier [2] har vi utført forsøk som nettopp viser det som Raaen foreslår: hvordan luften varmes opp av konveksjon og varmeledning. Vi observerer lavere temperatur med mer CO_2 i drivhuset.

Fysiker Thorstein Seim har gjennomført en serie eksperimenter [3] med CO_2 i en beholder belyst med halogenlampe og IR-strålingskilder tilpasset de to absorbsjonsbåndene til CO_2. Ved ingen av eksperimentene fikk han temperaturforskjell mellom oppvarming av luft og forskjellige mengder CO_2. Kun når han hadde gassen på en flaske med tett kork, som anbefalt av NASA, fikk han temperaturøkning slik som forventet ved gasslovene.

Raaen: Utendørseksperimentene ble utført en fin septemberdag med 15 grader i skyggen, og man målte opp til 60 °C inne i drivhusene. 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 åpenbart at her har man hatt fuktighet i materialene i drivhusene, som har forhøyet duggpunktet betydelig!

Svar: Vi kan være enig med Raaen om at dette er en mulighet - selv om våre drivhus var malt innvendig med diffusjonstett maling. En annen forklaring er strålingsavkjøling mot et kaldere lag i atmosfæren. I våre nye drivhus med vegger av PMMA har vi ikke fuktighet i veggene.

Tilleggsinformasjon

Raaen: Sidekommentarene i *FFV* skal være anerkjent fysikk. Ønsker man å fremme andre ideer bør det være selvsagt 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 CO_2 andel av drivhuseffekten er 5,6 %. Man spør seg umiddelbart hvordan man kan bestemme det med slik presisjon? Sjekker man andre publiserte arbeider, finner man da også andre tall: Schmidt et al. oppgir f.eks. 19–24 % avhengig av skyer. CO_2's bidrag kan altså være 4 ganger så stort som SEE16 sier.

Svar: Her har Raaen ikke lagt merke til at vi referer våre tall til et arbeide av Harde [4]. I vår tekst står det «Nyere beregninger [4] viser at ved klar himmel blir ca. 83 % av strålingen fra bakken absorbert i atmosfæren. Innholdet av CO_2 i atmosfæren er nå ca 0,04 % volumdeler. CO_2 bidrar med 5,6 % av absorbsjonen. Ved dobling av CO_2 innholdet i atmosfæren absorberes ytterligere 1,5 % [4]».

Jeg kan nevne at Hardes beregninger er basert på HITRAN-08 data base med mer enn 96 000 spektrallinjer, og vertikal oppløsning i 228 lag, fra 100 m i troposfæren til 1.6 km i øvre mesosfære.

Forskjellen mellom Hardes resultat [4] og det som Raaen oppgir er at det vanligvis brukes en US standard atmosfære modell med en global middeltemperatur på 15 °C og lapse rate 6,5 °C/km, mens Harde bruker observert temperatur og trykk i tre klimasoner i tillegg til vanninnhold bestemt ved GPS observasjoner.

Raaen: På side 80 oppgis «klimafølsomheten» til 0,6 °C for dobling av CO_2 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.

Svar: Også her refereres det til Harde [4].

Appendiks – kan avgassing fra varmere hav forklare CO2 økningen?

Her ønsker Raaen å diskutere hvordan vi har forsøkt å forklare hvorfor temperaturen (i hav og på land) ser ut til å styre en del av CO_2-innholdet i atmosfæren. Her skal bare gjentas og kommenteres en påstand fra Raaen.

Raaen: Konvensjonelt antar man at omtrent halvparten av våre utslipp fortsatt er i atmosfæren, mens den andre halvparten fordeler seg mellom havene og biosfærene. Vil man hevde at økningen skyldes avgassing fra havene, må man komme opp med en helt ny beskrivelse av hvordan CO_2 fordeler seg.

Svar: I den siste IPCC rapporten (AR5) skrives det at de totale karbonutslipp omregnet til CO_2 utgjør 734–803 Gt/yr, hvor den antropogene delen utgjør 4,3 %. Videre antar IPCC at 15–40 % av antropogene utslipp blir i atmosfæren mer enn 1000 år, mens andre antropogene og naturlige utslipp reabsorberes ved naturlige biologiske og kjemiske prosesser. Tallene fra IPCC viser at 98 % av de årlige utslippene har en levetid på 4,1 år. En kan undre seg på hvorfor en liten andel (1,9 %) unndrar seg det naturlige kretsløp og forblir i atmosfæren slik som IPCC forutsetter [5].

Men, med utgangspunkt i de raske endringer mellom temperatur og CO_2 variasjoner slik som vi fant i våre analyser, og at mer CO_2 har resultert i en raskere og større plantevekst, konkluderer Harde [5] at naturlige prosesser har bidratt med 85 % av økningen av atmosfærisk CO_2 siden den industrielle revolusjon (1750). Antropogen del blir da 17 ppm eller 4,3 %. Han skriver også at en mer detaljert analyse gir en levetid på 8 mnd og en antropogen CO_2 del siden 1750 på 2,5 %.

Jeg kan også nevne et nyere arbeid av Nelson & Nelson [6] som analyserer fordelingen av CO_2 observasjoner over jorda de siste 33 år. Deres konklusjon er at økning av havtemperatur har bidratt med 2,3 % mens fossilt brensel har bidratt med 1,5 % av CO_2 innholdet i atmosfæren. Resten, dvs. mer enn 96 % skyldes andre faktorer, inkludert hav- og landbaserte biologiske prosesser. At CO_2 har høyeste konsentrasjoner ved polarsirkelen forklarer de ved at CO_2 fryser ut av is og snø.

Ut fra disse nyere analysene er jeg enig med Raaen at det ikke er mindre oppløselighet av CO_2 i havet på grunn av høyere temperatur som forklarer økt CO_2-innhold i atmosfæren, men at høyere temperatur over land og i havoverflaten fører til akselererende biologiske prosesser som frigir mer CO_2.

Referanser

1. Stortingsmelding 21, 2011–2012, Norsk Klimapolitikk, boks 2.2 Drivhuseffekten, s. 19.
2. http://www.geoforskning.no/12-mening/1484-pa-leting-etter-drivhuseffekten
3. http://www.geoforskning.no/nyheter/klima-og-co2/1308-et-lite-co2-eksperiment
4. H. Harde. «Advanced Two-Layer Climate Model for the Assessment of Global Warming by CO_2.» *Open Journal of Atmospheric and Climate Change* (2014).
5. H. Harde. «Scrutinizing the carbon cycle and CO_2 residence time in the atmosphere.» *Global and Planetary Change* (2017), doi:10.1016/j.gloplacha.2017.02.009.
6. M.D. Nelson og D.B. Nelson. «Oceans, Ice & Snow and CO_2 Rise, Swing and Seasonal Fluctuations.» *International Journal of Geosciences* 7 (2016), s. 1232–1282.

Herved er denne debatten avsluttet i *FFV*.
Red.

Anders Omholt

(1926–2017)

Anders Omholt døde 30. april 2017, vel 90 år gammel. Han hadde betydelige roller i norsk forskning og forskningspolitikk gjennom hele sitt yrkesaktive liv og langt inn i pensjonsalderen.

Anders Omholt ble født i Oslo den 27. november 1926, tok eksamen artium fredsvåren 1945, og startet realfagstudier ved Universitetet i Oslo. Matematisk/naturvitenskapelig embetseksamen, med fysikk som hovedfag, ble fullført i 1953. Etter dette fulgte, som for mange andre vordende forskere, flere år med midlertidige ansettelser som amanuensis og universitetslektor, og for Omholts del også studieopphold ved University of Belfast og ved Yerkes Observatory i Chicago. Hans arbeid i denne tiden førte fram til doktorgrad ved Universitetet i Oslo i 1959, og fra 1961 til 1963 var han førsteamanuensis ved Norsk Institutt for Kosmisk Fysikk ved Universitetet i Oslo. I 1963 ble han utnevnt som professor i fysikk samme sted. Han gjorde tjeneste som instituttbestyrer og dekanus og viste seg som en dyktig administrator.

Fra 1965 til 1968 var Omholt, med permisjon fra Universitetet i Oslo, fungerende bestyrer ved Nordlysobservatoriet i Tromsø. Der samlet han en gruppe yngre forskere og studenter, og styrket den tekniske stab. Gjennom Omholts engasjement, lokalt og nasjonalt, for etableringen av Universitetet i Tromsø, fikk denne gruppen betydning også i denne sammenheng.

I disse årene ble også Norges Teknisk Naturvitenskapelige Forskningsråds telemetristasjon etablert, på Nordlysobservatoriets område, og i nært samarbeid med Observatoriet. Plasseringen var gunstig for å motta signaler fra satellitter i polare baner, og fra forskerhold var det ønske om deltagelse i det europeiske samarbeidet European Space Research Organisation (ESRO). Omholt var sentral i forhandlingene som førte til at norske forskere, uten at Norge var med i ESRO, fikk delta med eksperimenter i ESROs første satellitt.

Sitt engasjement for Universitetet i Tromsø beholdt Omholt etter at han kom tilbake til Oslo. Som medlem av interimsstyret for det nye universitetet ledet han arbeidet i et målsettingsutvalg. Det var et vanskelig arbeid i et utvalg med ganske store meningsforskjeller. Omholt var ikke fornøyd med utvalgets innstilling. Han mente det ble for mye intern organisering, mens hovedvekten burde vært på forskningens og utdanningens samfunnsmessige betydning. Tanker han hadde om dette spilte kanskje inn da Omholt i 1971 forlot sitt professorat til fordel for en stilling som avdelingsdirektør for forskning og miljø i det daværende Norges Industriforbund. Han ønsket å bidra til at forskning og forskningsresultater i langt større grad skulle brukes i små og mellomstore bedrifter. Hans viktigste innsats i denne stillingen var nok likevel forbundet med miljø og ressursforvaltning. I økende grad hadde han sett dette som alvorlige samfunnsproblemer, som det krever grundig naturvitenskapelig innsikt, kombinert med politisk kløkt, å håndtere.

Etter seks år i Industriforbundet søkte Omholt igjen nye oppgaver, nå som ekspedisjonssjef i Kirke- og Undervisningsdepartementet. Det ble imidlertid nærmest en mellomlanding, for bare et år senere tiltrådte han som direktør i Norges allmennvitenskapelige forskningsråd (NAVF). Gjennom nesten ni år satte han sitt preg på denne organisasjonen, med sine kunnskaper, forskningserfaring og samarbeidsevne. Han stilte strenge krav til seg selv og andre når det gjaldt ryddighet og redelighet i saksarbeidet. I et intervju i forbindelse med 70-årsdagen uttalte Omholt at «…i min yrkeskarriere er nok rasjonalitet en fellesnevner». Vedtak skulle treffes etter en analytisk tilnærming og på det best tilgjengelige kunnskapsgrunnlag. Strengt byråkratisk ble han likevel aldri. Nysgjerrigheten fra tiden som forsker hadde han med seg, alltid åpen for å vurdere nye ideer, og opptatt av hva framtiden vil bringe.

Etter de mange år i NAVF mente han at organisasjonen hadde behov for en direktør som kunne opptre med større tyngde på den politiske arena. Det kan nok synes som en undervurdering av egen innflytelse, men resultatet var i alle fall et siste skifte av arbeidssted, nå som miljøvernsjef hos Fylkesmannen i Oslo og Akershus. Det ble nok, som han sa en gang, mer administrasjon og mindre miljøvern enn han hadde tenkt seg. Da han passerte 65 år, takket han ja til en rådgiverrolle i NAVF, med eget kontor, men uten administrative plikter. Han gjennomførte en rekke viktige oppdrag for Forskningsrådet i årene som fulgte.

I sin forskning var Omholt særlig opptatt av å studere nordlysets spektrum, noe han hadde gleden av å gjøre som assistent for professor Lars Vegard. I denne sammenheng gjennomførte han også studier av protonnordlys. I samarbeid med professor Leif Harang innførte han en spesiell metode til å bestemme levetiden på den metastabile tilstand O^1S for oksygenatomet i atmosfæren, en tilstand som er kjernen til nordlysets grønne linje. Omholt gjennomførte også en rekke studier av forstyrrelser i ionosfæren under nordlys samt studier av sammenhengen mellom optisk nordlys og røntgenstråler. Til sammen har Omholt publisert vel 50 artikler innen nordlysfysikk, samt monografien The Optical Aurora på Springer Verlag i 1971.

Anders Omholt var medlem av en rekke styrer og utvalg. Her er det nærliggende å nevne at han var styremedlem i Norsk Fysisk Selskap og formann i Norges Geofysiske Forening. Internasjonalt var han leder av Commision VI Aurora under The International Association of Geomagnetism and Aeronomy. Omholt var medlem av Det Norske Vitenskaps-Akademi og Ridder av 1. Klasse av St. Olavs Orden.

I det han hadde fritid, var det friluftslivet som dominerte. På tur i skog og mark og på fjellet var han i sitt ess. Familien var med, og i eldre år var han særlig glad om han fikk med seg barnebarn. For oss som først kjente ham som veileder og kollega, ble han også en god venn, som vi minnes med takknemmelighet.

Asgeir Brekke og Olav Holt

Program for Fysikermøte i Tromsø 7.–9. august 2017

Påmelding fremdeles mulig.
Se nettsidene: *http://site.uit.no/fysikermotet2017/sample-page/program*

Mandag 7. august

10–15 Registrering
10:00 Parallellsesjon I
11:15 Parallellsesjon II
13:30 Parallellsesjon III
14:15 Åpning
14:45 S.J. Bell Burnell, Oxford: «Star stuff»
16:00 U.P. Løvhaug, UiT: «Ionospheric reseach and EISCAT»
16:45 C.S. Wedlund, UiO: «Rosetta, rendezvous with comet»

Tirsdag 8. August

09:00 L. Rotschild, NASA, Ames: «Life beyond Mars?»
10:15 J. Jágerska, UiT: «On-chip methane sensing»
10:45 J.-C. Tinguely, UiT: «Waveguide band nanoscopy»
11:30 E.S. Marstein, IFE: «Modern crystalline silicon solar cell»
12:00 K. Tywoniuk, CERN: «Matter at extreme conditions at LHC»
13:30 A. Sudbø, NTNU: «Metallisk hydrogen»
14:15 Debatt: Utdanning for framtida? Deltakere fra UiT, UiO, NTNU
16:00 Årsmøte NFS og gruppene. Postersesjon.
17:30 Festmiddag

Onsdag 9. august

09:00 Undervisning: C. Angell og C. W. Tellefsen, UiO: «Relekvant: Lære relativitet og kvanta»
09:45 S.W. Frenke, SIMULA: «Python i fysikkundervisningen»
10:30 Prisutdelinger: Undervisning; Landrø: A. Theodorsen, UiT: «Turbulence i fusion plasma»
11:30 T. Brundtland, Tromsø: «Canned aurora»
12:10 Avslutning
14:30 Ekskursjon for påmeldte

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