

Nr. 3 – 2016
78. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

B.T. Stokke og O. Solgaard:	
Kavliprisen i nanovitenskap	70
Øystein Elgarøy:	
Kavliprisen i astrofysikk	72
E. Oterholm og A. I. Vistnes:	
Hvordan fant vikingene leia?	
Brukte de avansert fysikk?	73
Solheim, Eriksen, Engebretsen:	
Et skoleforsøk med små drivhus	78
Lars Egil Helseth:	
Thomsons dråpegenerator og ladningsoverføring	84
Fra Redaktørene	66
Nytt fra NFS	66
Årsmøtet i NFS 2016	
FFV på Internett	
In Memoriam	67
Ola Hunderi (1939-2016)	
Tor Brustad (1926-2016)	
FFV Gratulerer	69
Landrøs pris til Audun Theodorsen	
Professoroptrykk for E. Wahlström	
Hva skjer	87
Fysikkolympiaden 2015/16	
The 12th International Workshop: Dark Side of the Universe	
Fra fysikkens historie	90
Nok en viktig faktor 2	
Bokomtaler	91
Aashild Sørheim:	
Historien om Rolf Widerøe	
Ivar Olovsson:	
Water - snow, ice and other	
Trim i FFV	93
Nye Doktorer	94
PhD Lars Andreas Dal	
PhD Anders Kvellestad	
PhD Camilla Hanquist Stokkevåg	
PhD Erlend Grytli Tveten	

Fra Fysikkens Verden



Christian Krohg: Leiv Eiriksson oppdager Amerika
(Se artikkel: *Hvordan fant vikingene leia over havet?*)

Fra Redaktørene

Vi ber om flere innlegg til Fra Fysikkens Verden (FFV) både om hva som skjer i sammenheng med fysikkundervisningen i videregående skole og om temaer som lærere og elever opplever som aktuelle og interessante å snakke om i fysikktimene på skolen.

I dette nummeret av FFV har vi artikler om elektrifisering av vann, om mulig fysikkbakgrunn for at vikingene kunne navigere i all slags vær, og om et eksperiment utført ved en videregående skole.

Det utførte skoleeksperimentet viste at mengden av CO₂ i små drivhus har forsvinnende liten betydning for temperaturen i drivhuset. En skal imidlertid være forsiktig med å trekke konklusjoner om hva som skjer i atmosfæren ut fra slike forsøk med små drivhus, siden mekanismene som bestemmer temperaturen, er så forskjellige i disse situasjonene: I atmosfæren er det ikke vegger og tak.

Det er sagt at for å forstå nåtiden må en kjenne fortiden. Fysikkhistorie er viktig ikke bare for å få et perspektiv på vår egen tid, men også for å hedre personer som har hatt stor betydning for utviklingen av et fagområde. Rolf Widerøe var en slik person. Han var en av pionerene i utviklingen av partikkelakseleratorer.

Også i vår egen tid finnes det personer som fremhever seg med fenomenal dyktighet. Det er en glede å presentere en av disse – Audun Theodorsen – i sammenheng med tildelingen av Landrøprisen. Theodorsen har gitt en avansert matematisk beskrivelse av oppførselen til glohett, turbulent plasma sperret inne i en såkalt tokamakreaktor. Kanskje var dette et av mange bidrag som måtte til for en dag å kunne utvinne atomenergi på en fredelig og ren måte i en fusjonsreaktor.

Øyvind Grøn

∞

Nytt fra NFS

Årsmøtet i NFS 2016

Årsmøtet i Norsak Fysisk Selskap (NFS) ble avholdt tirsdag 9. august under Landskonferansen for fysikklærere på Schæffergården i København.

Årsmøtet vedtok å sette opp kontingenten fra 2017 med 30 kr for alle medlemsgruppene. Etter dette vil vanlige medlemmer betale 430 kr, lærere 460 kr, og pensjonister og studenter 250 kr, mens familier vil bli avkrevet 580 kr pr. år.

Ettersom *Nordic Physics Days* i Danmark er utsatt til 2018, besluttet årsmøtet at neste Fysikermøte avholdes i Tromsø i 2017. Dermed avholdes nytt ordinært valg også i 2017.

På grunn av stor aktivitet både i akustikkdelen og i optikkdelen av faggruppa optikk og akustikk, ble det besluttet å dele opp denne gruppa i en gruppe for akustikk og en gruppe for optikk. Disse gruppene vil slik som i dag dele på å ha en representant i styret, slik at akustikk har representant annethvert år mens optikk har vara, og omvendt.

Styret og valgkomiten ble enstemmig gjenvalgt.

Martin Landrøs pris for fremragende masteroppgave ble tildelt Audun Theodorsen, UiT. Se omtale et annet sted i bladet.

Presidenten takker Fysikklærerforeningen for en særdeles interessant, hyggelig og velorganisert ramme rundt årsmøtet.

Åshild Fredriksen

∞

Fra Fysikkens Verden på Internett

Alle årganger av FFV frå og med 1962 til og med 2014 er no å finne på internettadresse:

<http://www.norskfysikk.no/nfs/FFV/ffv/>

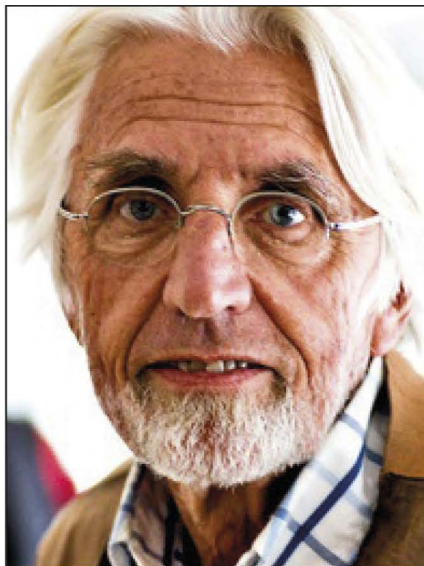
Vi vil etter kvart digitalesere alle årganger av bladet frå det kom ut første gong våren 1939 til og med nest siste årgang.

Redaksjonen

∞

In Memoriam

Ola Hunderi (1939–2016)



Den velkjente og høgt respekterte professor i fysikk, Ola David Raa Hunderi, døydd 13. juni 2016, 77 år gamal. Hunderi vaks opp i Lærdal som den yngste av seks sysken. Han studerte teknisk fysikk ved NTH og vart sivilingeniør i 1963. Frå 1966 studerte han ved University of Maryland, USA, der han tok PhD-grad i materialoptikk i 1970. Etter postdoc-opphald ved Victoria University, New Zealand, i to år, og ved Chalmers i Gøteborg i fire år, kom han tilbake til Trondheim og NTH i 1976 som vikarprofessor ved Metallurgisk institutt og forskar ved SINTEF. Han vart utnemnd til professor i Almen fysikk ved NTH i 1981, ei stilling han heldt til nådd aldersgrense i 2009.

Som forskar og universitetslærer var Hunderi ein allsidig person. Forskingsinnsatsen hans kan grovt sett delast i to kategoriar: fysiske metodar i fysikalsk metallurgi, og materialforskning med optiske og spektroskopiske metodar. Hans gode kunnskapar i matematikk og numeriske berekningar gav opphav til eit nytt fagområde ved Metallurgisk institutt på 90-talet: Datasimulering og modellering av materialoppførsel ved industrielle prosessar. Han tok også opp studium av såkalla "metalliske glas".

I optisk basert materialforskning gjorde Ola Hunderi, saman med forskarar i Gøteborg, Berlin og Paris, ein betydeleg innsats i å utvikle metoden kalla "Reflection Anisotropy Spectroscopy", RAS, til eit sterkt verktøy for studiet av overflater og

tynne sjikt. Metoden inneber bruk av lys med polarisasjon i ulike retningar, og har m.a. fordel at dette ikkje krev høgvakuum. Andre metodar var ellipsometri, infraraud spektroskopi, synleg lys spektroskopi av metallflater, legeringar, halvleiarstrukturar og tynne sjikt. Hunderi var ein framstående eksperimentalist. Med si gode teoretiske innsikt kunne han tolke målingar av mange ulike slag. Hans vitenskaplege produksjon tel over 180 nummer.

Hunderi var ein framifrå førelesar og rettleiar, og ønskte at studentane ikkje berre skulle skjønne fysikk, men òg kunne ta fysikken i bruk i kvardagen og i industrien. Gjennom åra var han rettleiar for mange hovudfagskandidatar og ei rekke doktorandar, og han var også ein dugleg formidlar av fysikkspørsmål for skoleklassar og andre interesserte. I 1987 tok han initiativ til at det vart oppretta ei SINTEF-avdeling i anvendt fysikk, der han sjølv var leiar i fem år.

Hunderi var medforfattar av eit større fysikklæreverk på norsk, "Generell fysikk for universiteter og høgskoler" I og II (1999 og 2001), og han var medredaktør av oppslagsverket "Surface Characterization" (1997). I Realfagsbygget ved NTNU vart det installert ein "Foucaults pendel" i 2007 på initiativ av han.

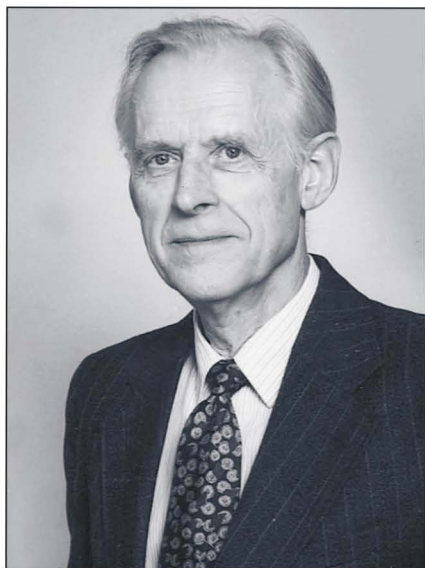
I mange år var Ola Hunderi medlem av Universitetets budsjettkomité, og han var leiar av Materialforskningskomité og for eit "Økologisk by"-prosjekt. Han var medlem av styringsgrupper for fleire industriprosjekt, som i Elkem, K-Venture, Euromet og Conspec, og han var i periodar leiar for komitear for forskingsstipend og for solenergi i Forskringsrådet. Internasjonalt var han medarrangør av eit titals fagkonferansar, også som leiar av arrangementskomitear.

Hunderi var medlem av European optical society, American physical society, SPIE, Norsk metallurgisk selskap, og sjølv sagt av Norges tekniske vitenskapsakademi og Det kongelige norske videnskabers selskab og Norsk fysisk selskap.

Ola Hunderi hadde eit vinnande vesen og var godt likt av alle. Vi saknar han som ven og kollega, og våre tankar går til hans nære familie.

*Anne Borg, Kristian Fossheim, Otto Lohne
og Emil J. Samuelsen*

Tor Brustad (1926–2016)



Tidligere forskningssjef ved Radiumhospitalet og professor II ved NTH/NTNU, Tor Brustad, døde 12. september etter en tragisk bilulykke, nær 90 år gammel. Han har hatt en lang og begivenhetsrik tid innen strålingsfysikk og ledet an i utviklingen av stråleterapi ved Radiumhospitalet.

Tor Brustad tok hovedfagsoppgave i strålingsfysikk ved nøytrongeneratoren på Blindern i 1953, med Johan Baarli som veileder. Etter dette fikk han jobb ved Radiumhospitalet, hvor han skulle være med på å bygge opp en gruppe i biofysikk ved Norsk Hydros Institutt for Kreftforskning (NHIK). Dette var en brytningstid for hospitalet som da hadde fått installert en 31 MeV betatron, den første i rekken av høyenergetiske strålemaskiner der.

I 1950-årene var det lite biofysikk i Norge. På NHIK diskuterte de om de skulle starte opp med strålebiofysiske eksperimenter, som resulterte i at det ble bygget en ESR-maskin der. Brustad dro da til Berkeley for å arbeide med tunge ioner.

I California ble Tor knyttet til Donner laboratory der de skulle gå igang med å bruke tunge ioner til biofysiske eksperimenter der de kunne aksellerere atomkjerner opp til energier på 10,4 MeV per nukleon. Med dette utstyret ble Tor Brustad en av de aller første som gjorde strålebiologiske eksperimenter med tunge ioner. Han gjennomførte både dosimetri og studerte rekkevidden av disse ionene i biologisk vev. Brustads arbeid med enzymer, virus og bakterier la grunnlaget for hans doktorgrad:

(*Heavy ions and some aspects of their use in molecular and cellular radiobiology*). Brustad disputerte i 1962, og ble deretter sjef for biofysikkavdelingen på Radiumhospitalet.

I 1970 ble det opprettet en studieretning for biofysikk og medisinsk teknologi ved NTH, med sikte på medisinsk fysikk. Fysikernes innsikt i matematisk modellering og måleteknikk var viktig for å kunne bruke avanserte teknikker innen stråleterapi, røntgendiagnostikk og nukleærmedisin. Tor Brustad var krumtappen i denne studieretningen, og han fikk derfor stilling som professor II ved NTH, en stilling han hadde i 25 år til 1995. Brustad underviste der i strålingsbiofysikk, og han var en inspirator av de sjeldne for studentene. Han kunne på en forunderlig lavmælt måte gi studentene en følelse av at de virkelig tellet med i den store sammenhengen.

Det spesielle ved Brustads opplegg ved NTH var at han arrangerte ukeslange opphold ved Radiumhospitalet for studentene, hvor de gjennom praktiske laboratorieøvinger fikk demonstrert faget medisinsk fysikk. Her utnyttet han til fulle sin dobbeltposisjon som øverste leder for både biofysikkavdelingen ved Kreftforskningsinstituttet og for Avdeling for medisinsk fysikk ved Radiumhospitalet. Brustad var sjef både for forskerne innen biofysikk, og for de som var tilknyttet stråleterapi og nukleærmedisin i arbeidet med pasienter.

På et tidlig stadium i spesialiseringen brakte Brustad studenter inn i et sykehusmiljø hvor fysikk hadde en akseptert og veletablert rolle. Avanserte metoder innen diagnose og terapi basert på ioniserende stråling er avhengig av at fysikere er involvert i planlegging og gjennomføring. Brustad knyttet faget strålingsbiofysikk til det medisinske sykehusmiljøet på en slik måte at studentene følte tilknytning til den medisinske fysikken.

Det er viktig å være klar over hvilket valg dette var, siden biofysikk er et bredt fagområde, som kan være svært teoretisk og ikke nødvendigvis medisinsk relatert. Brustad bidro til at dette faget i Norge fikk en spesiell vinkling mot medisinske miljøer, og at dette ble selve bærebjelken i fagområdet medisinsk fysikk. Dette har bidradd til at vi tidlig utviklet en retning for utdanning innen et område av fysikken som har ekspandert gjennom de 45 årene som er gått siden 1970. Tor Brustad har mye av æren for at Norge har solide og velfungerende studieretninger for medisinsk fysikk.

Thormod Henriksen og Erik O. Pettersen

FFV Gratulerer

Martin Landrøs pris for fremragende masteroppgave til Audun Theodorsen



Martin Landrøs pris for fremragende masteroppgave i fysikk ble opprettet av Norsk Fysisk Selskap (NFS) i 2011 basert på en gave på 150 000 kr fra professor Martin Landrø. Prisen består av et pengebeløp på 5000 kr og et diplom. Prisutdelingen ble offentliggjort under Norsk Fysisk Selskaps årsmøte 9. august på Schæffergården i København, som en del av Landskonferansen for fysikklærere 7–10. august i år. Audun Theodorsen, Institutt for fysikk og teknologi, UiT Norges Arktiske Universitet, fikk prisen 2016 for oppgaven *Stochastic modelling of intermittent scrape-off layer plasma fluctuations*.

I begrunnelsen heter det: "Grenseregionen ut mot veggene i et magnetisk innesperret fusjonsplasma er i sin natur turbulent, og en beskrivelse av denne regionen ut fra "first-principles" har hittil ikke vært mulig. Avansert statistisk analyse og modellering er nødvendige verktøy for å forutsi hvordan denne regionen påvirkes av ulike fysiske parametre og dermed hvordan man kan unngå skadelige vekselvirkninger med og ukontrollert energitap til veggene."

Audun Theodorsen fikk i oppgave å finne statistiske egenskaper for kraftige fluktasjoner i en av de hittil lengste tidsseriene fra fusjonseksperimentet "Tokamak a Configuration Variable" (TCV) i Sveits. Han ble også bedt om å utvikle en stokastisk modell for en velkjent type "shot-noise"

og sammenligne forventninger fra denne modellen med eksperimentelle data.

Som svar på oppgaven var Theodorsen i stand til å utvikle en statistisk metode for å utarbeide en analytisk forventning om oppførselen til tilfeldige variable som er langt unna likevekt – en meget komplisert beregning som er av stor interesse innen fusjonsforskningen. Med sin metode fant han svært god sammenheng mellom forventninger fra modellen og de eksperimentelle tidsseriene.

Basert på mastergradsarbeidet er Audun Theodorsen hittil første-forfatter på to publikasjoner i internasjonale tidsskrifter, og deler av arbeidet hans er tatt med også i to andre artikler som han er med-forfatter på. Ytterligere to publikasjoner er under skriving.

Audun Theodorsen er i dag PhD-stipendiat ved Universitetet i Tromsø, og er nylig dratt på ett års forskningsopphold ved Massachusetts Institute of Technology (MIT) i Boston, USA.

Norsk Fysisk Selskap gratulerer Audun Theodorsen med Martin Landrøs pris, og ønsker ham lykke til videre med doktorgradsarbeidet!

*Michael Kachelriess, Catharina de Lange Davies
og Åshild Fredriksen*

∞

Professoropptrykk for Erik Wahlström



PhD Erik Wahlström er utnemnd til professor ved NTNU med fagområde materialfysikk, med verknad frå 1. september 2015. Han er for tida tilsett som instituttleder ved Institutt for fysikk ved NTNU.

∞

Kavliprisen i nanovitenskap 2016

*Bjørn Torger Stokke * og Olav Solgaard * **

Den 2. juni 2016 kunngjorde preses i Det Norske Videnskaps-Akademi at Kavliprisen i nanovitenskap for 2016 deles mellom Gerd Binnig, Christof Gerber og Calvin Quate "for oppfinnelsen og realiseringen av atomært kraftmikroskop (Atomic Force Microscope – AFM), et gjennombrudd innen måleteknologi og nanomanipulering med en vedvarende innvirkning på utvikling av nanovitenskap og nanoteknologi".

Forskerne Binnig, Gerber og Quate (figur 1) ved henholdsvis Stanford Universitetet, IBM San Jose forskningslaboratorium og Stanford universitetet, rapporterte i 1986 at de hadde utviklet et instrument (AFM) som var i stand til å bestemme linjeprofiler til overflater av faste stoff med nær atomær oppløsning.⁽¹⁾ Dette instrumentet så dagens lys noen år etter at skanning tunneling mikroskopet (STM) ble utviklet.⁽²⁾ Gerd Binnig mottok Nobelprisen i fysikk i 1986 (sammen med Heinrich Rohrer) for utviklingen av STM. I STM baserer man seg på elektrontunnelering mellom en spiss og en overflate for å bestemme linjeprofiler med oppløsning bedre enn én nanometer. Karakterisering ved hjelp av STM krever elektrisk ledende spiss og underlag, og at karakteriseringen foregår i vakuum. AFM ble utviklet for også å kunne karakterisere ikke-ledende overflater og å unngå å måtte gjøre observasjonene under vakuum.

I løpet av de siste 30 årene er AFM utviklet betydelig, og har gitt grunnleggende innsikt innen kjemi, fysikk og biologi. I dag er det i utstrakt bruk som et allsidig redskap for avbildning og manipulering innenfor en rekke forskjellige vitenskapelige disipliner.

AFM benytter seg av en rekke prinsipper vi kjenner fra fysikken, som i kombinasjon med nye



Figur 1. Kavliprissvinnerne i nanovitenskap 2016 (fra venstre): Christof Gerber, Calvin Quate og Gerd Binnig (Foto: Peter Badge).

materialer, reguleringstekniske prinsipper og relevant ingeniørkunnskap utgjør et avansert instrument for karakterisering av ulike overflater. Viktige deler av AFM inkluderer:

- en vektarm med en fin spiss som brukes som kraftsensor
- et avlesningssystem som bestemmer bøyning av vektarmen for å kvantisere størrelsen på kreftene som virker på spissen
- et posisjoneringssystem som sørger for kontroll av posisjonen mellom overflaten som skal karakteriseres og spissen på vektarmen med oppløsning bedre enn én nanometer
- et datubasert system for kontroll og bruk av AFM
- et system for mekanisk isolasjon fra omgivelsene

Presisjonen i kontroll av posisjoner, i størrelsesorden nanometer, er oppfylt ved bruk av piezoelektriske aktuatorer. Disse endrer sine dimensjoner som følge av påtrykt elektrisk potensial. Flere piezoelektriske aktuatorer er satt sammen i en skanneenhet for å kunne kontrollere posisjonene i alle tre romlige dimensjoner, se figur 2. Den piezoelektriske

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim,

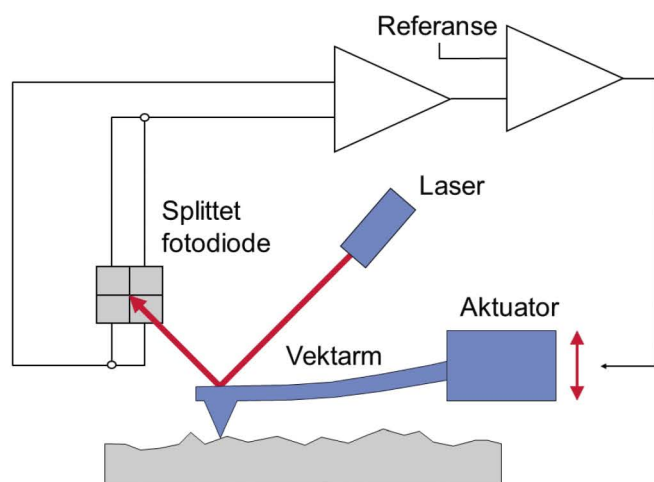
** Department of Electrical Engineering, Stanford University, California, USA.

aktuatoren er i de fleste av dagens system også kombinert med et motordrevet, eller et manuelt, system for posisjonering på en grovere lengdeskala, alt under elektronisk kontroll.

Kraftsensoren har til oppgave å omdanne kraften mellom overflaten og spissen til en avbøyning som kan avleses. Krumningsradius på spisser på kommersielle kraftsensorer for AFM, er i området 10-30 nm, og spisser med mindre krumningsradius, helt ned til 2 nm er nå tilgjengelige. Det er også forskere som benytter seg av karbonnanorør som spiss på kraftsensoren for å optimalisere oppløsning og lokalisering av kraften.

I tillegg til størrelsen av selve spissen er også andre egenskaper til kraftsensoren viktig, særlig fjærstivhet, og dermed resonansfrekvensen for vibrasjon og vridning.

Avlesningen av kraftsensorens avbøyning ble i de første AFM gjennomført ved tunnelering mellom en spiss og en elektrisk ledende plate. Spissen var montert på siden av vektarmen som vender bort fra overflaten som skulle karakteriseres. Dette prinsippet er blitt erstattet av et lasersystem, hvor laserlys sendt inn mot den frie enden av kraftsensoren, reflekteres inn mot en posisjonsfølsom fotodiode (figur 2).



Figur 2. Skjematisk illustrasjon av sentrale komponenter i et AFM.

En vanlig brukt metode for å bestemme topografiske høydekart av overflater er skanning av overflaten mens spissen er i kontakt med den. Definisjon av kraften ved kontakt ved dataopptak bestemmes av operatøren, og kraftvirkningen er med nesten alle unntak i den frastøtende delen av vekselvirkningen mellom spissen og de atomene i overflaten som medvirker til kraftvirkningen. Det

viser seg imidlertid at biologiske strukturer og andre myke materialer lett kan deformeres og forskyves på underlaget om AFM brukes i kontaktmode.

Andre måter å bruke instrumentet på er derfor blitt utviklet for å redusere kraftvirkningen på prøven. En måte er at kraftsensoren settes i tvungne svingninger, og spissen kun er i kraftfeltet fra underlaget en liten andel av svingeperioden. Man kan operere enten i den tiltrekkende eller den frastøtende delen av kraftfeltet mellom spissen og overflaten. Slike svingende moder er praktisk anvendelse av svingelære.

Kraftsensoren drives ved en frekvens lavere enn resonansfrekvensen som typisk gir 75-85 % av utsvingsamplituden ved resonans. Kraftvirkningen mellom spissen og underlaget fører til endring av svingesystemets egenskaper, som resulterer i endret svingeamplitude ved drivfrekvensen. På den måten får man grunnlag for å karakterisere overflaten.

Kvantitativ karakterisering av overflatestrukturen krever at kalibreringen av AFM er korrekt. Posisjonskalibrering gjøres ved å bruke mikrometermønstrede overflater fremstilt ved standard prosesser i halvlederindustrien. Beregning av kraftvirkningen på kraftsensoren benytter seg av fjærkonstanten til vektarmen (Hookes lov). En vanlig måte å kalibrere fjærkonstanten på er å benytte seg av ekvipartisjonsprinsippet fra statistisk fysikk. Dette kan benyttes for de fleste AFM-kraftsensorer fordi de er tilstrekkelig små og myke til at termiske krefter fører til vibrasjon.

Til tross for at en kan identifisere mange praktiske anvendelser av prinsipper fra fysikken i et moderne AFM, er brukerne i dag forskånet fra å måtte kjenne alle detaljer. Programvarepakkene som styrer AFM presenterer instrumentet på en tilforlataelig rett fram måte.

AFM er over årene blitt utstrakt brukt for overflatekarakteriseringer i en rekke vitenskapsdisipliner. Brukervennligheten er blitt betydelig forbedret gjennom årene, og det faktum at en også kan gjøre observasjoner under væske, for eksempel vandig oppløsning, har vært avgjørende for bruk i biovitenskap. Det faktum at AFM er en svært følsom kraftsensor (måleområdet er 5 pN til over 1 nN) har også lagt grunnlag for å kunne karakterisere molekylære vekselvirkninger. Parallelt med utvikling av de instrumentelle mulighetene for bestemmelse av molekylære krefter er kraftspektroskopi blitt etablert som vitenskapsgren.⁽³⁾

Utviklingen av AFM de seinere årene har særlig vært betydelig for økning av avbildningshastighet⁽⁴⁾

og etablering av et spekter av måter å operere AFM på som ikke bare gir overflatestrukturer, men også mekaniske egenskaper. Vi kan også nevne bruk av ulike frekvenser i vibrasjonsmoder for mer detaljert mekanisk karakterisering og utvikling av AFM-vektarmer med breiere frekvensrespons.⁽⁵⁾ Toshi Ando i Japan, har vært en pionér for utvikling av høyhastighets-AFM.⁽⁴⁾ Han har publisert studier som direkte viser hvordan deler av et makromolekyl forflytter seg ved vandring på mikrotubuli (fiberstrukturer inne i cellene) på tilsvarende måte som mennesker som går.

Vi vil også med dette gratulere prisvinnerne Binnig, Quate og Gerber for deres banebrytende arbeid med etablering av AFM! De prinsippene som ble offentliggjort i 1986 for AFM har både direkte og indirekte lagt avgjørende grunnlag for opparbeidelse av ny innsikt, og vi forventer at dette skal fortsette i årene framover.

Referanser

1. G. Binnig, C.F. Quate and C. Gerber: *Atomic force microscope*. Phys. Rev. Letters, **56**, 930-933 (1986)
2. G. Binnig, H. Rohrer, C.H. Gerber and E. Weibel: *Surface studies by scanning tunneling microscope*. Phys. Rev. Letters, **49**, 57-61 (1982)
3. A. Noy: *Handbook of Molecular Force Spectroscopy*, Springer Science + Business Media, LLC, Boston, MA (2008)
4. T. Ando, T. Uchihashi and S. Scheuring: *Filming biomolecular Processes by High-Speed Atomic Force Microscopy*. Chemical Reviews, **114**, 3120-3188 (2014)
5. A. Wang, K. Vijayraghavan, O. Solgaard and M.J. Butte: *Fast Stiffness Mapping of Cells Using High-Bandwidth Atomic Force Microscopy*. ACS Nano, **10**, 257-264 (2016)

∞

Kavliprisen i astrofysikk



Ronald W.P. Drever (© Privat), Kip S. Thorne (© Caltech), Rainer Weiss (© Courtesy of Les Guthman)

Kavliprisene ble delt ut i en seremoni i Oslo Konserthus 6. september. Astrofysikkprisen gikk denne gang til Ronald W.P. Drever, Kip S. Thorne og Rainer Weiss for deres bidrag til den første direkte påvisningen av gravitasjonsbølger, annonsert tidligere i år.

Drever er skotsk, men var ansatt ved California Institute of Technology (Caltech) i store deler av sin karriere, samme sted som *Kip Thorne*. *Rainer Weiss* er ansatt ved Massachusetts Institute of Technology (MIT). Disse tre spilte hovedrollene i planleggingen og byggingen av Laser Interferometry Gravitational Wave Observatory (LIGO) der oppdagelsen av gravitasjonsbølger ble gjort.

Weiss utarbeidet den grunnleggende planen for interferometeret i LIGO. *Thorne* bidro på flere viktige punkter, blant annet med numeriske beregninger av hvordan signalene fra ulike astrofysiske kilder ville se ut. *Drever* oppfant vesentlige og avgjørende forbedringer av det opprinnelige interferometerkonseptet.

Påvisningen av gravitasjonsbølger har gitt astrofysikere et nytt vindu mot universet. De første signalene kom fra kollisjoner mellom svarte hull. Med tiden vil gravitasjonsbølger kunne gi oss ny viten om alt fra supernovaeksplosjoner, via nøytronstjerner og svarte hull til hendelser i det første sekundet av historien til det observerbare univers.

Øystein Elgarøy

∞

Hvordan fant vikingene leia over havet? Brukte de avansert fysikk?

Einar Oterholm og Arnt Inge Vistnes *

I mars 2013 og juli 2016 hadde NRK oppslag om at vikinger kanskje brukte såkalt "solstein" ved navigering over åpent hav i overskyet vær. Vi forklarer hovedtrekkene i metoden som NRK viser til, og gir en kritisk vurdering av den.

Historien

Vi er sikre på at fra om lag år 750 seilte vikinger mellom Norge, Færøyene og Shetland.⁽¹⁾ I landnåmstida, fra 874 til 930, seilte høvdinger og småkonger fra Norge til Island og slo seg ned der. Vi er også sikre på at vikinger gjennomførte reiser til England, Grønland og Amerika. Dette var reiser som varte i mange dager, for ikke å si uker, over åpent hav.

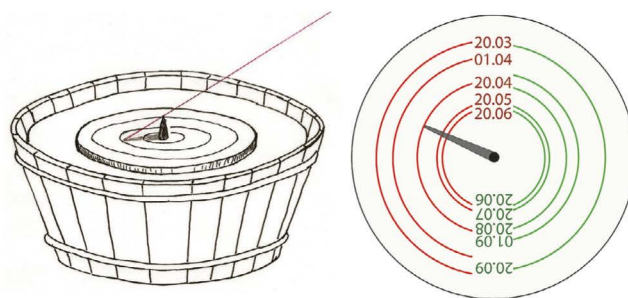
Både fra islandske ættesagaer og andre kilder har vi en god del nedtegnninger som forteller om ulike forhold i vikingtida. Noen forteller også om reiser til sjøs, men det finnes nesten ingen omtaler av hvordan vikingene navigerte og fant leia over åpent hav. En har heller ikke funnet gjenstander som helt sikkert har vært brukt til navigering før kompass var tilgjengelig.

Navigatørene måtte ha god kjennskap til sola og stjernene sin gang over himmelen, og dermed også til himmelretningene. At solhøyden er størst når sola står i sør, og at den da er den samme langs en breddegrad, måtte for dem være grunnkunnskap. Det er også grunn til å merke seg at de fleste vikingferdene var breddegradsseilinger, noe som gjorde navigeringa enklere.

Solfjøl og solkompass

Solfjøl, eller solbrett, er ei treskive med en vertikal pinne i midten. Gjennom en sommersesong, mens navigatøren var på land, plasserte han solfjøla ho-

risontalt og tegnet hver uke inn en sirkel med radius lik lengda av den korteste skyggen. Hver sirkel gjelder bare for en ukes tid, deretter måtte det tegnes en ny sirkel. Når navigatøren i tillegg merket sirkelene slik at han visste hvilken sirkel som hørte til hvilken uke, hadde han et godt hjelpemiddel til breddegradsseiling på den breddegraden han tegnet sirkelene. Under seilasen plasserte navigatøren solfjøla i et kar med vann og fulgte med når skyggen var kortest (figur 1). Var skyggen for lang, var de kommet for langt mot nord. Var den for kort, var de kommet for langt mot sør.



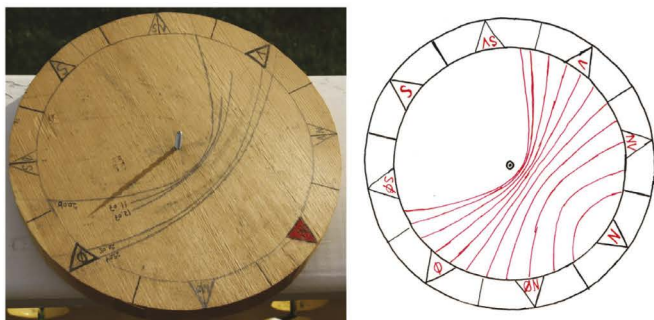
Figur 1. En solfjøl kan brukes for å holde samme breddegraden under seiling på åpent hav.

I stedet for bare å markere spissen på skyggen når den er kortest, kan en markere skyggespissen gjennom hele soldagen. Kurven en får på denne måten, kalles "gnomonkurven" for denne dagen.

Tegner en gnomonkurver for flere dager, får en et solur. Skiver med ferdigtegnede gnomonkurver kan også brukes som et *omvendt* solur. Dersom en vet datoen og omtrent når det er på dagen, kan en rotere skiva om en vertikal akse til skyggen kommer på riktig sted. Da er skiva riktig rettet i forhold til himmelretningene, og en har et solkompass (figur 2).

Ved å følge med skyggespissen på et slikt solkompass plassert i et kar med vann, kunne en under seilas holde stø kurs så lenge sola var oppe. Men metoden fungerer optimalt bare når en beveger seg langs samme breddegrad.

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.



Figur 2. Et solkompass er et slags omvendt solur og kan brukes til å holde rett kurs hele dagen mens sola kaster skygge.

Funn av solkompass?

Under utgravingene av restene av en landnåmsgård som senere ble fundamentet til et nonnekloster i Unartoq på Grønland, ble det gjort et interessant funn av halvdelen av en knekt treskive med diameter 7 cm, og 6 mm tykk. Langs ytterkanten var det skåret hakk med regelmessige mellomrom, og det var også ripet inn flere streker på skiva. En av disse strekene har visstnok form omtrent som en gnomonkurve(figur 3).⁽²⁾

Fagfolk er ikke enige om hvilken bruk treskiva har hatt. En ungarsk forskningsgruppe har skrevet en rekke artikler hvor de lanserer ulike hypoteser for hvordan skiva ble brukt. Vi er skeptiske til deres



Figur 3. Unartoqskiva. Har den vært brukt til navigasjon?⁽²⁾

spekulasjoner, og gruppa innrømmer også selv at størrelsen av skiva langt fra er optimal dersom den skulle være brukt som et solkompass.⁽³⁾

Problemet med solfjøl og solkompass er at de bare fungerer når sola kaster skygge. Hadde vikingene navigasjonsmetoder som fungerte også når sola ikke viste seg?

Leidarstein

En primitiv form for magnetisk kompass ble visstnok allment kjent en gang på 1200-tallet. Det første sporet en kjenner om bruk av magnetisk kompass i

Europa, finner vi i en fortelling i *Islendingaboka* av Are Frode. Der berettes det om hvordan Floke Vilgerdson oppdaga Island i året 868.⁽⁴⁾ Frode forteller her at Floke brukte tre ravner som var vigslet for formålet fordi sjømennene på denne tida ikke hadde leidarstein.

Leidarstein var trolig en magnetjernstein, magnetitt, Fe_3O_4 , på et trestykke som fløt i et kar med vann. Ringen rundt karet var delt inn på tilsvarende måte som solkompasset.

Are Frode skrev *Islendingaboka* på 1100-tallet, så dette kan tyde på at leidarstein allerede ble tatt i bruk til navigasjon en gang mellom 868 og 1100. En kan da undres på om vikingene brukte magnetjernstein i hele perioden med lange seilinger, selv om det er vanlig å tro at magnetkompasset først ble tatt i bruk senere. Eller kan det hende vikingene hadde en helt annen metode for å finne fram?

Solstein

Vi regner det nå som svært sannsynlig at vikingene brukte solkompass til å bestemme kursen så lenge de kunne se sola. Men om natta, og i områda de seilte i, kunne det være til dels lange perioder med tåke og overskyet vær så det var umulig å få et glimt av sola. Hvordan kunne de da finne leia?

I Raudulfs dattir, en del av Olav den Helliges saga i *Flateyarboka*, et islandsk skript fra 1200-tallet, fortelles det at Olav var på besøk hos bonden Raudulf. Besøket førte til fest. Utpå kvelden, da de var kommet ut i skrytestadiet, skrytte Sigurd, en av sønnene til Raudulf, av at han kunne vite hva tida var, også når han ikke så himmellegemene.

I følge sagaen var været neste dag tykt og blåsende slik Sigurd hadde sagt. Ingen steder var himmelen skyfri. Kongen kalte til seg Dag og Sigurd, Raudulfs sønner, og ba Sigurd si hvor langt sola var kommet. Sigurd fortalte det. Kongen tok solsteinen, holdt den opp og så hvordan den lyste. Det stemte med det Sigurd hadde sagt.

I *Hrafn saga*, et annet islandsk skript fra 1200-tallet, fortelles det om det samme.

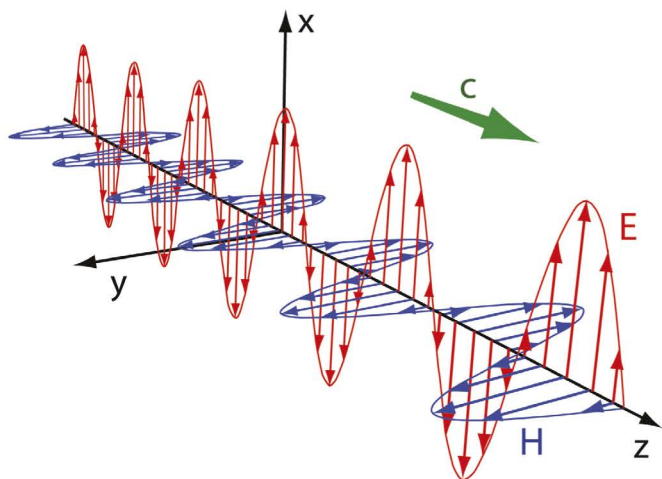
I 1967 lanserte den danske arkeologen Thor-kild Ramskou hypotesen om at vikingene kunne ha brukt en krystallstein, en solstein, til å finne himmelretningene. Hypotesen møtte stor skepsis, men den hadde også tilhengere, og førte til utredninger og diskusjoner i åra etterpå.

I vraket av et skip som sank i 1592 ved kysten av Alderney i Den engelske kanalen, fant de i 2002 en krystallstein som kunne ha vært brukt ved navi-

gasjon. Stikkpasseren som de også fant like ved, indikerte det samme. I 1592 var magnetkompass allment brukt i navigasjon. Flere av tilhengerne av solsteinhypotesen tolket funnet som et bevis på denne.

Polarisert lys og rayleighspredning

For å forstå hvordan solsteinen kan brukes i navigasjon, er det nødvendig å kjenne til begrepet *polarisert lys*. Polarisasjon er en egenskap til alle elektromagnetiske bølger, inkludert lys.⁽⁵⁾ Disse bølgene er transversale og består av elektriske og magnetiske felt som oscillerer med frekvenser i området 10^{14} til 10^{15} Hz. I luft og vakuum er feltene vinkelrett på lysstrålens retning. Figur 4 skisserer et øyeblikksbilde av en elektromagnetisk bølge. Det elektriske og det magnetiske feltet er vinkelrett på hverandre, som figuren viser.



Figur 4. Standard skisse av en elektromagnetisk bølge. Lysstrålen går langs z-aksen. Elektrisk felt er vist med rødt, magnetfelt med blått.

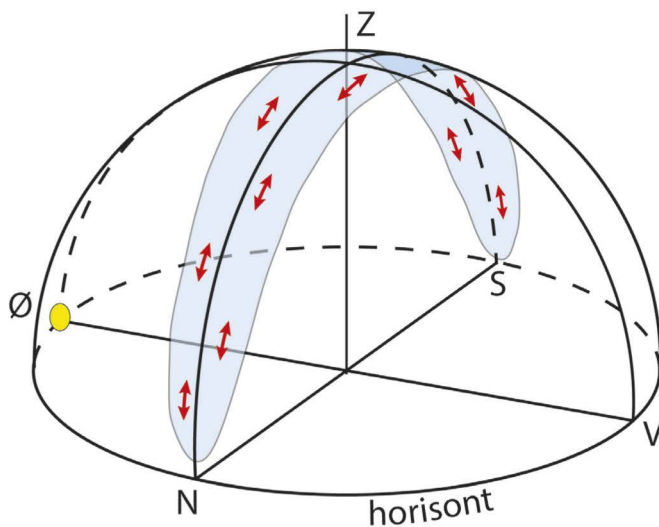
Sollys består av parallelle "lysstråler". Det elektriske feltet svinger, men alle utslagsretninger loddrett på strålen er likt representert. Vi sier da at lyset er upolarisert.

Ulike fysiske prosesser fører til at lyset blir polarisert, det vil si at det elektriske feltet svinger bare i ett plan i forhold til lysstrålen. Lysstrålen i figur 4 er 100 % lineært polarisert med det elektriske feltet i xz-planet.

Rayleighspredning er en prosess som gir polarisert lys av varierende grad. Slik spredning finner sted når elektromagnetiske bølger vekselvirker med partikler som er mindre enn bølgelengden. Det kan

være atomer og molekyler. Mekanismen er at det elektriske feltet påvirker ladningene i partiklene og får dem til å oscillere svakt med lysets frekvens. Oscilleringen av ladningene i partiklene fungerer da som dipolantenn og sender ut lys i nesten alle retninger etter fysikken for dipolantenn. Slik blir de innkommende bølgene da spredt i andre retninger enn den opprinnelige.

Polarisasjonen av det spredte lyset er liten i retning nær det innfallende lysets, og størst i et plan 90° på det innfallende lysets. Det betyr at lys spredt fra atmosfæren i en retning nær sola (eller i motsatt retning av solas) vil ha alle mulige polariseringer, og er upolarisert. Men med sola i øst nær horisonten, vil lys spredt av partikler i senit, dvs. loddrett oppover, være polarisert i nord-sør retning, dvs. loddrett på solstråleretningen. Det spredte lyset er da lineært polarisert. Det samme gjelder for alt spredt lys langs hele storsirkelen (med sentrum i observatøren) vinkelrett på retningen til sola (se figur 5). Ja, også om dagen når sola står høyere på himmelen gjelder denne "storsirkelregelen" for lineær polarisasjon, selv om storsirkelen da står skrått på himmelen. Effekten eksisterer så lenge solstrålene treffer den delen av atmosfæren vi kan se.



Figur 5. Dersom sola står i horisonten i øst, vil lyset fra atmosfæren i et bånd fra nord til syd via zenit, være lineært polarisert. Polarisasjonsretningen er vinkelrett på retningen til sola (markert med røde piler). Graden av polarisering avtar når vi fjerner oss fra den markerte storsirkelen.

Det må bemerkes at spredt lys fra storsirkelen i praksis ofte har langt mindre lineær polarisering enn 100 %. Spredning fra partikler som er omtrent like store som bølgelengden, eller større, er upolarisert, og reduserer polariseringsgraden. Po-

larisasjonen avtar også når lyset spres flere ganger. Dette er spesielt tydelig når det er små vanndråper, eller iskrystaller, i atmosfæren, og i vår tid også av forurensing f.eks. nær storbyer.

Denne lovmessigheten kan vi bruke for å bestemme retningen til sola, såfremt vi har et lineært polarisasjonsfilter og vet hvilken retning filteret må ha relativt til lysets polarisering for å blokkere lyset. Ved å betrakte lys fra atmosfæren fra to steder et stykke fra hverandre langs storsirkelen med maksimalt polarisert lys, vil en "krysspeiling" gi oss retningen til sola. Polarisasjonsfiltre fantes ikke i vikingtida, men en solstein kan brukes på en liknende måte som et polarisasjonsfilter. La oss se litt på hvordan det kan gjøres.

Solstein og dobbeltbrytning

Solstein nevnt i sagaen var trolig stykker av mineral-et kalsitt CaCO_3 , også kalt "islandspat". Den finns i naturen som mer eller mindre perfekte énkrystaller. Det er mye morsomt å si om kalsitt, men vi nøyer oss med en kortversjon og henviser til nærmere beskrivelse annetsteds.⁽⁶⁾

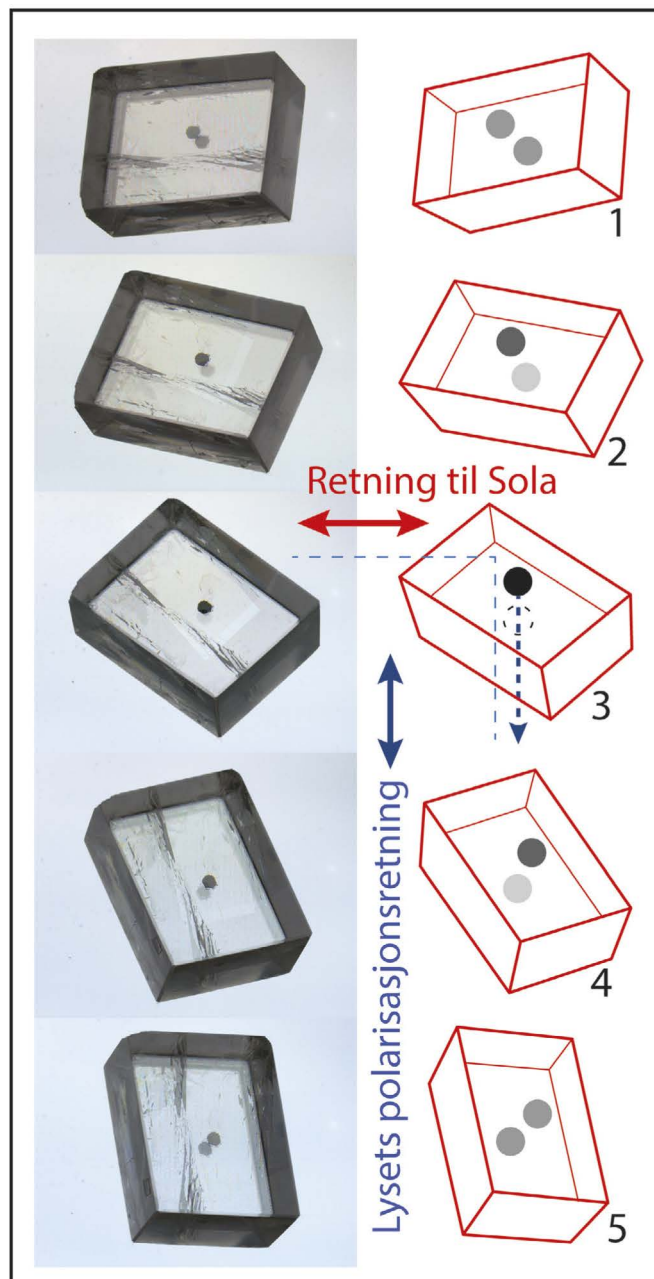
Det spesielle med kalsitt er at lys blir spaltet i en "ordinær" stråle med polarisasjon loddrett på en optisk akse, og i en "ekstraordinær" stråle med polarisasjon loddrett på "ordinær stråles". Lyshastigheten er forskjellig for de to strålene, og resultatet er at vi ser et dobbelt bilde når vi kikker gjennom krystallen. Snells brytningslov gjelder da ikke.

Når lyset inn mot krystallen er polarisert, kan vi dreie krystallen til den ene delen av dobbeltbildet forsvinner. Det er dette som gjør at kalsitt kan brukes for å avgjøre polarisasjonsretningen til lys, og derved til å bestemme retningen til sola ved å utnytte rayleighspredningen.

Figur 6 viser hvordan en sort tapebit på baksiden av en kalsittkrystall ser ut når vi betrakter den i nær 100 % lineært-polarisert lys. Dreier vi krystallen, vil de to bildene av tapebiten endres i mørkhet, og for fire ulike orienteringer ser vi bare én flekk.

For vår kalsittkrystall samsvarte dette med at lysets polarisasjonsretning falt sammen med retningen som forbinder senteret av den mørke flekken og senteret til den flekken som vi bare så vidt kan skimte (se midtre del av figur 6).

Holder vi en slik solstein opp mot himmelen der rayleighspredningen gir kraftig polarisert lys, og dreier krystallen om en akse i synsretningen, kan vi



Figur 6. Bildet av en kalsittkrystall med én sort flekk på baksiden, liggende flatt på en horisontal dataskjerm, ved en del ulike orienteringer. Kalsittkrystallen har skjeve vinkler, slik at vi ser to sidekanter fra utsiden når vi ser loddrett ned på topp- og bunnflaten. Dataskjermer med flytende krystall-display gir ofte rent lineært polarisert lys. I vårt tilfelle var polariseringen på lyset i vertikal retning slik figuren nå er orientert. Ved dreievinkelen gitt i eksempel 3, blir den ene delen av dobbeltbildet nesten borte. Da er lysets polarisering i retningen fra sterk til svak flekk, forutsatt at det er flekken nærmest den butte vinkelen i krystallen som er svakest. Retter vi krystallen mot himmelen og ser mot et område der rayleighspredningen gir høy grad av polarisert lys, kan vi bruke denne kunnskapen til å bestemme solas retning.

bestemme retningen til sola. Kikker vi opp mot to områder på himmelen et godt stykke fra hverandre som begge har kraftig polarisert lys, og bruker ”krysspeiling” (må tenke i form av storsirkler siden vi har sfærisk koordinatsystem), kan solas posisjon på himmelen i prinsippet bestemmes selv om vi ikke kan se sola.

Det må her presiseres at det er fire orienteringer av krystallen som fører til at en av flekkene synes å forsvinne når vi dreier krystallen 360° . En må merke seg hvilken flekk som forsvinner i forhold til selve krystallen (som er skjev) for å få riktig resultat. (Detaljer kan fås fra forfatterne dersom noen ønsker å prøve ut dette selv.)

Vurdering av metoden

For å bestemme himmelretningene, må en både kjenne retningen til sola og tidspunktet. En ungarsk gruppe antyder at man kan bruke solsteinen for å bestemme hvor sola er, selv i delvis skyet vær når vi ikke ser sola direkte. De ser for seg at bestemmelsen av solposisjonen må kombineres med et solkompass for å finne himmelretningen, men de kan ikke vise til praktiske forsøk på hvordan det skal gjøres nøyaktig nok når det ikke dannes noe skygge på solkompasset.⁽³⁾

Vi har sett at en solstein kan brukes til å bestemme solposisjonen rimelig nøyaktig når vi i storsirkelen vinkelrett på retningen til sola har klar himmel og høy grad av polarisering. Men det betyr ikke at solstein faktisk ble brukt ved navigering under slike forhold. Ved delvis klar himmel er det mye bedre å bruke sola direkte når den en gang iblant titter fram. Ved tåke og delvis skyet vær, følger polariseringen prinsipielt mye av de samme lovmessighetene som ved klarvær, men graden av polarisering synker da gjerne fra bortimot 80 % til omtrent 10 %. Dette fører til meget stor usikkerhet i bestemmelsen av solas posisjon.

Det er også et problem at kalsittkrystaller vi finner i naturen ofte ikke er ordentlig gjennomskjennelige, og at krystallene inneholder feil som gjør at vi må ”kalibrere” enhver krystall som skal brukes.

synlig, hvor hele bestemmelsen av himmelretninger er gjennomført *kun* med de hjelpemidlene som vikingene hadde. Vi er derfor skeptiske til metoden og har liten tro på at vikingene brukte solstein og rayleighspredning ved navigasjon. Sol og stjerner, og gløtt av sol en gang iblant, virker mer realistisk for oss.

Takk

Vi vil rette en stor takk til de som har gjort fagfelle-vurdering av denne artikkelen, både for språklige og faglige nyttige tips.

Referanser

1. Engelsk Wikipedia, søkeord: *Sunstone (medieval)*, *Polarization (waves)*, *Rayleigh scattering*, *Birefringence*, *Calcite*, *Rayleigh sky model*.
2. Redice Creations: *The Famed Viking Solar Stone & The Uunartoq Disc Were Extraordinary Tools for Navigation*.
www.redicecreations.com/article.php?id=31803 (per 6. mars 2016).
3. D. Száz, A. Farkas, A. Barta, B. Kretzer, Á. Egri og G. Horváth : *North error estimation based on solar elevation errors in the third step of sky-poarimetric Viking navigation*. *Proc. R. Soc. A* **472**, 171 (2016), og alle de 10 andre lignende artiklene fra den same gruppe referert til i denne artikkelen.
4. Raudulf Dáttir: *Flateyrbok*, bind 2, G. Vigfússon og C.R. Unger, Christiania, s 297 (1860-1868)
5. A.I. Vistnes: *Polarisering av lys*. *Fra Fysikkens Verden* **75**, Nr. 1, 4-10 (2013)
6. A.I. Vistnes: *Refleksjon og transmisjon av elektromagnetiske bølger*, Kap. 9: *Polarisasjon, dobbeltbrytning*.
<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS2130/v16/laerebokkapitler-2016.html>.

∞

Konklusjon

Den ungarske gruppen⁽³⁾ har testet metoden bit for bit, men alltid kombinert én bit med matematisk analyse av andre deler av metoden. Vi har ikke sett en realistisk test under forhold der sola ikke er

Et skoleforsøk med strålingsoppvarming av små drivhus

Jan-Erik Solheim *, Thor Eriksen ** og Yngvar Engebretsen ***

Vi har undersøkt drivhuseffekt eksperimentelt i små drivhus med lamper eller sola som lyskilder. Målingene viste at drivhuseffekten primært skyldes at vegger og tak hindrer varm luft å slippe ut ved konveksjon. Ved jordoverflaten er varmetransporten dominert av konveksjon og fordampning. Det blir derfor feil å sammenligne jordas atmosfære med et drivhus. Målingene viste også at om vi belyser et drivhus fylt med CO₂, så blir temperaturen lik eller litt lavere enn med luft. I små drivhus vil derfor økning av CO₂ ikke føre til høyere temperatur.

Drivhuseffekt – hva skjer ved jordoverflaten?

For å unngå mulige misforståelser vil vi presisere at denne artikkelen dreier seg ikke om atmosfærens "drivhuseffekt", men om et skoleforsøk der vi har undersøkt hvilken virkning det har på lufttemperaturen i fire små drivhus å variere takmateriale og CO₂-innholdet i drivhusene (Red. anm.).

Infrarød stråling (IR) er elektromagnetisk stråling med lengre bølgelengder enn synlig lys. Hvor grensen går for hva som er synlig avhenger av individer, men en vanlig definisjon er 380-760 nm. 10 % av sollyset er i UV. Resten er fordelt omtrent likt mellom synlig og infrarødt lys (IR).

De første eksperimenter med IR-stråling ble gjort av William Herschel omkring 1800. Det ble fort klart at IR-stråling absorberes over korte avstander i luft. De første kvantitative eksperimenter ble gjort av John Tyndall som presenterte sine resultater i 1861.⁽¹⁾ Han konstruerte en beholder hvor stråling fra en varmekilde kunne varme opp gass inne i beholderen. Et problem var at glass stop-

per nesten all varmestråling, men ved en donasjon fra Trustees of British Museum fikk han laget en skive av steinsalt (NaCl) som slipper igjennom IR-stråling. Han gjorde systematiske forsøk som viste at noen gasser som oksygen og nitrogen nesten ikke absorberte stråling. Men han fant at med vandamp i luften kunne den absorbere 13 ganger mer varme enn uten. Han fant at absorpsjonen for vandamp var proporsjonal med tettheten av vandampen. Han konkluderte med at variasjoner i vandampinnholdet i atmosfæren ville føre til variasjoner i jordas klima, og at variasjoner i mengden av CO₂ og metan har tilsvarende betydning. Men han var ikke i stand til å beregne hvor mye.

Dette ble (av andre) sammenlignet med forholdene i et drivhus med tak av glass hvor synlig lys slipper igjennom, mens IR-stråling stoppes av glasset. De IR-absorberende gassene skulle derfor ha samme effekt som et glasstak i et drivhus. Det skulle forklare at det ble varmere inne i drivhuset enn utenfor. Dette kalles for *drivhuseffekt*, og de IR-absorberende gasser kalles for *drivhusgasser*.

Svante Arrhenius publiserte i 1909 beregninger basert på en antagelse om at jorda stråler ut som et svart legeme og at 18,7 % av IR-strålingen fra bakken blir absorbert av CO₂ i atmosfæren.⁽²⁾ Dette skulle føre til at jorda ble 14,5 °C varmere enn uten CO₂ i atmosfæren.

En enkel modell for atmosfærens drivhuseffekt er tidligere publisert i Fra Fysikkens Verden.⁽³⁾ Den omhandler kun energitransport ved stråling og sammenligner atmosfæren med gartnerens drivhus. I en grundig analyse av drivhuseffekten basert på teoretisk fysikk, blir begrepene "drivhuseffekt" og "drivhusgasser" klassifisert som "bevisst feilaktige begreper" (*deliberate misnomers*).⁽⁴⁾

Resultatet av Arrhenius' beregninger ble umiddelbart motbevist i et eksperiment av Robert W. Wood.⁽⁵⁾ Hans eksperiment viste at oppvarmingen inne i et drivhus skyldes at glasstak og -vegger førte til at den varme luften ble innestengt. Hans utgangspunkt var at han la merke til at et drivhus ble

* Professor em. UiT, nå Ø Bærum, ** Naturfaglærer, Oslo,

*** Fotograf, Bærum.

fort kjøligere når tak og vegger åpnes på en kald og vindfull dag. Tar vi bort tak og vegger vil en oppvarmet jordoverflate raskt bli avkjølt ved at kaldere luft strømmer til og tar med seg varmen med konveksjon.

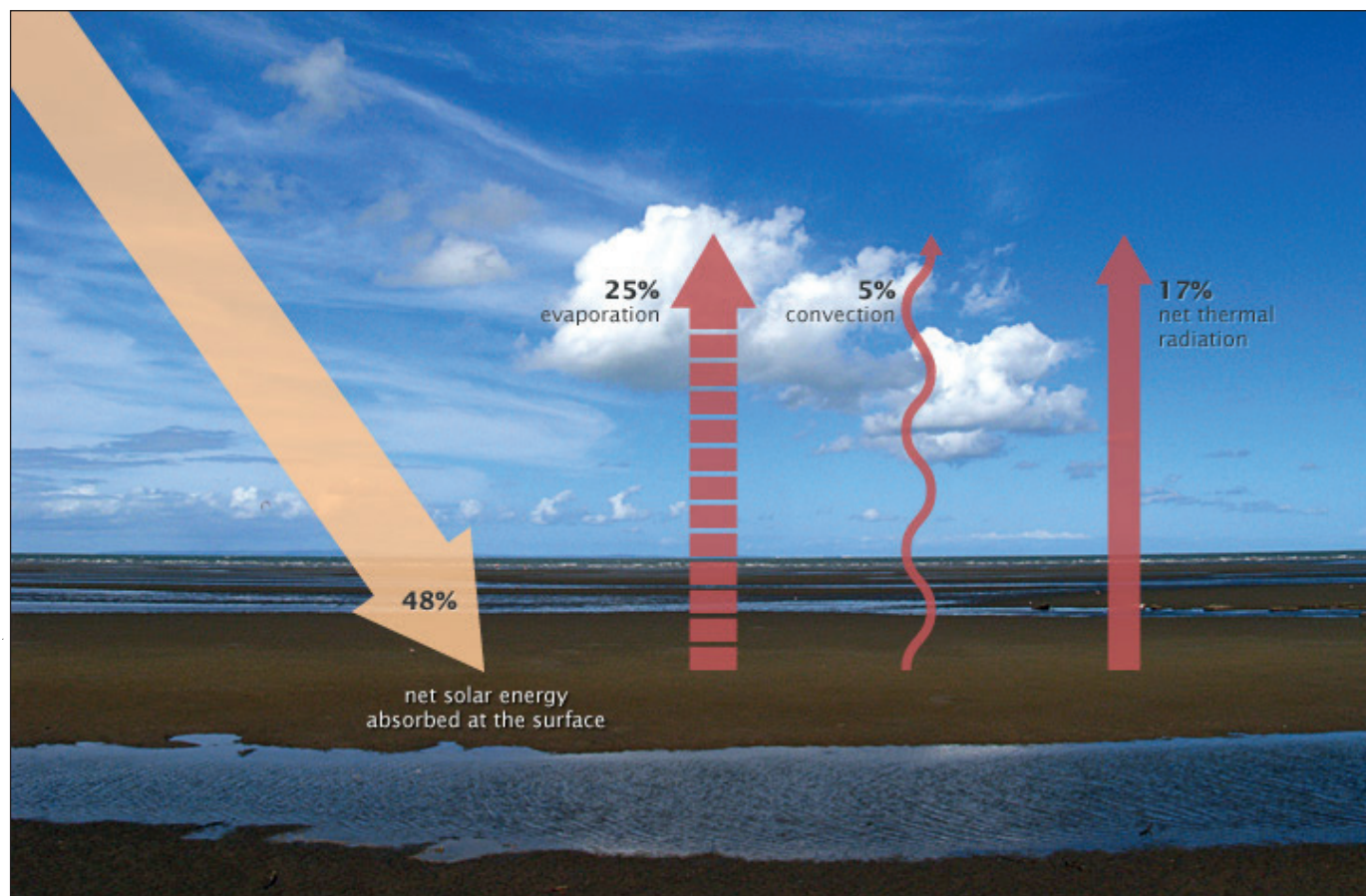
For å demonstrere dette lagde Wood to små kasser av stiv papp, malt sort inni, og pakket inn i bomull. Som tak brukte han på den ene glass som stopper IR, på den andre en skive av steinsalt som slipper gjennom IR. Med sola som lyskilde og en glassplate et stykke over kassene for å stoppe inngående IR-stråling fra sola, fikk han en oppvarming til ca 55 °C. Det var mindre enn én grad forskjell mellom de to kassene. Han konkluderte med at atmosfæren hovedsakelig blir varmet opp ved varmeledning og konveksjon, og at de IR-absorberende gassene (drivhusgasser eller klimagasser) spiller en liten rolle. Først i 2011 ble det gjennomført systematiske kvantitative eksperimenter av Nasif S. Nahle som verifiserte Woods eksperimenter: *Oppvarmingen i drivhus skyldes ikke at IR-stråling stoppes av glass, men mangel på kjøling ved konveksjon.*⁽⁶⁾

Vi observerer den samme effekten en sommerdag hvor sola får skinne gjennom bilvinduet på en park-

ert, lukket bil. Straks vi åpner dører og vinduer forsvinner varmen.

Målinger gjort av NASA, gjengitt i figur 1, viser at kun 17 % av innkommende solenergi forlater overflaten som stråling, mens 30 % unnslipper ved fordampning og konveksjon.

De viktigste IR-absorberende gassene i atmosfæren er vanndamp (H₂O), karbon-dioksid (CO₂), metan (CH₄), lystgass (N₂O) og ozon (O₃). Nyere beregninger viser at ved klar himmel blir ca 83 % av strålingen fra bakken absorbert i atmosfæren.⁽⁷⁾ Innholdet av CO₂ i atmosfæren er nå ca 0,04 % volumdel. CO₂ bidrar med 5,6 % av absorpsjonen. Ved dobling av CO₂-innholdet i atmosfæren absorberes ytterligere 1,5 %.⁽⁷⁾ Mengden av de IR-absorberende gassene er svært liten sammenlignet med majoritetsgassene nitrogen, oksygen og argon, som til sammen utgjør 99,97 % av atmosfæren i volum. Dette fører til at energien i den strålingen som blir absorbert av de IR-absorberende gassene like over bakken, blir overført til de andre gassene i atmosfæren ved kollisjon mellom gassmolekyler, og transportert videre ved konveksjon, varmeledning og latent varme. En størrelse som er mye brukt, er hvor mye temperaturen stiger som følge



Figur 1. Varmetransport ved jordas overflate. Vi ser at 48% av solenergien når bakken, 17% blir emittert som stråling fra bakken, mens resten transporteres ved konveksjon eller fordampning (fra: earthobservatory.nasa.gov).

av doubling av CO_2 (ΔT_{2x}). Brukt for jordas atmosfære kalles den klimafølsomhet. Beregninger som inkluderer konveksjon, fordampning og kjente tilbakekoblingsprosesser, gir $\Delta T_{2x} = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$.⁽⁷⁾

Måling av drivhuseffekten – utstyr og gjennomføring

I det følgende vil vi beskrive en serie eksperimenter, utført ved en skole i Oslo, hvor vi har undersøkt strålingsoppvarming av små drivhus med og uten tak og vegger, samt med tak av glass som stopper IR-stråling og tak av plastfilm som slipper gjennom IR-stråling. Vi har også målt oppvarming i et drivhus fylt av CO_2 og gjort forsøk på å bestemme temperaturfølsomheten ved doubling av CO_2 -innholdet (ΔT_{2x}).

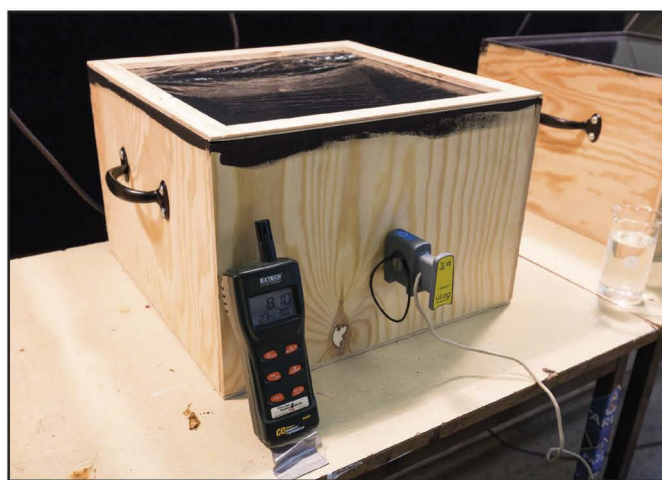
For å demonstrere hvordan drivhuseffekten virker i små drivhus bygget vi på skolens verksted fire drivhus med tak som kan skiftes ut (figur 2). Veggene er av 3 cm tykke finerplater, og var i de første forsøkene isolert innvendig med isopor. Kassene er malt innvendig med sort maling, og gjennom veggen stikkes en temperaturføler. Temperaturløpet logges av datamaskin med leverandørens programvare. Lys fra en dagslyslampe, eller sola, varmer opp drivhuset gjennom et tak av glass som stopper IR-stråling, eller plastfilm (gladpac), som er transparent for IR-stråling. Vi varmer opp luft med variabelt innhold av CO_2 til temperaturen i drivhuset stabiliserer seg, dvs. at varmetapet gjennom bunn, vegger og tak balanserer varme som kommer inn gjennom taket fra lampe eller sol.

Før og etter en måleserie blir temperatursensorene kalibrert i vannbad. Ifølge leverandøren er sensorene lineære i område $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ til $+110 \text{ } ^\circ\text{C}$, med en målenøyaktighet på $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Vi fant at nøyaktigheten var vesentlig bedre, omkring $0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ i vårt måleområde ($20\text{--}70 \text{ } ^\circ\text{C}$). Temperatursensorene dekkes med en bit aluminiumtape slik at de ikke skal motta direkte stråling fra lampene. CO_2 -innholdet i luften måles med instrument (*EXTECH CO250 CO2-meter humidity thermometer*). Dette måler imidlertid kun til $10\,000 \text{ ppmv}$. Høyere CO_2 -mengder får vi ved å slippe et kjent volum CO_2 inn i drivhuset. Volumet av CO_2 -gassen bestemmer vi ved Avogadros lov: Vi blåser opp en ballong med CO_2 under vann og bestemmer volumet av den fortrente væskemengde.

Målinger utført med spektrograf på FFI viste at glasset slipper gjennom 80-85 % stråling for bølge-

lengder under $2,7 \text{ }\mu\text{m}$, og stopper stråling ved bølglengder over $4,5 \text{ }\mu\text{m}$. Plastfilm slipper gjennom ca 90 % synlig lys og IR-stråling.

Vi gjennomførte eksperimenter både innendørs med dagslyslamper og utendørs med sola som lyskilde. Lampene er dagslys-halogenlamper, av type ECO superstar 200 W, med en fargetemperatur på 2900 K. Dette er glødelamper fylt med halogen. Lampeglasset har et belegg som stopper IR-stråling med bølglengde over 800 nm. Vi satte våre drivhus på rekke med en svart plate mellom for å hindre at en lampe belyste mer enn ett drivhus, som vist i figur 3.



Figur 2. Vårt "drivhus" er en boks av finer med utskiftbart tak, med ekstra isolasjon og svartmalt innvendig. En temperaturføler er stukket gjennom veggen. Utenfor står et apparat for CO_2 målinger.



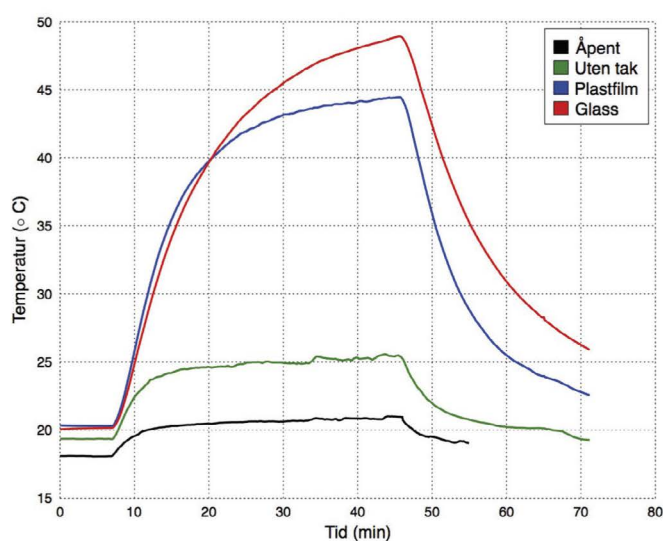
Figur 3. Fire drivhus på rekke med lamper, temperaturfølere og datalogger. Mellom drivhusene har vi svartmalte vegger for å hindre at lys fra en lampe også kommer inn i nabodrivhus.

Lampene er montert i reflektorer (arbeidslys). Før starten av forsøket målte vi lysfluks i bunnen av kassene. Den varierte opp til 8 % mellom lampene. Vi justerte da lampenes avstand og oppnådde

< 2 % variasjon. Vi anser forskjellig lysfluks fra lampene som den største kilde til usikkerhet i våre forsøk innendørs. Som kontroll gjennomførte vi derfor utendørsforsøk med sola som kilde. Vi gjennomførte i alt 12 forsøk med fire drivhus, dvs. 48 måleserier. Mange av seriene ble brukt til å få erfaring med de forskjellige parametre som inngår i forsøket. Noen av resultatene gjengis i det følgende.

Resultat av forsøk med dagslyslamper

Figur 4, grønn kurve viser at temperaturen i drivhuset uten tak stiger fra 19 til ca 25 °C. Den blå kurven viser at i drivhuset med tak som slipper ut IR-stråling (plastfilm), stiger temperaturen fra 20 til 44,5 °C, mens den røde kurven viser at i et drivhus med glasstak stiger temperaturen fra 20 til 49 °C. I drivhuset med plastfilm som tak (blå kurve), stiger temperaturen i begynnelsen raskere fordi plastfilm slipper inn mer synlig lys enn glass, men etter 20 min ser vi at drivhuset med glasstak er varmast, fordi det slipper ut mindre varme. Vi ser også at selv uten varme fra lampe blir det litt varmere i drivhus med tak de første 7 min. Til sammenligning viser vi også temperatur over en belyst svart flate uten vegger og tak som stopper eller reduserer konveksjon. Her stiger temperaturen kun 2 °C.

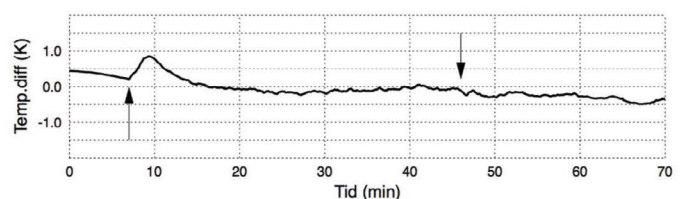


Figur 4. Temperaturkurver fra oppvarming av tre drivhus med vanlig luft: ett uten tak (grønn kurve), ett med glasstak (rød kurve) og ett med tak av plastfilm (blå kurve). Nederst er en kurve som viser oppvarming over en svart flate uten vegger og tak.

Det å ha tak på et drivhus betyr mer for å holde på varmen enn om taket består av glass som stopper IR-stråling eller plastfilm som slipper gjennom IR-stråling. Drivhuseffekt på grunn av tak og vegger i våre små drivhus, førte til 5–6 ganger større temperaturøkning enn forskjellen mellom hus med tak som stopper eller slipper ut IR-stråling. Det viktigste ved drivhus er at luften stenges inne, noe som hindrer varmetap ved konveksjon. At taket stopper IR-stråling gir en svakere effekt.

I en video produsert for Al Gore som del av 24 hr Gore-a-thon, hevdes det at *et enkelt eksperiment demonstrerer at mer CO₂ fører til oppvarming. En glassflaske fylles der med CO₂, belyses med en varmelampe, og i løpet av få minutter kan en oppvarming på flere grader måles i forhold til oppvarming av en glassflaske med luft.*⁽⁸⁾ Vi fylte derfor et drivhus med CO₂ for å se om vi kunne demonstrere det samme med våre dagslyslamper.

Figur 5 viser temperaturforskjellen mellom et drivhus fylt med CO₂ og ett med vanlig luft. Begge drivhusene har tak av plastfilm som slipper ut IR-stråling. Vi ser at selv om CO₂-drivhuset er 0,5 grader varmere i starten, og får 0,5 grader oppvarming fordi lyset slås på ca 1/2 min før drivhuset med luft, så minker temperaturdifferansen slik at den er null etter 20 min med lampene på. Når lampene slås av ved ca 46 min, synker temperaturen i drivhuset med CO₂ litt raskere enn i det med luft. Vi har derfor ikke kunnet reprodusere Al Gores eksperiment.



Figur 5. Temperaturforskjell mellom et drivhus fylt med CO₂ og ett med luft. Lyset ble slått på etter 7,5 min, og av etter 46 min (piler).

En gjentakelse av eksperimentet med det samme utstyret som Gore brukte ga motsatt resultat enn i Al Gores video: En glassbeholder med luft ble varmet raskere opp enn en med CO₂.⁽⁸⁾

Vårt forsøk viser at en kraftig CO₂-økning til 100 % ikke fører til temperaturøkning i drivhuset. Vi har derimot vist at når lys slås av kjøles et drivhus med CO₂ raskere enn et drivhus med luft. Vi har derfor ikke påvist noen temperaturstignings-effekt ved en CO₂-fylt beholder slik som påstått ved Al Gores eksperiment.⁽⁸⁾

En ting vi skal være oppmerksom på er at når vi fyller et drivhus med CO₂, så fortrenses vanddampen som finnes i luften. Da vanddamp absorberer vesentlig ved mer stråling enn CO₂, kan dette føre til en mindre oppvarming og raskere avkjøling. Vi undersøkte derfor effekten av en mindre CO₂-økning i drivhuset.

Resultat med sola som lyskilde

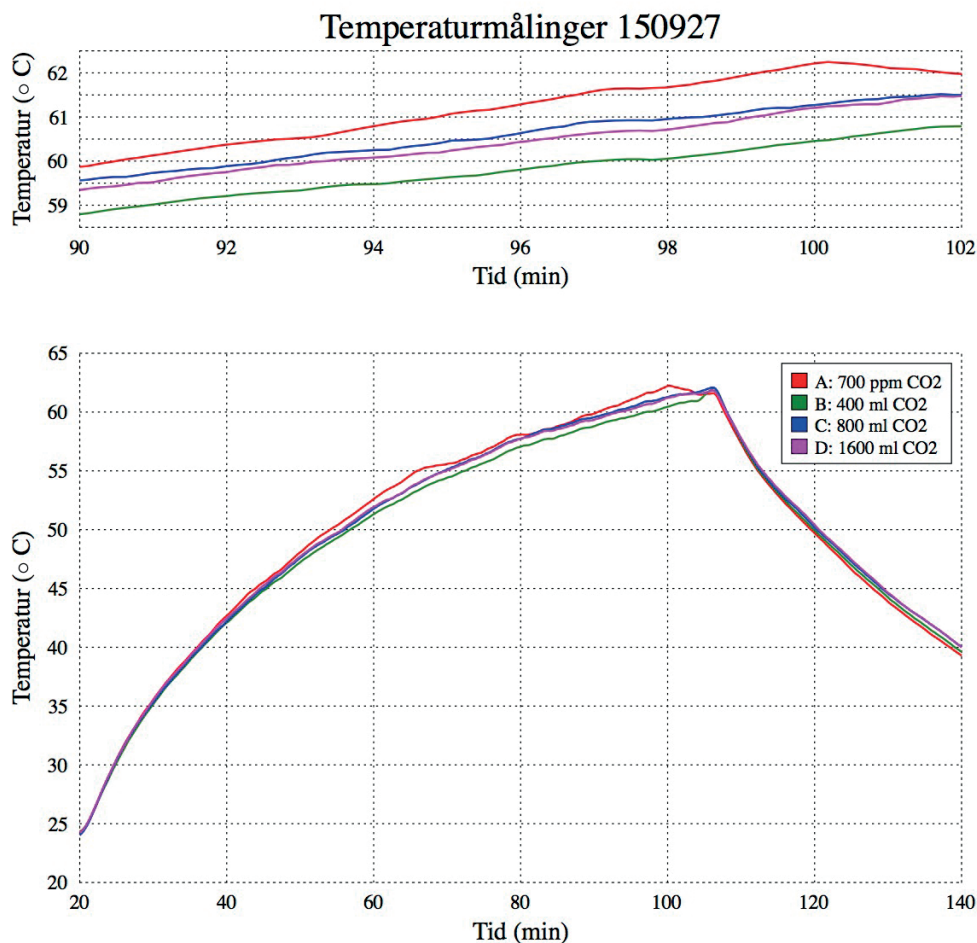
For å forsikre oss om at vi har en konstant lyskilde, gjorde vi eksperimenter med sola som lyskilde og plastfolie som tak. For ikke å varme hverandre var drivhusene nå isolert med isopor med aluminiumsfolie på utsiden (figur 6).

Etter flere forsøk som ble avbrutt av skyer, fikk vi endelig en helt skyfri dag (28.09.2015) og utførte målinger som vist i figur 7. Vi målte maksimumstemperaturer på 61–62 °C inne i drivhusene, mens det var ca 15 °C i skyggen utenfor. Vi registrerte da vanddråper på innsiden av plastdrivhustaket. Siden vann absorberer IR-stråling,



Figur 6. Forsøk med fire drivhus med forskjellig innhold av CO₂. Drivhusene er montert på stativ hvor vinkel og retning kan endres slik at drivhusene følger sola. Inne i drivhusene er det montert en liten skjerm foran sensorhodet slik at dette ikke blir belyst av sola.

ble forsøket da avbrutt. Temperaturen på innsiden av plastfolien var da lik duggpunktstemperatur på 3 °C (www.dpcalc.org). Dette demonstrerer



Figur 7. Temperaturforløp i fire små drivhus med plastfilmtak med sola som lyskilde. Sensor D viste 0,4 °C høyere temperatur enn de andre ved recalibrering i luft etter 160 minutter.

varmetap ved varmeledning og strålingstap gjennom den meget tynne plastfolien, i tillegg til transport av latent varme inne i drivhuset.

Dette forsøket viser mest oppvarming for drivhuset med minst CO₂, noe som tyder på en negativ temperaturfølsomhet. Dette vil si at mer CO₂ i drivhuset gir mindre oppvarming. Forsøket bør gjentas med høyere lufttemperatur, noe som ikke var mulig høsten 2015.

Konklusjon

Forsøk med strålingsoppvarming av små drivhus viser at drivhuseffekten primært skyldes at tak og vegger hindrer varm luft å slippe ut ved konveksjon. Vi finner at varmetapet ved konveksjon er større enn ved stråling, slik det også er ved jordoverflaten.

Økning av CO₂-innholdet i våre drivhus har ikke ført til en stabilt høyere temperatur. Fyller vi et drivhus med CO₂, stabiliserer temperaturen seg på omtrent samme, eller litt lavere, nivå enn med vanlig luft. Vi kan derfor ikke konkludere med at mer CO₂ i drivhus fører til oppvarming.

Når vi bruker dagslyslamper til oppvarming, er forskjellen mellom lysfluks fra lampene den største usikkerhetsfaktoren. Med sola som kilde eliminerte vi denne usikkerheten. Men heller ikke med sola som lyskilde har vi greid å måle økt oppvarming med mer CO₂.

Våre eksperimenter viser at det er feil å sammenligne jordas atmosfære med et drivhus av glass som stopper IR-stråling. De IR-absorberende gassene overfører mesteparten av strålingen fra bakken til bevegelse av molekyler (varme) som transporteres ved varmeledning, konveksjon og latent varme. Denne varmetransporten stoppes av vegger og tak i drivhus. Det er derfor ikke riktig å bruke forholdene i et drivhus til å beskrive jordas atmosfære. Begrepene drivhuseffekt og drivhusgasser er derfor meningsløse til å beskrive forhold i atmosfæren.⁽⁴⁾ Dog utnytter vi den virkelige drivhuseffekten til oppvarming av hus med vinduer (og tak) av glass som slipper inn synlig lys og stopper utgående IR-stråling, samtidig som vi begrenser varmelekasje ved å isolere vegger og tak og stoppe trekk. Gartnere øker CO₂-innholdet i sine drivhus for å få en bedre vekst av sine planter. Her kan det være riktig å bruke betegnelsen drivhusgass.

Først høyt oppe i atmosfæren hvor gasstrykket er lavt, overtar stråling som den dominerende, og til slutt eneste, metode for energitransport. Hva

som skjer der oppe, kan ikke bestemmes ved forsøk i drivhus på bakken med atmosfæretrykk.

Takk

En takk til Atle Rognmo ved FFI for måling av transmisjonskurver i IR, og til redaktøren og anonyme gjennomlesere for nyttige kommentarer.

Referanser

1. John Tyndall: *On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connection of Radiation, Absorption and Conduction*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, **151**, 1–36 (1861)
2. Svante Arrhenius: *Die vermutliche Ursache der Klimaschwankungen*. Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobelinstitut, 1, No. 2 (1906)
3. Ingolf Kanestrøm og Thormod Henriksen: *Atmosfærens drivhuseffekt – enkel modell*. FFV, **73**, Nr. 1, 12–16 (2011)
4. Gerhard Gerlich og Ralf D. Tscheudschner: *Falsification of the Atmospheric CO₂ Greenhouse Effects Within the Frame of Physics*. International Journal of Modern Physics B, **23**, Nr. 3, 275–364 (2009)
5. R.W. Wood: *Note on the Theory of the Greenhouse*. Philosophical Magazine, **17**, 319–320 (1909)
6. Nasif S. Nahle: *Repeatability of Professor Robert W. Wood's 1909 experiment on the Theory of the Greenhouse*. Biology Cabinet Online-Academic Resources and Principia Scientific International, Monterrey. N. L. (2011)
7. Hermann Harde: *Advanced Two-Layer Climate Model for the Assessment of Global Warming by CO₂*. Open Journal of Atmospheric and Climate Change (2014)
8. <http://wattsupwiththat.com/climate-fail-files/gore-and-bill-nye-fail-at-doing-a-simple-co2-experiment>
9. Forfatterne legger også ut filmklipp på YouTube som viser detaljer i eksperimentene.

Thomsons dråpegenerator og visualisering av ladningsoverføring

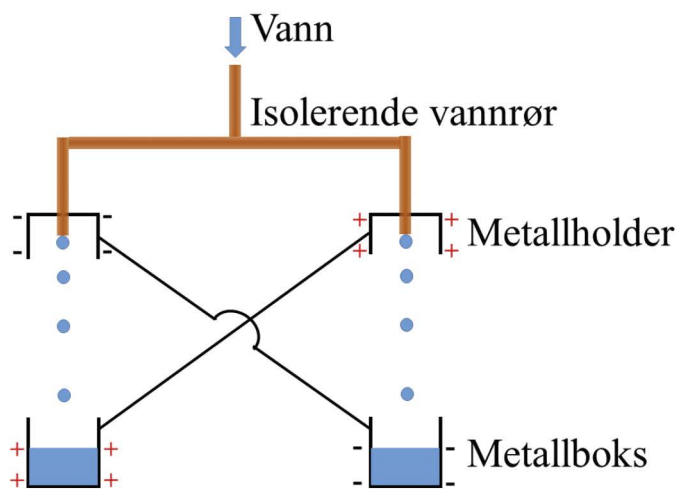
Lars Egil Helseth *

Kontaktelektrifisering er et kjent fenomen for de fleste. Det kan være de små "lynutladningene" man ser når hånden kommer nær et metallhåndtak etter at man har subbet føttene over teppet en vinterdag, eller ballongen som gnis mot håret for deretter å festes til veggen.

Man forbinder ofte slike fenomener med tørr luft og vinter, men det er et faktum at også vann kan elektrifiseres i kontakt med faste stoffer. Dette fenomenet har vært kjent i lang tid, og mye forskning er gjort for både å bli kvitt og å utnytte den elektriske kontaktladningen som oppstår når vann kommer i kontakt med faste stoffer. Her vil jeg først forklare virkemåten til Thomsons dråpegenerator. Deretter vil jeg demonstrere hvordan man kan visualisere ladningsoverføringen som finner sted i det vann treffer en fluoropolymer ved hjelp av en lysdiode.

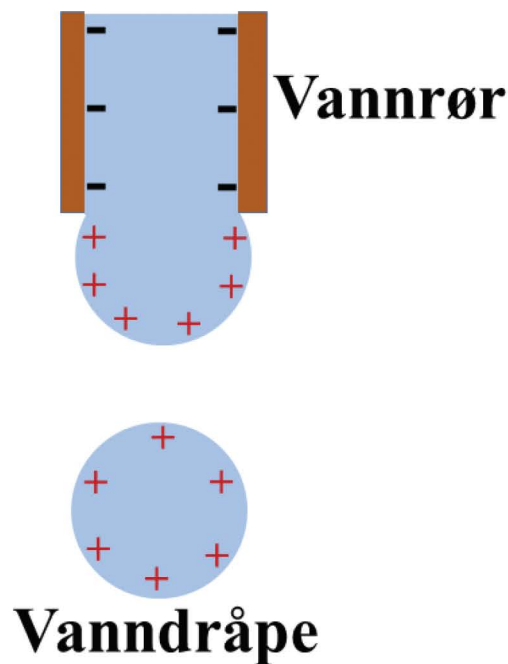
Thomsons dråpegenerator

I 1867 presenterte William Thomson, senere også kjent som Lord Kelvin, en artikkel der han forklarte hvordan han hadde konstruert en generator som kunne elektrifisere vanndråper og lagre ladningen i kondensatorer.⁽¹⁾ En forenklet skisse av apparatet er vist i figur 1. Et vannrør deles i to, slik at vann kan dryppe ut av to endestykker montert inne i respektive metallholderne. De to vannrørene er isolert fra metallholderne. Dråper drypper fra disse to endene ned i metallbokser. Vanndråper som drypper fra en vannslange vil oftest generere netto negativ ladning på overflaten av vannslangen. I dette tilfellet er det bare overflaten på innsiden av vannslangen som er i kontakt med vann, slik at det er bare her det akkumuleres negativ ladning.



Figur 1. En forenklet fremstilling av Thomsons dråpegenerator. Detaljene er forklart i teksten.

Tilsvarende vil vanndråpen få en netto positiv ladning, for at ladning skal være bevart i systemet, se figur 2.



Figur 2. Kontaktelektrifisering av vanndråper som drypper fra et rør.

* Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen.

Dråpen faller så nedover, som betyr at vannslangen med sin negative ladning står igjen, og dermed fører til at det induseres en negativ ladning i metallholderen. Den positivt ladde vanndråpen faller ned i metallboksen, og induserer en positiv ladning i denne. Vi har dermed en positivt ladet metallboks og en negativt ladet metallholder. For å sikre tilbakekobling i systemet slik at ladning gradvis kan bygges opp etter hvert som flere dråper faller, koblet Thomson en leder fra metallboksen nederst til venstre til metallholderen øverst til høyre, og tilsvarende en separat leder fra metallholderen til venstre med metallboksen til høyre. Dermed er metallholderen til høyre positivt ladet idet neste dråpe faller, slik at det induseres negativ ladning i vanndråpene som faller til høyre i figur 1 (elektriske felt vil indusere ladning gitt av polariteten på feltet). De negativt ladde vanndråpene induserer enda mer negativ ladning i metallboksen nede til høyre. Slik fortsetter den selvforsterkende prosessen, og gradvis mer ladning lagres.

Nå viser det seg at dersom vannrørene gjennom venstre og høyre metallboks er identiske, så vil det være tilfeldig hvilken metallboks som får positiv eller negativ ladning. Dette kan avhjelpest ved å velge to vannrør av materialer med ulik ladningsaffinitet (dvs. evne til å tiltrekke seg elektrisk ladning). Videre vil ladningen på metallboksene gradvis nøytraliseres av ioner i luften (for eksempel i svevende vanndråper), så denne type generator virker best dersom luftfuktigheten ikke er altfor stor.

Uansett, i 1860-årene var Thomsons dråpegenerator et viktig fremskritt, da det ikke eksisterte så mange metoder for å lage høyspenning. Ved passende opprigging, kan en slik dråpegenerator lett generere spenninger på flere kilovolt, og man kan få dielektrisk gjennomslag (små lyn) i luft ved å bringe de to metallboksene nær nok hverandre. Interessant nok foregår det fortsatt forskning på Kelvins dråpegenerator også i dagens forskningssamfunn, da man ennå ikke har forstått hele dens virkemåte. Spesielt viser det seg vanskelig å forstå hvordan og hvor mye ladning som genereres når vann drypper fra ulike typer materialer.

Elektrifisering av vann

Vann som plaskes, sprutes og dryppes vil oppleve en nydannelse av overflate. Bindingene mot luft eller fast stoff er ulike de inne i vannet, og dermed kan dette lett resultere i forflytning av ladning til eller

ved vannets overflate. Totalt sett dannes det ikke ny ladning, siden ladning jo er bevart. I stedet kan man si at negativ ladning overføres til en overflate og tilsvarende positiv til en annen. Isolatorer kan ikke lede bort og nøytralisere ladning, så den vil forbli på overflaten i lang tid (i årevis på de beste isolatorene). Nå skal det nevnes at atmosfæriske ioner kan nøytralisere ladningen, men dette tar oftest tid. Enn så lenge er systemet ikke i likevekt.

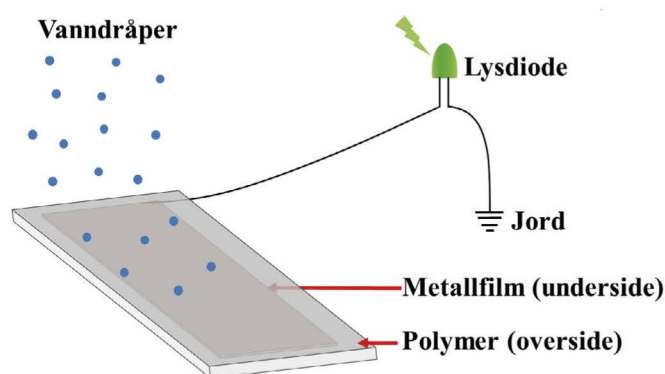
Når en isolator kommer i kontakt med vann, vil ionene i vannet refordes og danne et såkalt elektrisk dobbeltlag, siden omliggende ladning vil strømme til for å skjerme denne nye overflateladningen. Ved separasjon av fast stoff og væske vil noe ladning følge med, slik at hver nydannet overflate får like stor netto ladning, men med motsatt fortegn. Interessant nok viser det seg at en ekstra stor negativ ladning dannes på hydrofobe (vannavstøtende) fluoropolymerer ved kontakt med vann. Hydrofobe fluoropolymerer inneholder fluoratomer i molekykjeden. Dersom man lar en slik polymer komme i kontakt med vann, for deretter å fjerne polymeren bort fra vannet, vil man kunne måle at det ligger en netto negativ ladning på overflaten av polymeren (tilsvarende vil vannet ha en netto positiv ladning siden ladning er bevart). Mye forskning har blitt gjort for å finne ut hvordan den negative ladningen oppstår på polymeroverflaten. Selv om det ikke finnes en universelt akseptabel forklaring, så antyder det meste av tilgjengelig forskning at denne negative ladningen er forårsaket av adsorpsjon eller orientering av vannets O-H grupper nær det faste stoffets overflate. Fluor-karbon grupper (som man finner i teflon) har en stor affinitet for elektroner, så ved separasjon av vanndråper fra fast stoff vil en del av de negative ladningene følge med det faste stoffet.

Dersom vann drypper fra en teflon-overflate, kan man forvente at vanndråpene har netto positiv ladning mens teflonoverflaten er negativ. Den målte ladningen kan være opp mot $q = 1 \text{ nC}$. For en vanndråpe med radius $r = 2 \text{ mm}$, kan vi estimere størrelsesordenen til det elektriske feltet rundt dråpen til å være $E \sim 2 \text{ MV/m}$ ved hjelp av formelen $E = q/(4\pi\epsilon r^2)$, der ϵ er permittiviteten til luft. Siden gjennomslagsfeltet i luft er av samme størrelsesorden, er det ikke rart at litteraturen rapporterer observasjoner av små 'lyn' idet vanndråper treffer teflon (som kan sees i et mørkt rom). Gjentas dette forsøket med andre faste stoffer, vil man finne at vanndråper lades positivt i de fleste tilfellene, men vanligvis er størrelsen på ladningen min-

dre enn for teflon. Denne elektrifiseringen av isolatorer og halvledere som kommer i kontakt med vanndråper er noe man ofte ønsker å unngå, spesielt i mikroelektronikk-industrien der rent vann ofte brukes til rensing. Uønsket ladning kan skape store problemer for en rekke sensitive elektroniske komponenter, og mye forskning har derfor blitt gjort for å finne opp passende antistatiske kjemiske stoffer som kan tilsettes for å redusere kontaktelektrifisering. Tilsvarende har det også vist seg at organiske væsker, som leder strøm dårlig, har en tendens til å elektrifisere rør ved gjennomstrømning. Dette har skapt mange problemer i form av gnistdannelser og påfølgende eksplosjoner, som har ført til at for eksempel bensinfabrikanter tilsetter antistatiske kjemiske forbindelser for å unngå dette.

Visualisering av ladningsoverføring

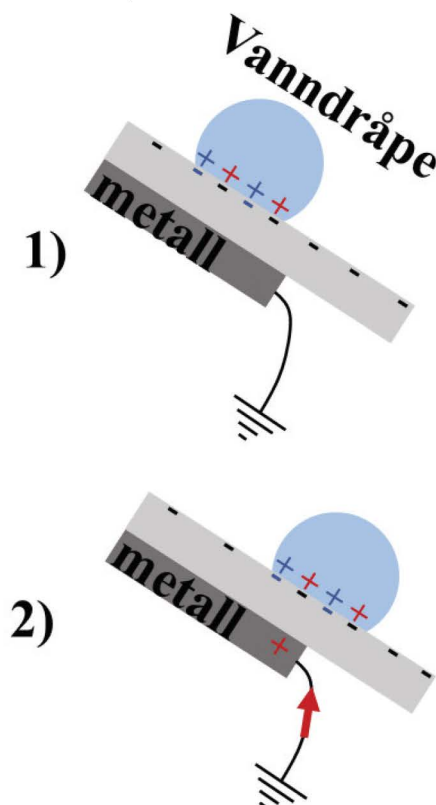
Elektrifisering av hydrofobe polymerer som kommer i kontakt med vann kan også demonstreres på andre måter enn via Thomsons dråpegenerator. Et mulig oppsett er vist i figur 3.



Figur 3. Vanndråper renner over en teflonfilm som har et metall-lag på undersiden. Elektrisk strøm blir induert mellom metall-laget og jord via en lysdiode.

Her er en tynn metallfilm festet på baksiden av en hydrofob polymerfilm. Den hydrofobe polymerfilmen kan for eksempel være poly(tetrafluoretylen), bedre kjent som teflon. Når en vanndråpe beveger seg nedover teflonlaget, vil det dannes en kontaktladning på overflaten. Denne kontaktladningen inducerer ladning også i metallfilmen. Påfølgende dråper vil derfor inducere strøm i metallfilmen idet de ruller eller glir over nedre kant av metallfilmen, se figur 4.

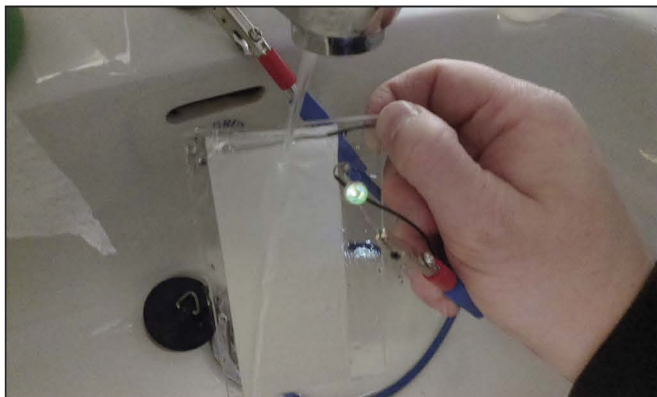
Når en vanndråpe er i kontakt med polymeren vil det på de to overflatene finnes både ladning på grunn av det elektriske dobbeltlaget (nega-



Figur 4. Dråpe som glir nedover en elektrifisert polymerfilm vil generere strøm (rød pil) idet den glir over kanten på metallelektroden.

tiv og positiv ladning er angitt med blå farge), som forsvinner når dråpen forsvinner, og ladning som mer eller mindre permanent indueres i polymeroverflaten (positiv ladning med rød farge og negativ ladning med svart farge). Vanligvis er ladningstettheten assosiert med det elektriske dobbeltlaget (blå farge) mye større enn ladningen som kan bidra til strømmen (rød/svart farge), men for enkelhets skyld er disse to tegnet like store i figur 4. Vi ser også at det er bare når dråpen glir over kanten av elektroden, som ligger under polymeren som dråpen glir på, at strøm går til jord. Metallfilmen fungerer derfor litt på samme måte som metallboksen i Thomsons dråpegenerator. For å visualisere ladningsoverføringen lar man strømmen gå gjennom en elektrisk leder koblet til metallfilmen, via en lysdiode og til jord.

Figur 5 viser hvordan en lysdiode lyser opp ved å implementere oppsettet i figur 3. Et stykke pleksglass ble brukt som underlag. Deretter ble det lagt på en tynn dobbeltsidig tape etterfulgt av en tynn film aluminiumstape. En elektrisk leder ble festet til metallfilmen, og på toppen ble det tapet fast en 25 μm tynn, kommersielt tilgjengelig fluorinert etylen propylen (FEP) film. Vann beveger



Figur 5. Bildet viser hvordan en grønn lysdiode lyser opp når en vannstråle treffer polymeren i et oppsett av typen skissert i figur 3.

seg nedover denne tynne polymerfilmen. En grønn lysdiode (bølgelengde sentrert rundt 525 nm), som er festet til den elektriske lederen og til jord (metallet på vannkranen i dette tilfellet) lyser opp ved tilstrekkelig strømstyrke, som krever en passende innstilling av vannføringen til det rennende vannet. Det blinkende lyset assosieres med fluktuasjoner i vannstrålen eller dråper som passerer. En laminær, stasjonær strøm av vann vil ikke resultere i strøm. For at lysdioden skal lyse opp, må man ha en spenning på minst 2,5 V og samtidig strøm på minst noen få μA . Spenningen som genereres kan ofte bli en størrelsesorden større enn påkrevd, men strømmen er bare akkurat stor nok til å se lys med denne enkle konfigurasjonen.

Regnceller

Et interessant spørsmål er om det er mulig å bruke denne elektrifiseringen til å generere nyttig elektrisk energi. I 2015 kom det mer enn 3 m nedbør, og i juli 2016 ble det i Bergen nok en gang rapport om ny nedbørsrekord, så det hadde vært flott om man kunne bruke noen av disse vandrdråpene til å generere strøm for å kunne drive små sensorer (dvs. ikke bare samle vannet i store magasin til å drive store kraftverk). Forfatteren og en rekke andre forskere verden rundt arbeider med denne problemstillingen, og tenker at de samme prinsipper som ligger til grunn for Thomsons dråpegenerator også kan brukes til å lage regnceller til å drive småelektronikk.

Bruken av ordet regncelle spiller litt på bruken av ordet solcelle. En solcelle betegner som kjent en innretning som kan generere elektrisk strøm ved hjelp av sollys. Tilsvarende kan man tenke seg at en

regncelle er en innretning som bruker regndråper til å generere strøm. For at slike regnceller skal kunne ta spranget over i praktiske anvendelser, er et viktig delmål å kunne øke ladningsoverføring per tid, noe som krever bedre materialer og mer effektive elektrodegeometrier. Mer om hva som foregår på dette området finnes i forskningslitteraturen, se for eksempel referansene 2 og 3.

Litteratur

1. W. Thomson: *On a self-acting apparatus for multiplying and maintain electric charges, with applications to illustrate the voltaic theory.* Proc. R. Soc. London **16**, 67-72 (1867)
Kan lastes ned her: <http://www.jstor.org/stable/112474>.
2. L.E. Helseth: *Electrical energy harvesting from water droplets passing a hydrophobic polymer with a metal film on its back side.* Journal of Electrostatics, **81**, 64-70 (2016)
3. L.E. Helseth and X.D. Guo: *Fluorinated ethylene propylene thin film for water droplet energy harvesting.* Renewable Energy, **99**, 845-851 (2016)

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2015/2016

Første uttaksrunde

Fysikkolympiaden ble gjennomført på tradisjonelt vis siste skoleår. I første runde deltok 106 skoler med 923 elever hvorav 24 % var jenter. Andelen jenter som tar Fysikk 2 på landsbasis er omtrent 30 %. Jentene er med andre ord litt underrepresentert i fysikkolympiadens første runde.

Oppgavene var vanskelige. I gjennomsnitt fikk elevene 40 % riktig. Men det var fire som fikk alt riktig, og det har aldri skjedd før at så mange har fått til alt. For å gå videre til andre runde krevdes 76 % riktig.

Andre runde

I andre runde deltok 69 elever, derav 5 jenter. Her ble Oskar Goldhahn fra Lundeneset vgs., Weronika



Figur 1. De norske deltakerne i Zürich. Bakerst fra venstre: Torbjørn Mehl (leder), Herman Sletmoen, Nikita Klimenko og Vegard Undheim. Foran fra venstre: Elevens lokale guide, Grigory Martyushenko, Fridtjof Eikanger og Thomas Frågåt (leder).

Wrzos-Kaminska fra Nadderud vgs. og Nikita Klimenko fra UWCRCN (*Red Cross Nordic United World College*) de tre beste.

Norsk finale

De 18 beste fra andre runde ble tatt ut til å være med på en ukes kurs ved UiO og norsk finale. Den norske finalen ble avholdt 8. april 2016. Nikita Klimenko fra UWCRCN ble best, tett fulgt av Herman Sletmoen fra Lillehammer vgs. og Grigory Martyushenko fra Oslo katedralskole.

Etter finaleuka fikk vi denne tilbakemeldingen fra en av elevene:

Det var litt intensive dager, men jeg forstår at det var mye vi skulle gjennom på kort tid og fikk med meg mye fra undervisningen og oppgaveregningen. Jeg likte også godt populærforelesningene, fordi disse ga meg et innblikk i hva man kan arbeide med innen fysisk forskning.

Den internasjonale finalen

Årets internasjonale fysikkolympiade var den 47. i rekken og ble arrangert i Zürich i Sveits, 11. – 17. juli. Arrangementet hadde rundt 400 deltakere fra 84 land. I tillegg var to land til stede som observatører da de ønsker å stille med egne lag neste år.

Arrangementet var godt planlagt og gjennomført, som vanlig med sveitsisk presisjon. Nytt av året var et nytt system for å oversette oppgavene til de ulike språkene. Tidligere ble oppgavene oversatt

i Word, men nå ble de oversatt "online" i nettlesere. Dette forenklet oversettingsarbeidet vesentlig.

Årets vinner var fra Kina. De seks beste nasjonene var Kina, Sør-Korea, Russland, Indonesia, Japan, og Singapore. smallskip

De norske deltakerne var Nikita Klimenko, Herman Sletmoen, Grigory Martyushenko, Vegard Undheim og Fridtjof Eikanger. Til tross for hederlig innsats, fikk ikke de norske deltakerne noen medaljer eller hederlige omtaler i år. Norske lagledere var Torbjørn Mehl og Thomas Frågåt.

De teoretiske oppgavene var delt inn i tre temaer. Det var mekanikk med to oppgaver der den ene handlet om å bestemme størrelsen og plasseringen til en skjult metallplate i en tresylinder, og den andre var om en roterende romstasjon. Videre var det en oppgave om ikke-lineær dynamikk i elektriske kretser, og til slutt en som tok utgangspunkt i *Large Hadron Collider* (LHC) ved CERN.

Den eksperimentelle konkurransen hadde to temaer. Det første var om elektrisk ledeevne (konduktivitet) i to dimensjoner, og det andre omhandlet hoppende frø i en todelt sylinder på en høytalermembran som ble brukt til å lage en modell for faseoverganger.

Finalen i fysikkolympiaden er en stor opplevelse for deltakerne. Det legges bevisst opp til sosiale aktiviteter der elevene får anledning til å møtes og bli kjent med ungdom med samme interesser fra hele verden.

Etter finalen skrev en av deltakerne:

Uansett vil jeg benytte anledningen til å si takk for siste gang for hele fysikkolympiadeopplegget. Det har vært en fornøyelse å være med helt fra første runde. Finaleuken og treningsleiren i Oslo var også veldig ålreite. Selv om det ikke ble noen hederlige omtaler eller medaljer i Zürich, var reisen veldig morsom, spennende og ikke minst lærerik og inspirerende, og jeg føler meg veldig privilegert som har fått være med på alle disse reisene.

Mer informasjon om den norske delen av fysikkolympiaden finnes på: <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/fysikk-ol/>

På hjemmesiden til den internasjonale fysikkolympiaden 2016, kan en finne finaleoppgavene på alle språk: <http://www.ipho2016.org>

Neste internasjonale fysikk-OL (IPhO 48) blir arrangert i Indonesia.

Fysikkolympiaden støttes av Kunnskapsdepartementet, Forskningsrådet og Universitetet i Oslo.

Carl Angell og Thomas Frågåt

∞

The 12th International Workshop: Dark Side of the Universe

Fra 25. til 29. juli var Universitetet i Bergen vertskap for ovennevnte velrenommerte møte. Denne serien av møter har som mål å bringe sammen anerkjente teoretikere og eksperimentalister for å diskutere aktuelle ideer innen mørk materie og mørk energi. Siktemålet er å gjøre dette til et virkelig internasjonalt forum hvor spesialister diskuterer forskningsfronten innen mørk materie og mørk energi. Møtene har hittil funnet sted på fem kontinenter: Afrika (to ganger), Amerika, Asia, Australia og Europa. Norge var den første nordiske arrangøren noensinne.

Vi lyktes med å bringe velkjente spesialister hit, i tillegg til å engasjere flere av fremtidens forskere innen disse emnene. Deltakerne vil utvilsomt huske opplevelsen i Bergen, om ikke for annet enn for 67,3 mm regn i denne ene uken. Under konferansens ekskursjon, en 4-timers båttur gjennom Osterfjorden, var vi så heldige å få oppleve leken til et dusin grindhvaler i Byfjorden.

Ett av høydepunktene var den populærvitenskapelige forelesningen til professor Katherine Freese (Michigan University, og tidligere Nordita-direktør). Hun lyktes i å forklare de fundamentale begrepene innen mørk materie og utfordringene for modellbyggere til en imponerende forsamling, et nesten fullpakket "Egget" auditorium ved Studentsenteret.

Alt i alt var konferansen en stor opplevelse. Vår forståelse av mørk materie er fortsatt dunkel, men nye og forfriskende ideer gjør sine inntog. Det var bred enighet om at fremtidens eksperimenter må bevege seg bortenfor dagens strategier. For eksempel er ikke LHC-eksperimentene ved CERN veleg-



DSU-deltakere fikk oppleve Bergensk sommer.



Katherine Freese holdt en engasjerende populærforedlesning.

nede for å studere egenskapene til mørk materie med svake vekselvirkninger, gitt at dette ikke er deres fremste hensikt. Følgelig bør nye eksperimenter med en ny generasjon detektorer planlegges.

Vi vil fortsette å se framover etter nye utviklinger, og ny innsikt i vår søken etter forståelse av mørk materie.

*Liliana Velasco-Sevilla
IFT, Universitetet i Bergen*

∞

Fra fysikkens historie

Nok en viktig faktor 2

Inspirert av artikkelen til Kristian Fossheim om "Ein viktig faktor 2" i FFV Nr. 2/2016, presenterer jeg her en tilsvarende "relativistisk historie".

Den første kjente beregningen av lysavbøyning i et gravitasjonsfelt ble utført av den tyske astronomen Soldner i 1801, og ble publisert i 1804.⁽¹⁾ Han viste at banen til en materiell partikkel med lyshastighet som passerer sola, blir avbøyd 0,9 bue sekunder.

I 1907 hadde Einstein vist at det er en konsekvens av ekvivalensprinsippet at lys avbøyes i et tyngdefelt.⁽²⁾ I 1911 var Einstein i Praha. Han skrev der en artikkel med et vakkert resonnement som

munnet ut i prediksjonen om at tiden går langsommere langt nede i et tyngdefelt enn høyere oppe.⁽³⁾ I samme artikkel anvendte han dette resultatet på en lysbølge som passerer sola. Einstein hadde vist at alt går saktere langt nede i et tyngdefelt, også lyset.

Når en elektromagnetisk bølge passerer sola, vil en del av bølgefronten peke i radiell retning. Da vil den delen av fronten som er nærmest sola bevege seg saktere enn den delen som er lengre borte. Dette forårsaker at lysets bane avbøyes i radiell retning. Einstein beregnet avbøyningen og fant at den skulle bli like stor som for en partikkel med lysfart ifølge Soldners newtonske beregning.

Men i motsetning til Soldner, hadde Einstein beregnet avbøyningen av banen til lys som elektromagnetiske bølger og ikke til materielle partikler med lyshastighet. Einstein presenterte hermed et nytt resultat. Årsaken til avbøyningen ble også forklart på en helt annen måte enn i den newtonske gravitasjonsteorien. Den sier at avbøyningen skyldes gravitasjonskraften, mens Einstein forklarer lysavbøyningen ved at tiden går langsommere langt nede i et tyngdefelt enn høyere oppe.

Einstein var full av begeistring over dette resultatet, og han skjønte at det kunne testes ved å observere posisjoner til stjerner under en solformørkelse. I 1913 fikk Einstein vite at det skulle komme en solformørkelse i 1914 på Krimhalvøya. Han kontaktet en astronom, Erwin Freundlich, og anmodet ham om å reise til Krim og gjøre de nødvendige målingene. Med støtte fra Einstein ble en ekspedisjon utrustet og sendt til Krim.

Men i august 1914 brøt den første verdenskrigen ut, og dermed var Tyskland og Russland i krig. Freundlich ble tatt for å være tysk spion og fengslet, og utstyret ble konfiskert, så det ble ikke noe av den målingen.

Den 25. november 1915 presenterte Einstein gravitasjonslikningene i den generelle relativitetsteorien for Det Prøyssiske Vitenskapsakademi. Så beregnet han avbøyningen av lys som passerte sola ut fra den fulle teorien, og avbøyningen ble dobbelt så stor som den ble målt til i 1911. Det viste seg at det også skulle ha vært tatt med et bidrag fra rommets krumning i beregningene, som ikke var regnet med i 1911, og dette bidraget var like stort som det fra tidsforsinkelsen.⁽³⁾

Einsteins relativistiske forutsigelse var da at banen til lys som passerer sola avbøyes med 1,8 bue sekunder. Dette ble testet av britene ved solformørkelser i Sobral i Brasil og i Principeøya uten-

for Afrika. Målingene var i favør av Einsteins teori.

Dermed hadde tingene skjedd i riktig rekkefølge. Einsteins 1,8 buesekunder-resultat kom ikke som en korreksjon av hans tidligere 0,9 buesekunder-resultat fordi målinger i 1914 viste 1,8 buesekunder. Dette kunne ha skjedd, men ble altså forhindret av utbruddet av første verdenskrig. Først kom Einsteins forutsigelse, så kom observasjonene som bekreftet forutsigelsen.

Referanser

1. J. Soldner: *Ueber die Ablenkung eines Lichtstrals von seiner geradlinigen Bewegung*. Berliner Astronomisches Jahrbuch 1804, 161-172 (1804).
Engelsk oversettelse finnes på Internett:
<http://en.wikisource.org/?curid=755966>
2. J.D. Norton: *Einstein's Pathway to General Relativity*. Internett: http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/general_relativity-pathway/
3. Ø. Grøn: *Den generelle relativitetsteorien 100 år. Del 1: Tid, rom, gravitasjon og lys*. FFV. 77, Nr. 3, 67-73 (2015)

Øyvind Grøn

∞

Bokomtaler

Aashild Sørheim: *Besatt av en drøm, historien om Rolf Widerøe*. Historie og kultur 2015, ISBN 9788283230000 (730 sider), 398 kr.

Rolf Widerøe frem fra glemselen

Bokens forfatter er forskningsjournalist med lang erfaring. Hun har vært redaktør av Illustrert vitenskap, Informasjonssjef i Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) og mangeårig journalist i Aftenposten. Boken er et resultat av 10-12 års grundig "research".

Ideen til boken fikk Sørheim av professor Tor Brustad, og boken er tilegnet han. Som vitenskapelig assistent på Radiumhospitalet fikk Brustad tidlig kontakt med Widerøe. Brustad var hentet inn som nyutdannet strålingsfysiker fra UiO, for å delta

i oppbyggingen av et avansert stråleterapimiljø ved Radiumhospitalet. Brustad fant fort ut at det festet noe ved Widerøe, og han var ikke vel ansett i Blindern-miljøet. Det var kjent at han hadde oppholdt seg i Tyskland under krigen og at han derfor ble fengslet etter krigen.

Midt på 90-tallet tok Brustad initiativ til nærmere å finne ut av hva som lå bak uviljen mot Widerøe og oppsøkte Riksarkivet. Han fikk med Widerøefamiliens tillatelse innsyn i Rolf Widerøes "mappe" fra rettsforføyningene i 1945-46. Widerøe hadde ikke vært nazist og ikke utført arbeid av krigsviktig betydning for Tyskland. Han skulle aldri vært fengslet. Men, Widerøe hadde utvilsomt fordeler av å arbeide i Tyskland under krigen og man kan nok til en viss grad forstå uviljen mot han. Det kan synes som om Rolf Widerøe var blitt offer for sin iver og ikke sin politiske overbevisning.

Ut over hovedpersonen er det tre andre personer som er sentrale i boken. De har alle til felles å være fysikere. Den ene, Pedro Waloschek, har skrevet bok om Widerøe. Waloschek hadde vært informasjonsansvarlig ved DESY hvor Widerøe hadde deltatt i planleggingen av elektronsynkrotronen. Waloschek hadde også i mange år vært korrespondent for nyhetsbladet "CERN Courier". Som pensjonist oppsøkte han Widerøe, og gjennom samtaler og Widerøes egne notater ble boken til. Den regnes som Widerøes autoriserte selvbiografi. Den er oversatt til flere språk, men ikke til norsk.⁽¹⁾

Den andre, Tor Brustad, forsøkte å renavaske Widerøe. Resultatet av sin undersøkelser la han fram på *The First Scandinavian Symposium on Radiation Oncology* i Rosendal i mai 1997, og i en artikkel i *Acta Oncologica*, 1998.⁽²⁾ Brustads oppfatning er at den sakkyndige komité som vurderte Widerøes gjøren og laden under krigen bidro til å sverte hans omdømme. Den belærte f.eks. påtalemyndighetene med at Widerøes arbeid hittil ikke hadde inneholdt noe originalt som var verdt å nevne, og det var heller ingen grunn til å tro at hans fremtidige arbeid med betatronen ville krones med hell, for som fysiker var han en outsider, med minimal forståelse av teoretisk fysikk, og dessuten med begrenset evne som leder. Så feil kan man ta. Ertetiden har vist at Widerøe utvilsomt hørte til fysikkens "eliteserie", ikke minst hans engasjement ved CERN.

Den tredje, Søren M. Bentzen, professor i Biostatistics and Bioinformatics ved University of Maryland, har forsøkt å forstå Widerøe. Bentzen er i utgangspunktet medisinsk fysiker og en av ver-

dens fremste når det gjelder klinisk radiobiologi. Han mottok Widerøe-prisen i 2006. Prisen tildeles en vitenskapsmann som har hatt stor betydning for utvikling av strålebehandling ved kreft, til minne om Rolf Widerøe. I takketalen⁽³⁾ og i intervju med forfatteren av boken, gjør han seg visse tanker om hvilke etiske dilemmaer medisinske forskere generelt, Widerøe spesielt, måtte stå ovenfor. Bentzen er for øvrig av den oppfatning at Widerøe burde hatt Nobelprisen i fysikk sammen med Lawrence.

Boken inneholder også en del intervjuer og samtaler med Widerøes familie. Det gir et godt bilde av personen Rolf Widerøe.

Det kan være av interesse for FFVs lesere å vite at Rolf Widerøe var sentral ved den første utgivelse av bladet. Fysikkforeningen ved UiO ble etablert 25. november 1938. Da sponsorene uteble i starten fikk Widerøe sin arbeidsgiver, National Industri, til å betale 5000 kr til foreningen, og han skaffet også noen hundre kroner til utgivelsen av det aller første nummeret av FFV våren 1939. Widerøe abonnerte på tidsskriftet så lenge han levde.

Jeg synes boken gir et utfyllende bilde av Rolf Widerøe og samtiden. De fleste som er interessert i fysikkens historie vil ha glede av å lese boken.

En kortversjon om Widerøes liv og levnet er å finne i forrige nummer av FFV.⁽⁴⁾

Referanser

1. Pedro Waloschek: *Rolf Widerøe 1902–1996. A pioneer of Particle Accelerators and Radiation Therapy*. ISBN 9783837005578
2. T. Brustad: *Rolf Widerøe: Why is the Originator of the Science of Particle Accelerators so Neglected, Particularly in his Home Country?* *Acta Oncologica* **37**, 603–614 (1998)
3. Søren M. Bentzen: *The Widerøe Lecture*. <http://webtv.oncolex.no/Mediasite/Play/db1fd2d5881c4c0fba7cb23209d8bbd51d?catalog=9b1581f8-4b6c-411b-9b3a-0afb444f45e3>
4. Jan Folkvard Evensen: *Rolf Widerøe: "Ringenes herre"*. *Fra Fysikkens Verden* **78**, Nr. 2, 54–58 (2016)

Jan Folkvard Evensen
Kreftklinikken, Radiumhospitalet

Ivar Olovsson: "Water – Snow, ice and other wonders of water; a tribute to the hydrogen bond." World Scientific, 2016; pris 38 \$ (hos Amazon.com).

Boka er på berre 116 sider, og ho er todelt. Dei første 50 sidene er lettles, popularisert stoff om vatn, snø og is, og resten er tre særtrykk av vitenskapelig art om den typen kjemiske bindingar som blir kalla hydrogenbinding, som er med på å gi vatnet spesielle eigenskapar.

Eit grovt overslag gir at det er $1,4 \cdot 10^{18}$ tonn vatn på jorda. Vatn er som kjent heilt avgjerande for eksistens av liv, og det er eit materiale med spesielle og eineståande eigenskapar. Vatn er stabilt og lite reaktivt, og er eit godt løysmiddel for mange uorganiske og organiske stoff fordi det har polare molekyl; det er flytande over eit betydeleg temperaturområde; nær smeltepunktet er is lettare enn flytande vatn, og vil flyte.

Olovssons lille bok legg ikkje mykje vekt på å beskrive desse sidene ved vatn. Hans hovudmål er helst å fortelje om snøen og isen, og boka gir ein historisk–anekdotisk gjennomgang av korleis snøfnugg og snøkrystallar er blitt forsøkt avbilda gjennom tidene. For eksempel er den først kjente illustrasjonen av snøkrystallar gjort av svensken Olaus Magnus i 1555, utført ved Vatikanet i Roma.



Figur 1. Is på vatn i eit kar (Illustrasjon i boka).

Dei teikningane liknar ikkje mykje på snøkrystallar, og Olovsson fastslår lakonisk at Olaus Magnus må heilt ha glømt korleis svenske snøfnugg ser ut og berre teikna dei etter fantasien. Omtalen av snøfnugg er elles den aller mest interessante delen av boka, mellom anna med ein rik kolleksjon av bilde av snøkrystallar, både teikningar gjorde av forskarar gjennom tidene etter 1555, og fotografi frå nyare dato.

Olavsson bruker betydeleg plass til å beskrive overflater av is og snø. Figur 1 viser is som er danna på ei avgrensa flate. Slike isflater er sjeldan plane, men består oftast av samanfrosne flak, som boka gir ei forklaring på.

Boka drøftar også spørsmål knytte til gli av skøyter på is og ski på snø.

Ein kjenner til at det finst i alle fall 17 ulike krystallinske modifikasjonar av is, avhengig av temperatur og trykk, noko som illustrerer kor komplekst dette enkle molekylet (H_2O) av berre eitt oksygenatom og to hydrogenatom kan oppføre seg. Jamvel flytande vatn sin molekylære struktur er framleis ikkje heilt avklara, og mange teoretiske modellar er foreslått i løpet av åra.

Men eitt er det semje om: Hydrogenbindingar spelar ei avgjerande rolle for eigenskapar og struktur. Hydrogenbinding er ein vekselverknad mellom oksygenatoma i vassmolekyl via mellomliggande hydrogenatom, gjerne illustrert som $\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}$. Slike bindingar eksisterer også i andre sambindingar, som mellom organiske molekyl og vatn, og spelar ei avgjerande rolle i biologiske materiale.

Dei tre avsluttande vitskaplege særtrykka i boka gjeld slike materiale, to skrivne av Olovsson sjølv, og den tredje, som er om hydrogenbindingar i fast materiale, av Thomas Steiner, Freie Universiät, Berlin.

Medan den vitskaplege delen høver best for folk med bra materialfysisk bakgrunn, er første delen mest interessant, og er skriven i ein stil og med

eit innhald som er godt tilgjengeleg for ein breiare lesekrets.

Ivar Olovsson er professor emeritus ved Ångströmlaboratoriet ved Universitetet i Uppsala.

Emil J. Samuelsen

∞

Trim i FFV

FFVT 3/16

Kvadratisk netting

I et meget stort stykke netting med kvadratiske ruter har hver enkelt av de fire trådstykkene rundt et hull en elektrisk motstand 1 ohm, isolert sett.

- Hva er motstanden mellom to naboknutepunkter i nettingen?
- Hvis nettingen får et brudd i den direkte forbindelsen mellom to naboknutepunkter, hva er da motstanden mellom disse to knutepunktene?
- Vis at i den intakte nettingen er motstanden mellom to diagonalt beliggende knutepunkter i en rute mindre enn $3/4$ ohm.

∞

**Husk å melde
adresseforandring
til sekretæren
i NFS!**

Nye Doktorer

Lars Andreas Dal



MSc Lars Andreas Dal forsvarte sin avhandling *Cosmic Ray Antideuteron from Particle Dark Matter* for PhD-graden ved UiO, 6. nov. 2015.

Studier av stjerners bevegelser i spiralgalakser, og galaksers bevegelser i galaksehoper, har avslørt at det må finnes mer stoff i disse systemene enn vi kan gjøre rede for. Denne såkalte mørke materien utgjør ett av de største mysteriene innen moderne fysikk. Man har fastslått at den mørke materien ikke kan bestå av vanlige atomer og antar at den skyldes en ukjent elementærpartikkel.

Dal studerte kosmisk stråling i form av anti-døytroner som kan produseres når mørk materiepartikler i vår galakse henfaller eller annihilerer med hverandre. Antidøytronet er den lettest mulige sammensatte atomkjernen av antimaterie, og produseres ekstremt sjeldent i andre naturlige prosesser. Ulike modeller for mørk materie gir forskjellige forutsigelser for strømmen av antidøytroner til jorda, og en observasjon av antidøytroner i kosmisk stråling vil kunne gi gode ledetråder til hva den mørke materien består av.

Avhandlingen fokuserer på produksjonen av antidøytronene, og undersøker usikkerheten i modellene som benyttes. Dal har utviklet en ny modell for antidøytronproduksjon basert på eksperimentelle data som er bedre fysisk motivert enn den nåværende koalisjonsmodellen. Simuleringer med den nye modellen er i bedre overensstemmelse med målinger av antidøytroner ved LHC på CERN.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO. Veiledere har vært professorene Are Raklev og David F. Mota ved inst. for teoretisk astrofysikk.

∞

Anders Kvellestad



Master i fysikk Anders Kvellestad forsvarte sin avhandling *Chasing SUSY Through Parameter Space* for PhD-graden ved UiO 28. oktober 2015.

Basert på vår beste forståelse av mikrokosmos, den såkalte Standardmodellen, skulle ikke oppdagelsen av Higgsbosonet ved CERNs LHC sommeren 2012 vært mulig. Uten helt usannsynlige finjusteringer forutsier nemlig Standardmodellen at Higgsbosonet burde være altfor tungt.

Dette er ett av mange mysterier som kan forklares med supersymmetri. Denne teorien postulerer at alle elementærpartikler i Standardmodellen har supersymmetriske partnere. Ulike supersymmetriske teorier gir veldig forskjellige prediksjoner for hvordan disse partiklene kan oppdages. Jakten på supersymmetri avhenger derfor av at vi får så mye informasjon som mulig ut av eksperimentene.

Kvellestad har studert hvordan statistisk analyse av eksisterende data fra LHC og andre eksperimenter kan brukes til å si noe om hvilke modeller som fortsatt er levedyktige, og hva som er de mest sannsynlige konsekvensene av disse teoriene. Som stipendiat har han vært en av grunnleggerne av en internasjonal gruppe med navn GAMBIT (*Global and Modular Bsm Inference Tool*), som jobber med å produsere programvarer for statistiske slutninger basert på åpen kildekode.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO. Veiledere har vært professorene Are Raklev og Alexander L. Read. Kvellestad er nå ansatt som postdoktor ved Nordisk institutt for teoretisk fysikk (NORDITA) i Stockholm.

∞

Camilla Hanquist Stokkevåg



M.Sc. Camilla Hanquist Stokkevåg forsvarte 2. september sin avhandling *Model-based predictions of secondary cancer and late effect risks following particle therapy* for phd-graden ved UiB.

Ved behandling av barn med kreft vil protonterapi gi en lavere risiko for uønskede effekter i friske organer enn med de strålebehandlingsteknikkene som brukes i Norge i dag. Avhandlingen viser en tydelig nedgang i forventede seneffekter for barn med kreft i sentralnervesystemet, mens fordelene for voksne med prostatakreft er mindre fremtredende. Pasienter som har fått strålebehandling har en økt risiko for kreft senere i livet, som er avhengig av hvilken type behandling de har fått.

I avhandlingen tas flere modeller i bruk for å sammenligne ulike strålebehandlinger med fokus på partikkelterapi, som proton- og karbon-terapi. Resultatene viser at tradisjonell stråling medfører 4-8 ganger høyere risiko for ny kreftsykdom eller hjertekomplikasjon for barn med kreft i sentralnervesystemet enn med protonterapi.

Risikoestimat av seneffekter etter karbonterapi er forbundet med større usikkerhet, men er for prostatapasienter forventet å innebære sammenlignbar risiko for en ny behandlingsrelatert kreft i forhold til tradisjonell behandling.

Arbeidet er utført i samarbeid med Aarhus universitetshospital i Danmark, og partikkelterapi-senteret NIRS i Japan. Det har vært finansiert av Helse Vest og Inst. for fysikk og teknologi, UiB. Professor Ludvig Muren, Aarhus Universitet, og forsker Kristian Ytre-Hauge, IFT, UiB, har vært veiledere. Stokkevåg fortsetter som forsker ved Haukeland Universitetssjukehus innen partikkelterapi for barn.

Erlend Grytli Tveten



MSc Erlend Grytli Tveten forsvarte 29. april avhandlingen *Manipulating Spins in Antiferromagnets with External Forces* for PhD-graden ved NTNU.

Forflytning av elektronenes ladning er grunnlaget for elektrisitet og spiller derfor en ekstremt viktig rolle i moderne teknologi. Men elektroner har også en annen grunnleggende egenskap som kalles spinn. Et elektronspinn visualiseres ofte som en mikroskopisk kule som roterer rundt sin egen akse, kalt spinnaksen. Ved å utnytte elektronenes spinnegenskaper kan informasjon sendes raskere og mer effektivt på nanonivå.

Erlend Grytli Tveten har studert en type magnetiske materialer som kalles *antiferromagneter*, hvor naboelektroner innretter sine spinn i motsatte retninger. Spinnene vil på denne måten utligne hverandre, og antiferromagneter har derfor ingen makroskopisk magnetisering. De er likevel interessante materialer, bl.a. for elektronikk, fordi de har en høy grad av mikroskopisk orden som kan manipuleres og brukes som informasjons- og signalbærer i datakomponenter på nanometerskala.

Grytli Tveten har beskrevet hvordan man kan påvirke spinnordenen i antiferromagneter v.h.j.a. ladningsstrømmer, magnetiske felt, spinnbølger og temperaturforskjeller. Han har vist at spinnbølger kan brukes til å flytte antiferromagnetiske domenevegger med høy hastighet. Denne effekten er til stede i isolerende antiferromagneter. Det åpner for å ta i bruk en mengde nye materialer til datakomponenter som er mer energieffektive enn tradisjonelle komponenter som baserer seg på ladningstransport.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Arne Brataas som veileder.

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

B



NORGE P.P. PORTO BETALT

Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1400.

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

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

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

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

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i en spaltebredde på 8,6 cm. De bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artikkelen. De må være teknisk gode og lette å forstå.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor 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
Professor Olav Gaute Hellestø
Institutt for fysikk og teknologi, UiT
Professor Jan Petter Hansen
Inst. 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, Lillestrøm
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

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn
Høgskolen i Oslo og Akershus, og
Fysisk institutt, UiO
e-post: oyvind.gron@hioa.no
Professor Emil J. Samuelsen
Inst. for fysikk, NTNU
e-post: emil.samuelsen@ntnu.no

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

Redaksjonskomité:

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

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68
Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

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