

Fra Fysikkens Verden

NR. 2 – 2018
80. ÅRGANG

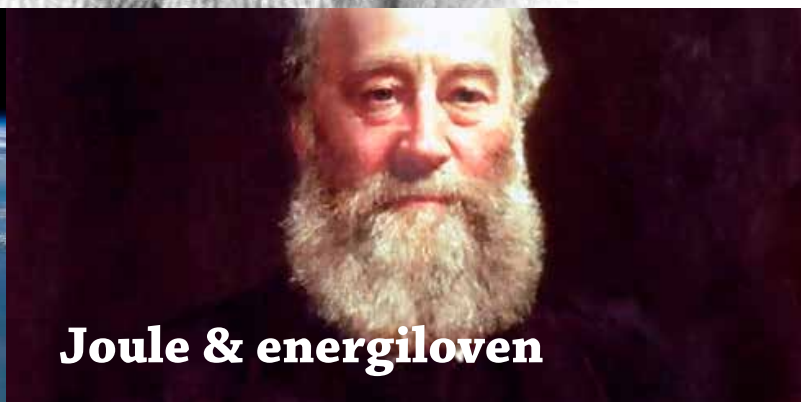
UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



**100 år med
Noethers
teorem**



Jordiske gammaglimt



Joule & energiloven

Les også om:

- Flytende metalledninger
- Stephen Hawking

- Supertrevirke
- Superjordkloder

Nr. 2 – 2018

80. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn
OsloMet – storbyuniversitetet
og Fysisk institutt, UiO
E-post: oyvindg@oslomet.no

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

Redaksjonssekretær:

Maria Hammerstrøm
Realfagsbiblioteket, UiO
E-post: maria.hammerstrom@astro.uio.no

Redaksjonskomité:

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

Layout og sats:

Maria Hammerstrøm

Trykkeri:

Oslo Sats, repro og montasje A/S

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo
Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68
Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71
Internettadresse: www.norskfysisk.no

Abonnere:

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 ganger årlig.
Abonnement tegnes på postadressen ovenfor
eller på følgende e-postadresse:

E-post: nfs.styret@gmail.com

Årsabonnement: 200 kr. (studenter 100 kr.)
Bankgiro: 7878.06.03258

Retningslinjer for bidragsyttere

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

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

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

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

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

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

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

Korrektur: Forfatterne får tilsendt korrektur når layout er satt opp som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturene.

Innhold

Frå redaktørane <i>Emil J. Samuelsen</i>	32
Kunngjøringer fra styret i Norsk Fysisk Selskap	32
Ny sekretær i NFS	32
NFS har fått nye nettsider	32

Fysikknytt

Norsk rominstrument skal løse mysteriet med jordiske gammaglimt <i>Arve Aksnes</i>	33
Romfart på en superjord <i>Øyvind G. Grøn</i>	36
Trevirke med stålliknande styrke <i>Emil J. Samuelsen</i>	38
Flytende metalledninger for bøyelig elektronikk <i>Lars Egil Helseth</i>	40

Artikler

100 år med Noethers teorem <i>Jon Magne Leinaas</i>	42
Bokmelding: Jeremi Wasiutyński: <i>Copernicus – skaperen av en ny himmel</i> <i>Øystein Elgarøy</i>	46
James Joule – ølbryggeren som etablerte energiloven <i>Eivind Hiis Hauge</i>	47

In memoriam

Stephen Hawking <i>Øystein Elgarøy</i>	49
----------------------------------------	----

Gratulerer

Kaare Aksnes <i>Oddbjørn Engvold</i>	50
Thormod Henriksen <i>Eli Olaug Hole og Einar Sagstuen</i>	50

Skrivekonkurranse i FFV

I FFV 2018/1 førehandsannonserte vi skrivekonkurranse for å auke tilgangen på stoff til bladet, under føresetnad at styret for NFS kunne stø prosjektet økonomisk. I møte 23. mai vedtok styret å stø søknaden med 10 000 kr for 2018.

Konkurransen vil gjelde for manuskript innkomne mellom februar og november i år, med standard artikkellengde på 4–6 sider i bladet og etter retningslinjene for manus (før innholdslista i bladet). Det blir lagt opp til tre premiekategoriar, med muligheit for delt premiering.

Praksis for innsending er som før per e-post til redaksjonssekretæren, med gjenpartar til redaktørane. Innkomne manuskript blir vurdert av ein jury av dei tre i redaksjonen og ein frå redaksjonskomiten, og resultatliste blir kunngjort i FFV 2018/4 eller 2019/1.

Der er mange betydelege fysikkjubileum i 2018. I førre nummer blei 250 år for Joseph Fourier markert, og no kjem eit 200-årsjubileum og eit 100-årsjubileum. E. H. Hauge skriv om James Joule og formuleringa av energibevaring som fysisk lov. J. M. Leinaas gjer greie for det som blir kalla «Noethers teorem» etter Emmy Noether og arbeidet hennar frå 1918. Teoremet gjeld samanhengen som ho påviste mellom symmetri og visse fysiske bevaringslover.

Meldinga i mars at den verdskjente fysikaren Stephan Hawking var gått bort, blei mottatt med sorg i fysikkmiljø, men også elles over heile verda, og hans liv og virke blei grundig omtalt i dagspresse, blad og telemedia. Også FFV markerer Hawkings bortgang med ein omtale, skriven av Ø. Elgarøy.

Eit særleg interessant innslag, skriven av A. Aksnes fra UiB, er om eit Bergen-utvikla instrument som er sendt med Den internasjonale romstasjonen i bane rundt jorda for å studere såkalla jordiske gammaglimt. Frå UiB kjem også ein artikkel ved L. E. Helseth, om leidningar av flytande metall for å gjere elektronikk fleksibel.

I tråd med vanleg praksis har FFV rundårstale av to veteranar.

Dei to redaktørane sine bidrag denne gongen er om superjord og super-trevirke. Kva som er «supert» kan variere noko med konteksten.



Øyvind G. Grøn



◀ Emil J. Samuelsen

Kunngjøringer fra styret i Norsk Fysisk Selskap

- **Det lille fysikermøtet** ble arrangert ved Universitetet i Agder 4.–5. juni 2018.
- **Landroprisen for beste masteroppgave:** Frist for nominasjon av kandidater er 30. september 2018. Forslag sendes til nfs.styret@gmail.com.
- **Birkelandprisen** blir utdelt i september 2018. Ansvarlig er Jan Holtet (UiO).
- **Elektrooptikkprisen:** Nye ansvarlige er Astrid Aksnes (NTNU) og Espen Lippert (FFI).



Ny sekretær i NFS

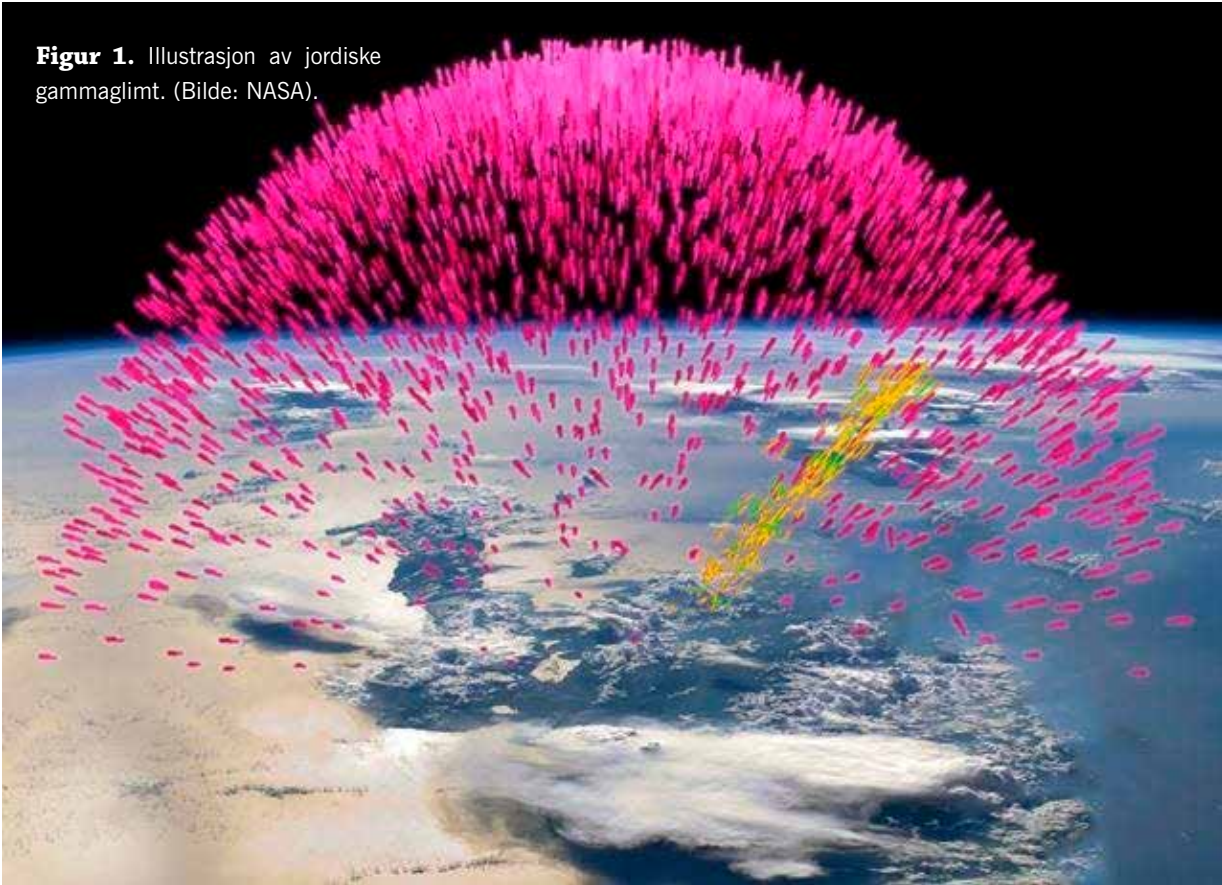
Haakon Thømt Simensen er ny sekretær i Norsk Fysisk Selskap (NFS). Han kommer opprinnelig fra Langhus på Østlandet, men flyttet til Trondheim for å studere siv.ing. ved studieretningen for Fysikk og matematikk sommeren 2013. Simensen fullførte mastergraden på fire år, og skrev masteroppgave under professor Jacob Linder. I masteroppgaven gjorde Simensen numerikk på superdatamaskinen «Vilje» for å finne de superledende bølgefunksjonene i spinn-bane-koblede strukturer bestående av superledere, ferromagneter og normalmetaller, og har i etterkant publisert disse resultatene. Nå er han

PhD-stipendiat under professor Arne Brataas på NTNU, og jobber for tiden med magnetoelastisk kobling i antiferromagneter. Simensen har vært sekretær i NFS siden mars 2018.

NFS har fått nye nettsider

NFS sine nettsider har flyttet til ny adresse og fått nytt utseende. Du finner de nye nettsidene på www.norskfysisk.no. De gamle nettsidene vil fortsatt eksistere på www.norskfysikk.no/nfs. De nye nettsidene er utarbeidet av Maria Hammerstrøm som er redaksjonssekretær i FFV.

Figur 1. Illustrasjon av jordiske gammaglimt. (Bilde: NASA).



Norsk rominstrument skal løse mysteriet med jordiske gammaglimt

Nå svever et måleinstrument utviklet ved Birkelandsenteret for romforskning i bane rundt jorden. De neste årene vil vi lære mer om et nytt naturfenomen kjent som jordiske gammaglimt.

Arve Aksnes Birkelandsenteret for romforskning, UiB

«10 – 9 – 8 – ...». Fra høytaleranlegget på Cape Canaveral i Florida, USA er nedtellingen i gang. Det er 2. april 2018, og en av SpaceX sine raketter, Falcon 9, står klar til oppskytning. Med seg har den forskningsutstyr som skal plasseres på Den internasjonale romstasjonen (ISS). Dette inkluderer instrumentpakken ASIM (Atmosphere-Space Interactions Monitor), som blant annet inneholder et røntgen- og gammainstrument som Birkelandsenteret for romforskning (BCSS) ved Universitetet i Bergen (UiB) har spilt en hovedrolle i å utvikle.

Planen er at ASIM fra 400 km høyde over bakken de neste to årene skal gjøre observasjoner av jordiske gammaglimt og andre lysfenomener som oppstår i forbindelse med tordenvær. Dette

er naturfenomener som vi kun har kjent til i noen få tiår, og som vi ennå vet lite om.

Observasjoner av ukjente naturfenomener

For å forklare hvordan ASIM-prosjektet ble en realitet, må vi gå litt tilbake i tid. Nærmere bestemt til 1980-tallet, da man for første gang fikk dokumentert noen uvanlige lysfenomener i den høyere atmosfæren. Det var snakk om lys som beveget seg oppover mot himmelen, og dette gjorde at man begynte å snakke om «omvendte lyn».

Disse lysene hadde egentlig vært kjent blant flygere mange tiår tidligere, men det sies at pilotene holdt observasjonene hemmelige i frykt for å bli satt på bakken (fordi de skulle ha sett noe som ikke eksisterer). Men takket være de fremskritt som hadde blitt gjort innen videokamerateknologien, kunne man på 1980-tallet ta nok bilder per sekund til å dokumentere de uvanlige lysene. Etter hvert tok de ulike lysfenomenene mytiske navn som røde ånder, blå jetter og alver (figur 2).

Noen år senere skulle så jordiske gammaglimt, kjent som TGF (Terrestrial Gamma-ray Flash),

gjøre seg gjeldende (figur 1). Dette skjedde i forbindelse med studier av gammastråling fra verdensrommet. På 1990-tallet hadde NASA sendt opp gammastrålingsdetektoren BATSE i bane rundt jorden for å detektere universets mest energirike stråling. Stor var overraskelsen da det viste seg at detektoren noen ganger observerte kortvarige glimt av gammastråler mens den pekte mot jorden. Først trodde man at det dreide seg om instrumentfeil, men etter hvert forstod forskerne at det var snakk om et reelt naturfenomen. Videre erfarte man at slike TGFs typisk oppstod i forbindelse med tordenvær.

Etableringen av ASIM-prosjektet

Torsten Neubert fra Danmarks Tekniske Universitet tok på begynnelsen av 2000-tallet initiativet til å etablere ASIM-prosjektet. Tidlig i prosessen ble norske IDEAS valgt ut som firma til å lage komponenter, og det var derfor ønskelig med en norsk partner i prosjektet. Romfysikkgruppen ved Universitetet i Bergen skulle vise seg som et naturlig valg, hovedsakelig i kraft av sin sterke posisjon internasjonalt når det gjelder kunnskap om og bygging av røntgenkamera. I tillegg hadde bergenserne nettopp ansatt Nikolai Østgaard som professor ved romfysikkgruppen. Østgaard kom til Bergen etter å ha jobbet tre år ved Space

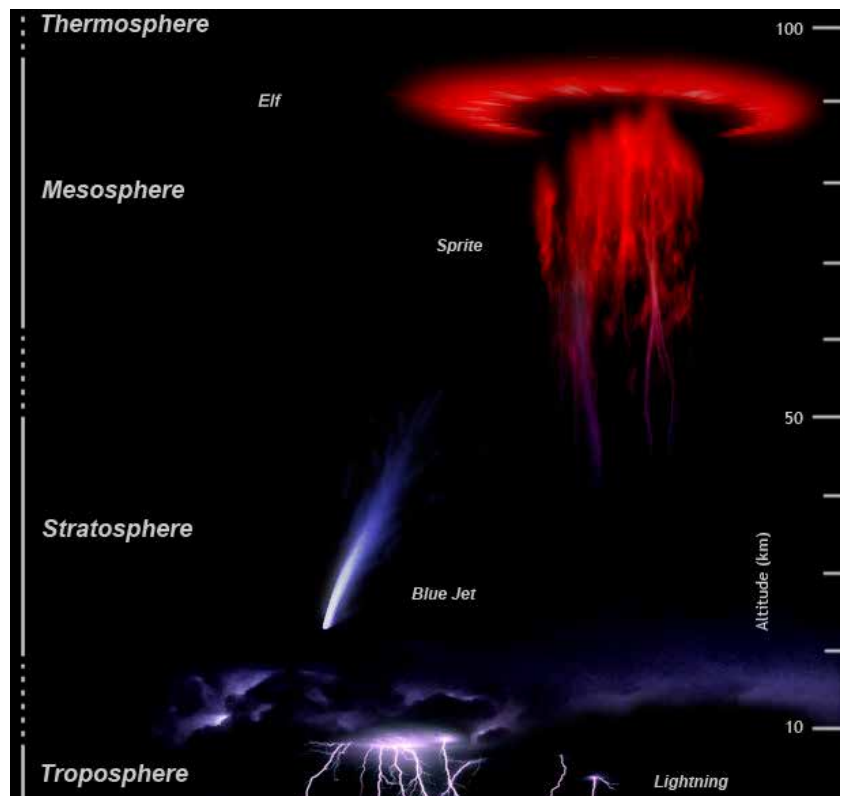
Sciences Laboratory i Berkeley. I USA hadde Østgaard arbeidet under en av verdens fremste romforskere, Stephen Mende, og hans varme anbefalinger til Torsten Neubert ble avgjørende for at romfysikkgruppen i Bergen i 2004 ble en del av ASIM-prosjektet.

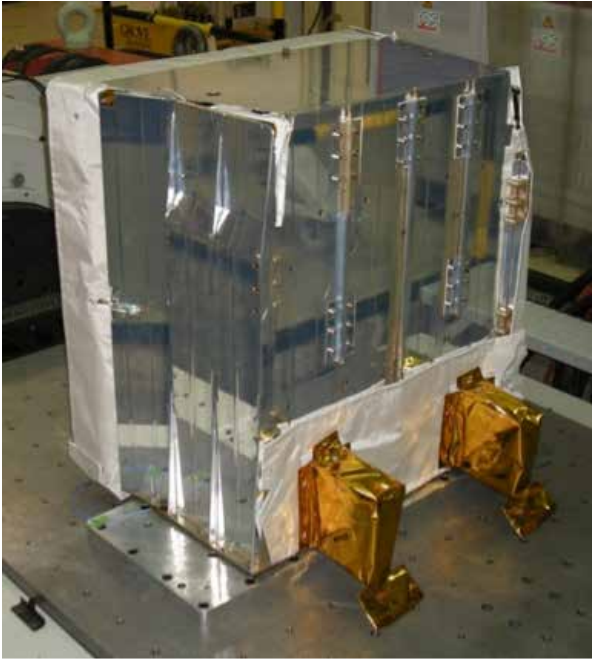
I dag er romfysikkgruppen i Bergen kjent som Birkelandsenteret for romforskning (BCSS), etter at den i 2013 ble ett av Forskningsrådets nye Senter for fremragende forskning (SFF). BCSS omfatter, i tillegg til romfysikkgruppen ved UiB, også grupperinger ved NTNU i Trondheim og UNIS på Svalbard.

ASIM er et prosjekt i Den europeiske romfartsorganisasjonen (ESA) ledet av Danmark. I tillegg til Norge deltar miljøer fra Spania, Polen og Italia. ASIM-prosjektet er det største som noe norsk universitet har gjort for romindustrien. I tillegg til UiB og IDEAS, er også Norsk Romsenter en del av prosjektet, og totalt sett opererer ASIM med en økonomisk ramme på rundt 400 millioner kroner.

Med tanken på de omfattende kostnadene som ligger i bunn og alle årene med hardt arbeid, var det forståelig at den norske delegasjonen som var til stede i Florida, var en smule preget av stundens alvor. Ville oppskytningen gå bra? Eller ville alt slitet bokstavelig talt bli eksplodert bort hvis noe skulle gå galt med raketten?

Figur 2. Illustrasjon av omvendte lyn. Bilde: Wikimedia Commons/ Abestrobi.





Figur 3. MXGS instrumentet. Foto: DTU.

for at vi skal kunne forstå mer om hvilken rolle jordiske gammaglimt og andre lysfenomener spiller for elektrokjemien i atmosfæren, og hvordan fenomenene inngår i det elektriske strømsystemet i atmosfæren. Vi ønsker også å forstå hvordan så høy energi kan oppstå i tordenskyer, og hvordan et lyn egentlig starter.

MXGS (Modular X-ray and Gamma-ray Sensor)

Med ASIM plassert på ISS vil vi ha både optiske kameraer og fotometre med høy nok oppløsning og følsomhet til å avdekke de ukjente lysfenomenene i den høyere atmosfæren. Takket være røntgen- og gammadetektoren MXGS (figur 3), vil vi videre kunne observere og forstå produksjonen av jordiske gammaglimt.

Hoveddelen av MXGS er utviklet og bygget ved BCSS, og instrumentet består av to røntgen- og gammadetektorer. Lavenergidetektoren kjent som LED (Low Energy Detector), vil måle energier i området fra 20 keV til 400 keV, mens høyenergidetektoren HED (High Energy Detector) vil utvide energiområdet til 20 MeV.

Epilog

Etter oppskytningen av ASIM mandag 2. april 2018 (figur 4), har alt foreløpig gått etter planen. Den 4. april nådde Dragon-kapselen med ASIM om bord fram til ISS, og i det de to fartøyene krysset Afrikas kontinent klarte man å feste ISS sin robotarm til Dragon-kapselen. Ifølge ESA sin danske astronaut Andreas Mogensen var det snakk om en «very smooth capture».

Noen timer senere samme dag ble Dragon-kapselen installert på ISS sin Harmony-modul. Der ble den værende i ni dager, før ASIM ble montert på Columbus-modulen til ISS og instrumentene ble slått på for første gang. Alt ser ut til å fungere etter planen, så nå er det bare å vente på at ASIM skal starte arbeidet med å observere jordiske gammaglimt og omvendte lyn. Et forventningsfullt forskningsmiljø står klare til å studere disse naturfenomenene nærmere i årene som kommer. ■

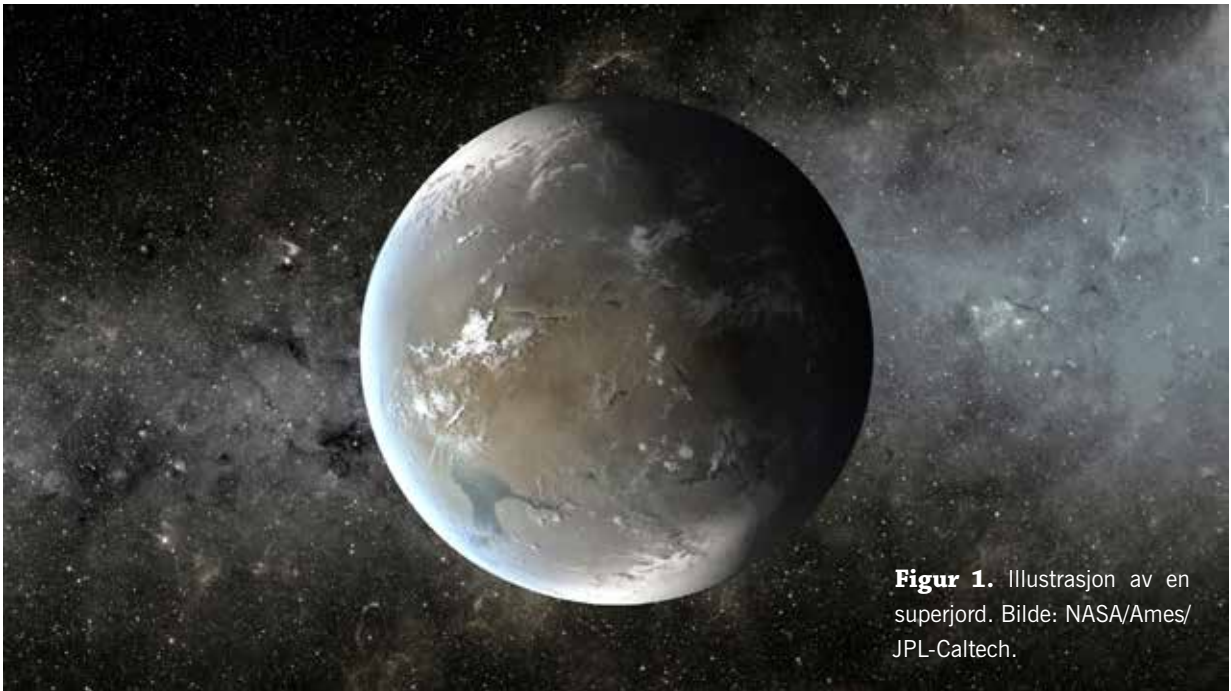
Jordiske gammaglimt

I løpet av de 14 årene som er gått siden romfysikkgruppen ble med i ASIM-prosjektet i 2004, har miljøet i Bergen etablert seg i forskningsfronten når det gjelder å forstå jordiske gammaglimt, kjent som TGFs. I tillegg til observasjoner fra BATSE, har man benyttet seg av målinger fra instrumentene Agile, Fermi og RHESSI. Dette har ført til at man nå vet blant annet at tordenskyene fungerer som enorme partikkelakseleratorer. Når det lynet og tordner oppstår det sterke elektriske felt på flere hundre millioner volt. Slike felter kan akselerere elektroner til hastigheter nær lyshastigheten. Når slike relativistiske elektroner kolliderer med nøytral luft, dannes gamma- og røntgenstråling.

Det man derimot ikke har kunnet avdekke til nå, er hvor ofte og hvordan gammaglimt faktisk oppstår, på grunn av for dårlig tidsoppløsning og følsomhet på instrumentene som er blitt brukt. Dette er problemstillinger som må kunne besvares



Figur 4. Her er Falcon 9 raketten til SpaceX på vei ut i rommet med ASIM instrumentene om bord. Foto: Gunnar Mæhlum.



Figur 1. Illustrasjon av en superjord. Bilde: NASA/Ames/JPL-Caltech.

Romfart på en superjord

En superjord har et mye sterkere gravitasjonsfelt enn jorda. I et preprint publisert 12. april 2018 [1] har den tyske fysikeren Michael Hippke vist at det sterke gravitasjonsfeltet lager problemer for romfart på en slik planet.

Øyvind G. Grøn OsloMet – storbyuniversitetet

Superjord (engelsk: *super earth*) er betegnelsen som fagmiljøet bruker om steinplaneter som er større enn jorda, men mindre enn gassgjempene som Uranus og Neptun. Det betyr at de kan ha opp til godt og vel 10 jordmasser. I denne sammenhengen er det verdt å merke seg at superjordkloder kan være mer egnet for utvikling av høytstående liv enn jorda [2], særlig de som har platetektonikk og rundt to jordmasser. I 2015 ble det presentert en detaljert diskusjon av dette i *Astronomi* [3].

Vi kan også merke oss at slike planeter slett ikke er sjeldne – snarere tvert imot. I et preprint [4] publisert 9. februar 2018 innleder forfatteren sammendraget med: «Super-Earths are the most abundant planets known to date».

Kanskje det kan vekke interesse hos elever som tar fysikk på videregående skole, og kommende lektorer som velger fysikk og matematikk som undervisningsfag, å undersøke forskjellen i betingelsene for romfart på jorda og på en superjord. Som et illustrerende eksempel vil jeg her betrakte romfart på den største kjente superjordkloden, Kepler-20b.

Tsiolkovskys rakettlikning

Den russiske fysikeren Konstantin Tsiolkovsky (1857–1935) la det teoretiske grunnlaget for det sovjetiske rakettprogrammet. I 1903 utledet han en fundamental likning for raketteknologi kalt Tsiolkovskys rakettlikning. Den kan utledes fra prinsippet om bevegelsesmengdens bevarelse.

Vi ser på en ettrinnsrakett med masse m og velger et referansesystem der den er i ro ved et vilkårlig valgt tidspunkt $t = 0$. I løpet av et lite tidsintervall har den skutt ut drivstoff med masse dm og hastighet v_{fuel} og fått en hastighet dv . Bevegelsesmengdens bevarelse gir $m dv = v_{\text{fuel}} dm$, dvs.

$$dv = -v_{\text{fuel}} \frac{dm}{m}, \quad (1)$$

der minusen skyldes at i denne likningen er $dm < 0$ endringen i raketts masse. Hastigheten til drivstoffet i forhold til raketten v_{fuel} er konstant. Raketts begynnelsesmasse er m_0 , sluttmassen er m_s , og dens sluthastighet er

$$v_s = -v_{\text{fuel}} \int_{m_0}^{m_s} \frac{dm}{m} = v_{\text{fuel}} \ln \frac{m_0}{m_s}. \quad (2)$$

Dette er Tsiolkovskis rakettlikning. Den forteller hvor mye drivstoff med en gitt utskytingshastighet som trengs for å få raketten opp i en ønsket hastighet. Forholdet m_0/m_s mellom begynnelsesmassen til raketten med nyttelast og alt drivstoffet og sluttmassen når drivstoffet er brukt opp, kalles *raketts masseforhold*. Ifølge Tsiolkovskys likning avhenger raketts masseforhold bare av forholdet

det mellom den hastighetsendringen drivstoffet gir raketten og hastigheten i forhold til raketten som drivstoffet skytes ut med.

Rakett i en planets gravitasjonsfelt

En entrinnsrakett skal skytes ut fra en planet med masse M , radius R og tetthet ρ . Tyngdeakselerasjonen på planetens overflate er

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{M}{M_{\oplus}} \left(\frac{R_{\oplus}}{R} \right)^2 g_{\oplus}. \quad (3)$$

Her er R_{\oplus} og M_{\oplus} henholdsvis jordas radius og masse, og $g_{\oplus} = 9,8 \text{ m/s}^2$ er tyngdeakselerasjonen på jordas overflate. Ved å bruke at en kule med tetthet ρ og radius R har massen $M = (4\pi/3)\rho R^3$ fås

$$g = \frac{\rho}{\rho_{\oplus}} \frac{R}{R_{\oplus}} g_{\oplus}. \quad (4)$$

Planetens tetthet er

$$\rho = \frac{M}{M_{\oplus}} \left(\frac{R_{\oplus}}{R} \right)^3 \rho_{\oplus}, \quad (5)$$

der $\rho_{\oplus} = 5,51 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ er jordas gjennomsnittlige tetthet. Unnslipningshastigheten er

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{M}{M_{\oplus}} \frac{R_{\oplus}}{R}} v_{\text{esc}\oplus} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\oplus}} \frac{R}{R_{\oplus}}} v_{\text{esc}\oplus}, \quad (6)$$

der $v_{\text{esc}\oplus} = 11,2 \text{ km/s}$ er unnslipningshastigheten fra jordoverflaten. Ved å dividere likning (4) med likning (5) fås

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{\rho_{\oplus} g}{\rho g_{\oplus}}} v_{\text{esc}\oplus}. \quad (7)$$

Dersom en rakett skal unnslippe fra en planet, må $v_s > v_{\text{esc}}$. Ved å sette inn uttrykkene fra likningene (2), (6) og (7) gir denne ulikheten en betingelse for raketts masseforhold som kan skrives på flere måter,

$$\frac{m_0}{m_s} > e^{\frac{v_{\text{esc}}}{v_{\text{fuel}}}} = e^{\frac{v_{\text{esc}\oplus}}{v_{\text{fuel}}} \frac{g}{g_{\oplus}} \sqrt{\frac{\rho_{\oplus}}{\rho}}} = e^{\frac{v_{\text{esc}\oplus}}{v_{\text{fuel}}} \sqrt{\frac{M}{M_{\oplus}} \frac{R_{\oplus}}{R}}}. \quad (8)$$

Romfart på planeten Kepler-20b

La oss som et eksempel se på de største raketene sendt ut fra jorda, Saturn V-rakettene. De ble konstruert for å kunne sende mennesker til Månen. Det var tretrinnsraketter, men vi vil her for enkelthets skyld betrakte tilsvarende ettrinnsraketter. Det gjør at tallene her blir forskjellige fra dem som gjelder for Saturn V-rakettene. Selve raketten uten last og drivstoff hadde en masse på 183 tonn og skjøt ut drivstoffet med $v_{\text{fuel}} \approx 4 \text{ km/s}$, det vil si $v_{\text{esc}\oplus}/v_{\text{fuel}} = 2,8$. Med maksimal mengde av drivstoff og nyttelast var massen $m_0 = 2800 \text{ tonn}$. En Saturn V-rakett kunne frakte en nyttelast på 50 tonn rundt Månen. En fullastet rakett uten drivstoff hadde massen $m_s = 233 \text{ tonn}$. Slik var

tretrinnsraketten Saturn V. Med bare ett trinn ville denne sluttmassen og samme type motorer og drivstoff krevd en begynnelsesmasse på omtrent 3800 tonn ifølge likning (8).

Den største kjente superjordkloden er Kepler-20b som har 9,7 jordmasser og radius lik 1,87 jordradier. Det følger fra likning (5) at dens gjennomsnittlige tetthet er 1,48 ganger større enn jordas tetthet, det vil si $\rho = 8,2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Likning (3) gir da at tyngdeakselerasjonen på overflaten av denne planeten er $g = 27,2 \text{ m/s}^2$, og fra likning (6) fås at unnslipningshastigheten er $v_{\text{esc}} = 25,5 \text{ km/s}$. For at en Saturn V-rakett med samme nyttelast skal unnslippe gravitasjonsfeltet til denne planeten må masseforholdet være større enn $e^{25,5/4} = 587$, og begynnelsesmassen må være over 137 000 tonn.

Konklusjon

Anta en sivilisasjon på Kepler-20b skal gjøre noe tilsvarende som menneskenes måneferder. Likningene ovenfor kan brukes til å undersøke ulike scenarier. La oss for illustrasjonens skyld anta at de frakter 50 tonn nyttelast med en ett-trinns rakett av samme type som Saturn V. Det krever en begynnelsesmasse på 137 000 tonn i forhold til 3800 tonn på jorda. En slik startbetingelse krever også en mye større rakett enn Saturn V, noe som fører til et krav om enda mer drivstoff. I tillegg vil den store tyngdeakselerasjonen legge enda større krav på styrken av materialet nederst i raketten som skal tåle den voldsomme vekten, og ytterligere belastning ved oppskytingen. Det vil også være vanskeligere å oppnå en myk landing ved avslutningen av turen.

Alt dette innebærer at romfart på en superjord er mer krevende enn på jorda. ■

Referanser

1. M. Hippke. «Spaceflight from Super-Earths is difficult». ArXiv: 1804.04727. (2018).
2. R. Heller og J. Armstrong. «Superhabitable Worlds». *Astrobiology* nr. 14, s. 50–66 (2014).
3. Ø.G. Grøn og R.G. Berntsen. «Superbeboelige planeter». *Astronomi* nr. 5, s. 30–35 (2015).
4. H.E. Schlichting. «Formation of Super-Earths». ArXiv: 1802.03090 (2018).

Takk til Robert G. Berntsen for gode innspill som førte til forbedringer av artikkelen.

Figur 2. Illustrasjon av Saturn V-raketten. Bilde: Wikipedia Commons.



Trevirke med stålliknande styrke

Trevirke er ein lett tilgjengeleg og fornyleg ressurs, men har begrensa bereevne og varigheit. Men med tekniske inngrep kan styrke og motstandskraft betrast. Nå blir det rapportert om ein ny behandlingssmåte som kan gjere trevirket så sterkt at det kan konkurrere med stål.

Emil J. Samuelsen NTNU

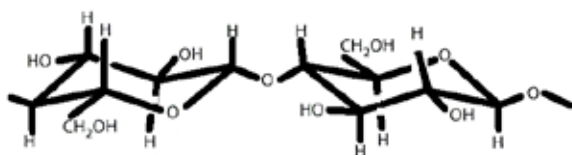
I 2001 innførte NTNU eit obligatorisk samarbeidsprosjekt for studentar, kalla «Eksperter i team». Studentar med ulike fagbakgrunn blei samla i «Landsbyar» som kvar skulle ta for seg og studere sjølvdefinerte emneområde. Eg var «landsbyhøvdning» for fysikk-landsbyen, med studentar frå fysikk, data, matematikk, konstruksjonsteknikk og kjemi, og emnevalet blei Tre som materiale. Det blei ei lærerik erfaring både for høvdning og studentar. Vi hadde nært samarbeid med Norsk treteknisk institutt, som formidla kontakt og ekskursjonar til sagbruk og trebearbeidingsbedrifter, mellom dei limtre-fabrikken ved Moelven Bruk. Men no blir det annonsert [1] at endå sterkare konstruksjonar av tre kan komme i framtida.

Trevirke

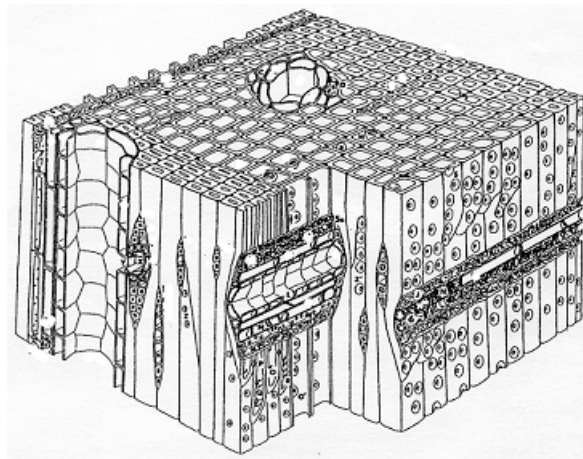
Tre har vore brukt i berande konstruksjonar av menneske frå dei eldste tider. Det er eit natur-råstoff, overkommeleg å felle, handtere og bearbeide. Det er ein del variasjon av material-samansetning mellom dei ulike treslaga, men hovudingrediensane er 40–45 % cellulose, 20–30 % hemicellulose og 23–27 % lignin, pluss litt vatn og andre kjemiske stoff som tjære.

Cellulose er polymer av karbon, oksygen og hydrogen i same mengdeforhold som i sukkerartar. Figur 1 viser ei skisse av ein cellulosekjede, danna av seksringar med samansetning $C_6H_{10}O_5$, som er same som for stivelse.

Hemicellulose har ein struktur som liknar, men kjedene har sidegreiner og er ikkje rette. Lignin har ein sær komplisert struktur som mellom anna inneheld såkalla aromatiske molekylgrupper, som



Figur 1. Ein sekvens av cellulosestreng. Der er karbonatom C i all bindingskryss. [2]



Figur 2. Skisse av ein omlag 10 x 10 x 7 mm bit av tre; vekstretninga er oppover, og bortre høgre side er i retning utover frå sentrum av treet. [2]

er hydrofobe, og som tjener som ein slags indre lim i materialet.

Treet er bygd opp av treceller som består av lange rør i vekstretninga, med rørtverrmål i millimeterområdet, sjå figur 2. Der er gjerne også større kanalar både langs vekstretninga og på tvers, med funksjon for vass- og næringstransport.

Celleveggane er oppbygde på ein komplisert måte [2] av mikrofibrillar, som er omlag ti nanometer tjukke strengar av cellulose, hemicellulose og lignin.

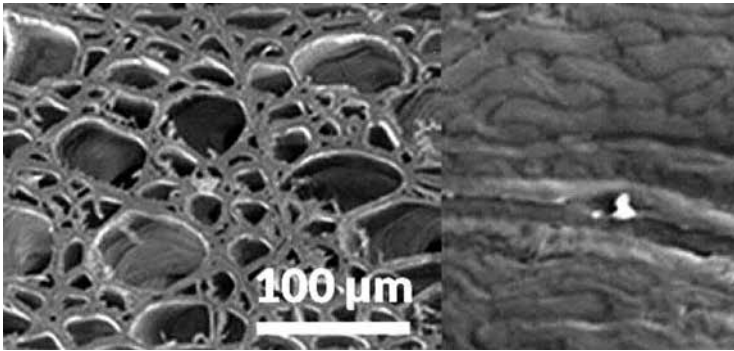
Behandling av trevirke

Som biologisk naturprodukt er trevirke utsett for påvirkning av ytre forhold som fukt, ver og vind, rote og sopp og insektangrep. Men trevirke kan forbedrast ved beskyttande behandling. Ein kan male og beise overflater, og tre kan impregnerast med kjemikaliar for å vare lengre. Telefonstolpar og kaipeler får kreosotbehandling; tidlegare nytta ein også jernbanesviller av kreosotbehandla tre. Hovudingrediensen i kreosot er steinkoltjære.

Visse bygningsmaterialar får trykkimpregnering med kopparhaldige saltoppløysingar. Trykket i impregneringsblandinga får dei aktive ingrediensane til å trenge mange centimeter innover i materialet. På grunn av mulege miljøeffektar er det komne restriksjonar dei siste 20 åra på bruken og typen av impregneringskjemikaliar. Av andre behandlingar kan nemnast forsøk på å endre treegenskapane ved å presse materialet mekanisk for å auke densitet (tettleik) og påverke bereevna. Det har vist seg at berre komprimering aleine ikkje gir stabil forbetring.

Trevirkevariantar som kryssfinér og sponplater er velkjente eksempel på behandla tre.

Ein sær effektiv type behandla tre er limtre. Moelven Bruk er leverandør av store limtrekonstruksjonar, til dømes fleire bruer over Glåma i



Figur 3. Mikrostrukturen av tre før samantrykkinga (til venstre) og etter (til høgre) [1]. Avbildinga er ved Skannande elektronmikroskopi (SEM) tatt av tverrsnitt loddrett på vekstretninga. Trecellene blir flatklemte av trykket, som var retta loddrett på den minste dimensjonen av bildet.

Østerdalen, og berebjelkane i flyterminal-bygningar på Gardermoen. Limtrebjelkar er lettare enn stål, og også sterkare i forhold til tyngda, og dei kan bevare bere-styrke ved brann lenger enn tilsvarande stålbejelkar, blir det hevda av fabrikan-tane. Limtre frå Moelven har densitet $0,47 \text{ g/cm}^3$.

Ekstremt sterkt trevirke etter ny trykk-komprimeringsmetode

Ein slik påstand var å lese i eit innslag i *Nature* for 8. februar 2018 [1]. Forskarane Jienwei Song og medarbeidarar ved Universitetet i Maryland, USA, hevdar at dei har framstilt trevirke med styrke jamførbart med stål. Eit slikt materiale, om det held det forskarane lovar, vil vere av særstør interesse.

Denne styrken har dei oppnådd ved kraftig sidevegs trykk som får vedcellene til å kollapse. Men det gode resultatet skuldast også kløktig forbehandling av materialet. Grunnen til at tidlegare forsøk på å påverke styrken ved trykk ikkje har lykttest, er visstnok at ein ikkje hadde funne fram til rett forbehandling.

Det som må til, er å redusere mengda av lignin og hemicellulose før trykkbehandlinga. Song og medarbeidarar gjer dette med ein metode som er godt kjent av papirprodusentar: Dei koker treet i mange timar i ei vassløysing av 2,5 molar natronlut (NaOH) og 0,3 molar natriumsulfitt (NaSO_3), ein prosess som løyser opp mykje av ligninet og hemicellulosen, mens cellulose-nettverket i hovudsak blir intakt. Etterpå blir kjemikaliene fjerna ved

koking i reint vatn. Ein liknande prosess, kalla sulfittmetoden, blir brukt ved framstilling av visse papirkvalitetar frå tremasse.

Det varme trestykket blir trykt saman med trykk på 5–10 MPa (megapascal = 10^6 N/m^2) (50–100 atmosfærar) i ei retning på tvers av vekstretninga. Med såpass høge trykk blir trecellene samantrykte, (sjå figur 3), og dimensjonen i trykkretninga blir redusert til ned mot 20 % av den opprinnelege. Prosessen gir eit fast og hardt materiale med densitet på om lag $1,3 \text{ g/cm}^3$, altså tredobling av densiteten frå dei $0,43 \text{ g/cm}^3$ for det opprinnelege treet.

Forskarane karakteriserer det nye materialet med ei rekke mekaniske prøvemetodar, som alle viser at behandlinga gir eit virke som er mangfaldige gonger forsterka. Sjå eksempel i tabell 1. Verdier for limtre er av same storleiksområde som for ubehandla tre.

Jamføring med stål

Forskarane jamfører det komprimerte trevirket med andre konstruksjonsmateriale som stål, Ti-Al-legeringar og diverse plastmateriale. Slik dei uttrykker seg, kan ein få inntrykk av at supertrevirket kan jamførast med stål. Dei karakteriserer materiala med det dei kallar «spesifikk strekkfastheit» (*specific tensile strength*), som dei måler til 420 MPa cm^3/g for komprimert tre, jamført med 110 for trevirket før behandlinga, 230 for rustfritt stål og 250 for titan-aluminium-vanadium-legeringa $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$. Behandlinga har

Tabell 1. Mekanisk styrke av ubehandla og trykkomprimert trevirke. Strekk- og trykkfastheit er tall for kor store krefter som fører til brot av materialet.

Eigenskap	Ubehandla tre	Komprimert tre *)	Merknader
Strekkfastheit/MPa <i>Tensile strength</i>	50	550 (11x)	vekstretning *) Lignin 45% av opphavelg innhald
Trykkfastheit/MPa <i>Compressive strength</i>	30 4,0 2,5	165 (5,5x) 205 (50x) 90 (35x)	vekstretning ⊥ vekst og trykk ⊥ vekst og trykk
Bøystyrke/MPa <i>Flexural strength</i>	55	340 (6x)	⊥ vekst og trykk

altså firedobla verdien for treet, og framstår her som 80 % sterkare enn stål!

Det er avgjort eit høgst interessant resultat, men det må nok kvalifiserast litt meir, for spesifikke strekkfastheit gir tall i forhold til vekta av materialet og er definert som «strekkfastheit delt på densitet». Strekkfastheit er den strekkkrafta (i N) som skal til for å få eit materialstykk til å ryke, delt på tverrsnittet av materialstykket (i m²). Strekkfastheit for stål er typisk $1800 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 1800 \text{ MPa}$. Ein stav av stål med gitt tverrsnitt tåler derfor om lag tre gonger større strekk enn ein tilsvarende stav av komprimert tre med same tverrsnitt. Densitetsverdiane er $7,8 \text{ g/cm}^3$ for stål og $1,3 \text{ g/cm}^3$ for komprimert tre.

Men for tilfelle der vekta av konstruksjonen spelar ei rolle, kan komprimert tre konkurrere jamvel med stål. Ein stav av komprimert tre som har same strekkfastheit som ein stålstav, veg derfor berre $1800/550 \cdot 1,3/7,8 = 0,55$ av vekta av stålstaven. I den forstand må ein kunne seie at komprimert tre vinn.

Flytende metalledninger for bøyleg elektronikk

Noen legeringer av gallium og indium er flytende ved romtemperatur, og kan anvendes som elektriske ledere i bøyleg elektronikk. Disse legeringene har også vist seg å kunne forandre form når man setter på elektrisk spenning.

Lars Egil Helseth Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Blant grunnstoffene er det bare kvikksølv som antar væskeform ved romtemperatur. Noen av oss har kanskje stiftet intim bekjentskap med kvikksølvtermometeret, og vet at dette er et instrument som skal behandles varsomt og ikke knuses. Siden kvikksølv er giftig, er dette et metall man bruker med største forsiktighet.

Gallium (Ga) er det metalliske grunnstoffet som har smeltepunkt nærmest romtemperatur (29,8 °C). Dette grunnstoffet ble først forutsagt av Mendeleev i 1871, og fire år senere fremstilt i laboratoriet av Boisbaudran [1]. I motsetning til kvikksølv er ikke gallium giftig, og såvidt man vet akkumuleres det ikke i biologiske systemer. Problemet er at smeltepunktet er litt for høyt til at det kan anvendes ved det vi vanligvis kaller romtemperatur. Heldigvis finnes det en løsning.

Lettsmeltende metall

For over 80 år siden ble det oppdaget at dersom man blander gallium med indium (In) i forholdet

Sluttmerknader

Forskarane [1] drøftar ikkje kostnaden ved prosessen. Men dei held fram at tre er ein billeg og lett tilgjengeleg og miljøvenleg ressurs. Noko miljøbelastning er det nok knytt til sulfittmetoden, men mengda her vil vere liten jamført med miljøfaktoren ved papirframstilling, eller også ved dei andre impregneringsmetodane for konstruksjons-trevarer. Men i kor stor grad komprimert tre vil kunne stå mot rote-, sopp- og insekt-åttak over tid, er opne spørsmål som må løysast før det nye materialet kan slå igjennom i praktisk bruk. ■

Referansar

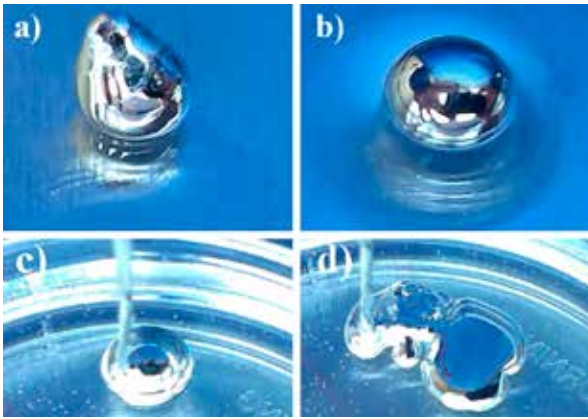
1. J. Song og 22 medarbeidarar. «Processing bulk natural wood into a high-performance structural material». *Nature* 554 (2018) s. 224–228.
2. Emil J. Samuelsen. «Cellulose, bomull og treverk». *Naturen* 137 nr. 3 (2013) s. 105–114.

75:25 (vektprosent), vil man få et lavere smeltepunkt enn for noen annen sammensetning av grunnstoffene i blandingen. Dette er derfor det som kalles en *eutektisk blanding*. Eutektisk gallium-indium (senere kalt EGaIn - uttales «egain» - av amerikanske forskere) er ikke giftig og har smeltepunkt på 15,5 °C. Videre har dette stoffet en elektrisk konduktivitet på $3 \cdot 10^6 \text{ S/m}$, noe som er endel mindre enn kobber sine $6 \cdot 10^7 \text{ S/m}$, men nok til å klassifisere blandingen som et godt ledende elektrisk metall.

EGaIn ble utover på 1950 og 1960-tallet brukt til å koble sammen faste elektriske ledere og som

Figur 1. En spiralformet spole laget av 100 μm tykt flytende metall (EGaIn) innkapslet i elastomer (silikon).





Figur 2. En dråpe EGaln i luft (a) og i NaOH løsning (b). Når EGaln i NaOH løsning (c) utsettes for elektriske spenninger, vil det skifte form (d). Flere bilder av dråper som forandrer form finner man i [4].

vakuumforsegling i enkelte pumpesystemer. Det var imidlertid ikke før det ble introdusert i mikrofluidikk og elastisk elektronikk for omtrent 10 år siden at denne legeringen virkelig begynte å vekke interessen hos forskere [2].

Bøyeleg elektronikk

Vanligvis printes elektronikk på substrater laget av polymerer, for eksempel epoksy eller polyimid. De brune polymerfilm-kablene inne i småelektronikk (PC, printer, etc) er gjerne laget av polyimid, og man oppdager fort at de ikke tåler å bli bøyd for mye. Dessuten er de ofte stive, og kan dermed ikke strekkes. I de senere år har man derfor prøvd å montere kobberbaner på elastomere, det vil si svært elastiske polymere som for eksempel polydimetylsiloksan (en silikon). Dette har vist seg vanskelig, for når elastomeren strekkes vil kobberbanene sprekke opp og dermed redusere den elektriske konduktiviteten. Flytende metall har ikke dette problemet, og kan forlenges mer enn noen elastomer. Innkapsling av flytende EGaln i elastomere gir derfor nærmest perfekte elastiske elektriske komponenter. På denne måten kan man lage motstander, kondensatorer, spoler og dioder. Et eksempel på en todimensjonal, spiralformet spole er vist i figur 1.

Endring av dråpeform

En av hovedårsakene til at EGaln har funnet mange anvendelser innen mikrofluidikk, er på grunn av sin evne til å forandre form i væsker. Dersom man deponerer en liten dråpe EGaln på en overflate, så vil den anta en noe irregulær form som i figur 2a. Dette er fordi Gallium danner et 2–5 nm tykt oksidlag (Ga_2O_3) som har stor overflatespenning som holder dråpen i en ikke-sfærisk form. Ved å dryppe litt lut (NaOH-løsning) på

EGaln-dråpen, fjernes oksidlaget og overflatespenningen reduseres betydelig. Metallet antar da en kuleform i løpet av svært kort tid, se figur 2b). Som man ser av figuren, er kuleformen nærmest perfekt, og metalldråpen fremstår som et veldig godt optisk speil.

I 2014 ble det vist at ved å sette spenning på EGaln i NaOH-løsning, kan man få væskemetallet til å skifte form [3]. Eksperimentet er enkelt å få til, og er vist i figur 2c og d. Først legger man en dråpe EGaln i NaOH-løsning. Man kan bruke vanlige kobberledninger. Ledningen koblet til positiv pol på spenningkilden stikker man rett ned i den kulerunde EGaln dråpen, mens den koblet til negativ pol settes et annet sted i væsken. Setter man nå på en spenning som er større enn 1–2 V, vil hydrogengass dannes på negativ pol og oksyngengass dannes ved EGaln dråpen. Samtidig vil den kulerunde dråpen deformeres og «legge seg flat» som man kan se i figur 2d. Den eksakte formen som antas avhenger blant annet av hvordan overflatespenningen forandrer seg med tid ulike steder på dråpen. Gjentar man forsøket flere ganger slik at de romlige forskjellene jevnes ut, er det sannsynlig at man vil se at dråpen antar en pannekeakeform når spenningen settes på. Flere eksperimenter med flytende metaller kan sees i [4].

Denne evnen til å forandre form ved påtrykt spenning kan ha mange anvendelser, fra små motorer til transformerbare speil. Filmentusiaster har kanskje lagt merke til at science-fiction-filmer allerede for lenge siden har sett for seg en rekke anvendelser av flytende metaller ved romtemperatur. En av de nyere filmene som omhandler dette var *Transformers 4: Age of Extinction* fra 2014, der man brukte et fantasimetall («transformium») til å la metallroboter skifte form. Vitenskapen er langt unna noe slikt i dag, men at EGaln og andre galliumlegeringer kommer til å få nye anvendelser i årene som kommer er antageligvis ikke å ta sterkt i. ■

Litteratur

1. Store norske leksikon: <https://snl.no/gallium>
2. M.D. Dickey. «Stretchable and soft electronics using liquid metals». *Advanced Materials* 29 (2017), 1606425.
3. J. Zhang, L. Sheng og J. Liu. «Synthetically chemical-electrical mechanism for controlling large scale reversible deformation of liquid objects». *Sci. Rep.* 4 (2014), 7116.
4. Lenke til flere eksperimenter (1.4.2018): www.youtube.com/watch?v=Eom7eBhvt00

100 år med Noethers teorem

I januar i år var det 100 år siden Emmy Noether publiserte sin artikkel om sammenhengen mellom kontinuerlige symmetrier og bevarte størrelser, kjent som Noethers teorem. Teoremet har hatt og har en viktig plass i moderne fysikk, og det har også interessant historisk bakgrunn. Som kvinnelig matematiker i begynnelsen av forrige århundre var Emmy Noether spesiell, og historien om hennes bedrifter er både interessant og spennende.

Jon Magne Leinaas Fysisk institutt, UiO

Amalie Emmy Noether ble født 23. mars 1882 i Erlangen i Tyskland, som den eldste av fire barn i en jødisk familie. Faren, Max Noether, var ansatt som matematikkprofessor ved universitetet i Erlangen, og er kjent for sine bidrag innen algebraisk geometri. Interessen for matematikk smittet over på både Emmy og en av hennes brødre, Fritz, som senere gjorde seg bemerket innen anvendt matematikk. En annen av hennes tre brødre oppnådde doktorgraden i kjemi.

På denne tiden var universitetsutdanning for kvinner ikke en enkel sak, og det Akademiske

Senat ved universitetet uttalte at en utdanning av begge kjønn ville «undergrave all akademisk orden» [1]. Nå tok Emmy Noether i første omgang ikke sikte på matematikk, men studerte engelsk og fransk og oppnådde i 1900 en grad som kvalifiserte til undervisning i språk ved skoler for jenter.

Tidlig utvikling som matematiker

I stedet for å utnytte sin språkutdanning bestemte hun seg imidlertid til å fortsette å studere ved universitetet i Erlangen. Hun kunne ikke studere som fullverdig student, men som den ene av to kvinner fikk hun tillatelse til å være tilstede som tilhører ved undervisningen. I 1903 tok hun eksamen ved Königliches Realgymnasium i Nürnberg, og vintersemesteret 1903–1904 studerte hun ved universitetet i Göttingen, som var blitt et viktig senter for moderne matematikk. David Hilbert var en sentral person i matematikkmiljøet der, og han ble etterhvert viktig for Noethers videre utvikling som matematiker.

Emmy Noether vendte tilbake Erlangen hvor studiemulighetene for kvinner var blitt bedre, og hvor hun ble immatrikulert som matematikkstudent. Studiet hennes ledet fram til doktorgrad i 1907. Som kvinne var det ikke mulig på det tidspunktet å få en vitenskapelig stilling ved universitetet, men hun fortsatte, som en uoffisiell assistent for sin far, å forske og å undervise. Under påvirkning av Ernst Fischer, som i 1911 kom til Erlangen, vendte hun sine matematikkinteresser mot Hilberts forskningsprogram, og hun publiserte flere artikler der Hilberts metoder i dette feltet ble anvendt og utvidet. Dette var begynnelsen på hennes videre arbeid innen abstrakt algebra, hvor hun senere oppnådde banebrytende resultater.

Våren 1915 kom det en invitasjon til Emmy Noether fra David Hilbert og Felix Klein i Göttingen. De var interessert i arbeidet hennes, og de mente hun kunne hjelpe dem med å forstå noen spørsmål som angikk gravitasjonsteorien som Einstein var i ferd med å utvikle. De ønsket å få henne ansatt som *Privatdozent* ved universitetet i Göttingen, men professorene ved filosofifakultetet motsatte seg det. Som argument mot å ansette en kvinne ble det sagt [1],

Hva vil våre soldater tenke hvis de kommer tilbake fra krigens prøvelser og finner at de må sitte ved føttene til en kvinne når de undervises?

Til det returnerte Hilbert,



Jeg kan ikke forstå at kjønnet til kandidaten er noe argument mot å ansette henne som privatdøst. Dette er tross alt et universitet og ikke en badeanstalt.

Noether kom likevel til Göttingen, der hun i flere år, uten lønn, forsket og foreleste i navnet til professor Hilbert.

Kort tid etter at Emmy Noether var kommet til Göttingen fikk de besøk av Albert Einstein, som var invitert av Hilbert til å holde en ukes forelesninger om sin gravitasjonsteori. Denne interesserte Hilbert mye, og med egne metoder arbeidet han også på denne teorien. I løpet av få måneder publiserte begge artikler om dette, hvor Einsteins i sitt arbeid ga en endelig utforming av den generelle relativitetsteori.

Det var noe i Einsteins teori som Hilbert hadde problemer med å forstå, og det var hvordan energibevaring kom til uttrykk i teorien. Hilbert satte Noether til å arbeide med dette spørsmålet, og i det videre arbeidet løste hun ikke bare dette problemet, men ga en generell formulering av forholdet mellom symmetrier og bevarte størrelser. Dette ble publisert i hennes berømte artikkel, med tittel *Invariante Variationsprobleme* [2], i januar 1918. Da Einstein mottok Noethers artikkel skrev han til Hilbert [1],

I går mottok jeg fra frøken Noether et meget interessant arbeid om invarianter. Jeg er imponert over at slike ting kan forstås på en så generell måte. Det hadde ikke skadet den gamle garde i Göttingen om den hadde blitt sendt på skolen til frøken Noether. Hun ser ut til å forstå hva hun holder på med!

Noethers teorem, symmetrier og bevarte størrelser

Vi kan ikke her gå i detalj inn på innholdet i Emmy Noethers artikkel, men vi kan skissere noe av det vesentlige i hvordan Noethers teorem anvendes på fysiske systemer [3]. Det ligger en forutsetning til grunn for å kunne anvende teoremet, som er at dynamikken til systemet kan uttrykkes ved en Lagrange-funksjon $L(q_i, \dot{q}_i, t)$. Det utelukker noen systemer, blant annet systemer med dissipasjon, men fysikkens grunnleggende teorier regner vi å være beskrevet av ligninger som kan utledes fra en Lagrange-funksjon.

Funksjonen L avhenger av et fullstendig sett av uavhengige dynamiske variable q_i og deres hastigheter \dot{q}_i , og den bestemmer tidsutviklingen til variablene ved et sett av Lagranges ligninger på formen

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

én ligning for hver frihetsgrad i . Lagrange-funksjonen selv har ikke nødvendigvis noen enkel fysisk tolkning, men det er dens deriverte med hensyn på q_i og \dot{q}_i som er av betydning, og som oftes kan tolkes som fysiske størrelser. For et mekanisk system vil Lagranges ligninger være equivalent med Newtons 2. lov anvendt på systemets deler, men Lagrange-funksjonen gir på en kompakt måte all nødvendig informasjon om systemets dynamikk, og Lagrange-formuleringen er på mange måter mer fleksibel en andre beskrivelser av systemet. I Noethers teorem spiller den dessuten en sentral rolle, ved at den gir en direkte sammenheng mellom symmetrier og bevegelseskonstanter. Vi ser litt nærmere på dette.

Valget av variable q_i er ikke entydig. Et koordinatskifte $q_i \rightarrow q'_i$ vil generelt forandre formen på Lagranges ligninger. Men i spesielle tilfeller, når vi har en *symmetri-transformasjon*, vil formen på ligningene forbli uendret. Det er klart at hvis Lagrange-funksjonen er uendret ved transformasjonen, det vil si at den har samme funksjonsavhengighet av gamle og nye koordinater, så vil transformasjonen være en symmetri-transformasjon.

Det som ikke er så opplagt er at det til en hver slik symmetri, forutsatt at det er en *kontinuerlig* transformasjon, vil være en tilhørende bevegelseskonstant. Dette er imidlertid hva Noethers teorem sier. Kontinuerlig betyr her at transformasjonen avhenger av en kontinuerlig parameter, slik at den eksisterer for vilkårlig små avvik fra identitetstransformasjonen. Vi kan altså se på en slik transformasjon som et infinitesimalt avvik $q_i \rightarrow q'_i = q_i(t) + \delta q_i(t)$ fra en løsning av Lagranges ligninger.

For å gi en kvalitativ forståelse, la oss se på en tidsuavhengig koordinattransformasjon, hvor δq altså er uavhengig av tiden. Vi antar at $q(t)$ er en løsning av bevegelsesligningen (for enkelthetskyld lar vi nå q representere hele settet med variable q_i). Variasjonen i koordinatene, δq , gir en variasjon δL i Lagrange-funksjonen som vi enkelt kan bestemme til første orden i δq og $\delta \dot{q}$. Hvis vi i tillegg utnytter at $q(t)$ tilfredsstiller Lagranges ligninger, får vi et bemerkelsesverdige, enkelt svar

$$\delta L = \frac{d}{dt} \left(\sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \delta q_i \right). \quad (2)$$

Hvis endringen i variablene q beskriver en symmetri, der Lagrange-funksjonen er uendret, $\delta L = 0$, så viser ligningen ovenfor at da vil innholdet i parentesene være tidsuavhengig, det vil si representere en bevegelseskonstant. Naturligvis er denne bestemt bare opp til en vilkårlig, konstant faktor, og hvis vi skriver $\delta q_i = \epsilon J_i$, der ϵ er en infinitesimal

parameter, mens J_i er en endelig størrelse, så kan bevegelseskonstanten som svarer til symmetri-transformasjonen skrives som

$$K = \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} J_i \quad (3)$$

hvor vi har fjernet konstanten ϵ . Størrelsen J_i kalles *generatoren* til den kontinuerlige transformasjonen.

La oss se på et enkelt eksempel, en partikkel som beveger seg i et potensial V . Lagrangefunksjonen er i dette tilfellet *differensen* mellom den kinetiske og potensielle energien til partikkelen. Med m som massen til partikkelen blir da Lagrangefunksjonen

$$L = \frac{1}{2} m \dot{\mathbf{r}}^2 - V(\mathbf{r}). \quad (4)$$

La oss videre anta at L har en symmetri som svarer til at den er uendret under forskyvninger i en retning i rommet. Det kan være naturlig å velge kartesiske koordinater i dette tilfellet, hvor for eksempel x er koordinaten i denne retningen. Potensialet blir da uavhengig av x , altså $V = V(y, z)$, og Lagrangefunksjonen er dermed invariant under en kontinuerlig transformasjon, gitt ved $J_x = 1$, $J_y = J_z = 0$. Det gir opphav til følgende bevarte størrelse,

$$p_x = \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m\dot{x}, \quad (5)$$

som vi gjenkjenner som x -komponenten til partikkelens driv (bevegelsesmengde).

Hvis potensialet i stedet er rotasjonsinvariant om z -aksen, er det fornuftig å velge polarkoordinatene (r, θ, ϕ) som variable. Potensialet, og dermed Lagrangefunksjonen vil da være uavhengig av ϕ , og vi finner som den tilhørende bevegelseskonstant

$$l_z = \frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} = mr^2 \dot{\phi}. \quad (6)$$

Den bevarte størrelsen i dette tilfellet er z -komponenten til partikkelens drivmomentet.

Ved invarians under forskyvninger i tid, er uttrykkene litt annerledes enn ovenfor, men også i det tilfellet kan en bevegelseskonstant utledes. Det er Hamiltonfunksjonen, som i det aktuelle tilfellet er

$$H = \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} \dot{x}_i - L = \frac{1}{2} m \dot{\mathbf{r}}^2 + V(\mathbf{r}), \quad (7)$$

og som vi gjenkjenner som partikkelens totale energi. Energibevaring er altså direkte koblet til at systemets bevegelsesligning er uendret under tidsforskyvninger.

Noethers teorem er viktig, ikke minst i feltteorier, der variablene er kontinuerlige funksjoner over

tid og rom. En lignende behandling av symmetri-transformasjoner som ovenfor, vil i dette tilfellet gi en bevaringsligning på en litt annen form

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0, \quad (8)$$

der ρ og \mathbf{j} er bestemt av feltets Lagrangefunksjon og av formen på symmetri-transformasjonen. Ligningen har samme form som det vi kaller kontinuitetsligningen for elektrisk ladning, der ρ er ladningstettheten og \mathbf{j} er strømtettheten. Ladningsbevaringen vises i ligningen ved at ladningen i et punkt bare kan endres ved at ladning strømmer til eller fra punktet. Generelt vil den fysiske tolkningen av den bevarte størrelsen være noe annet enn (elektrisk) ladning, men ρ og \mathbf{j} omtales likevel ofte som *Noetherladning* og *Noetherstrøm*.

Det burde legges til her at en forståelse for at det finnes sammenhenger mellom symmetrier og bevarte størrelser ikke var noe nytt som kom med Emmy Noether. Men det nye og bemerkelsesverdige med Noethers bidrag, som Einstein også sier i sin kommentar, var at hun kunne formulere det så generelt, og som en konkret metode til å utlede bevegelseskonstanter fra systemets Lagrangefunksjon. Og grunnen til at Noethers teorem fortsatt har en sentral plass innen fysikken, hundre år senere, er at symmetrier og bevaringssatser fortsatt er viktige elementer i vår beskrivelse og forståelse av fysikkens lover.

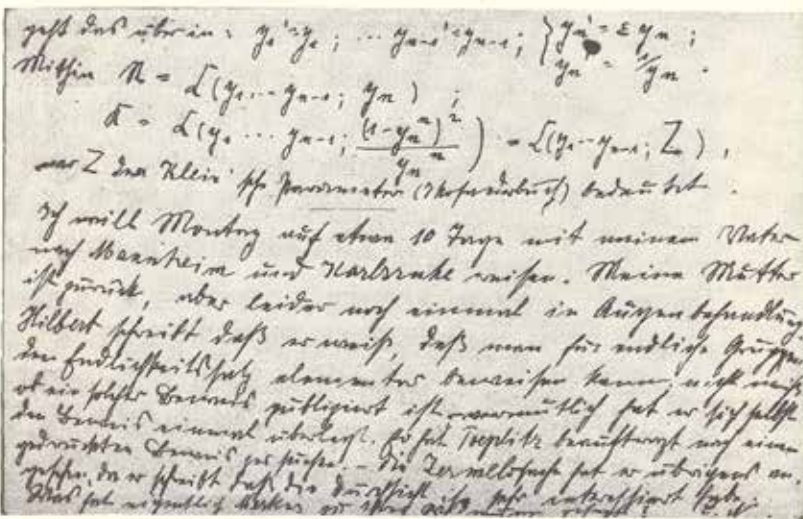
Framgang, utkastelse og en brå avslutning

Etter avslutningen av den første verdenskrig skjedde det store endringer i Tyskland og i Europa forøvrig. I Göttingen fikk Emmy Noether mulighet til å ta graden *habilitation*, som var en forutsetning for å få en fast stilling. Riktignok førte det i første omgang ikke til en full, men til en ulønnet, ekstraordinær professorstilling. Noether ble ikke betalt for sin undervisning før hun noe senere ble ansatt i en spesialstilling som *Lehrbeauftragte für Algebra* [1, 4].

Blant fysikere er Emmy Noether kjent for sitt teorem om sammenhengen mellom symmetrier og bevarte størrelser, men blant matematikere er hun vel så kjent for andre bidrag i matematikk. Hun skapte i Göttingen en aktivt forskningsgruppe med dyktige studenter og forskere, som særlig innen moderne algebra oppnådde en høy grad av anerkjennelse. Hun var dyktig når det gjaldt å veilede sine studenter, og hun var ofte raus med å la samarbeidspartnere viderutvikle ideer som hun initierte, men det sies også om hennes forskningsgruppe at den kunne virke ganske ekskluderende for studenter og matematikere som ikke tenkte på samme måte som de gjorde.



Figur 1. Emmy Noether brukte noen ganger postkort til å diskutere abstrakt algebra med sin kollega Ernst Fischer. Dette kortet er datert til 10. april 1915.



fokusere sin oppmerksomhet på de matematiske problemene som opptok henne. Men denne gode tiden kom til en brå slutt i april 1935. En operasjon for å fjerne en svulst så først ut til å være vellykket, men etter noen dager oppstod det komplikasjoner. I løpet av kort tid utviklet de seg til å bli livstruende, og den 14. april 1935 døde Emmy Noether i en alder av 53 år. Med det var et særpreget livsløp kommet til ende, og en rekke av de matematikere og fysikere som kjente henne og hennes arbeid, ga uttrykk for sin store anerkjennelse til det hun hadde utrettet. Einstein sier dette i et brev til *New York Times* [4],

Når det gjelder å bedømme de mest kompetente nålevende matematikere, var frøken Noether det mest betydnings-

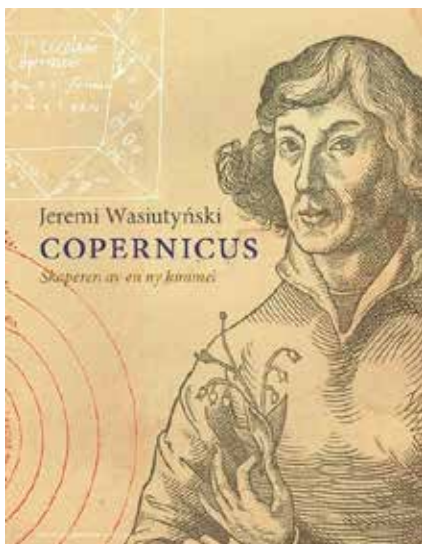
fulle kreative matematiske geni som hittil er blitt til etter at høyere utdanning ble åpnet for kvinner. ■

1920-tallet var en meget framgangsfull tid for disse aktivitetene, men i begynnelsen av 1930-årene var den gode tid over. Nå var Hitler og hans følgesvenner i ferd med å bringe Tyskland over i en ny fase, hvor utestenging og trakassering av folk med ikke-arisk bakgrunn ble en del av hverdagen. Etter maktovertagelsen i 1933 ble offentlige ansatte med jødisk bakgrunn raskt luket ut, og i Göttingen, hvor en stor andel av de vitenskapelige ansatte var av jødisk avstamning, betød det at forskningsmiljøet ble desimert. Emmy Noether var en av dem som ble utestengt. Hun fortsatte en tid med sin forskning og veiledning privat, men samtidig var det en intens aktivitet, spesielt i USA, for å finne nye arbeidsplasser til Noether og andre profesorer som var blitt utestengt fra universiteter i Tyskland.

Senhøstes 1933 tiltrådte hun en midlertidig stilling ved Bryn Mawr College, et kvinneuniversitet utenfor Philadelphia i Pennsylvania. Stillingen ble forlenget det påfølgende år, og det ble da også ordnet med at hun ukentlig besøkte Princeton University for å undervise. Hun fant seg godt til rette i USA, der hun var omgitt av interesserte kollegaer og studenter, og hvor hun fullt ut kunne

Referenser

1. C. Kimberling. «Emmy Noether and Her Influence» in *Emmy Noether: A Tribute to Her Life and Work*. Marcel Dekker, New York, 1981.
2. E. Noether. «Invariante Variationsprobleme». *Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Math-phys. Klasse*, 235 (1918). Artikkelen finnes i engelsk oversettelse på arXiv:physics/0503066v2 [physics.hist-ph].
3. Artikkelen til E. Noether består av to deler, hvor det som vanligvis kalles Noethers teorem (og som skisseres her) svarer til Teorem I, mens Teorem II er det som er aktuelt i forbindelse med den generelle relativitetsteori, hvor ligningene er invariante under generelle koordinattransformasjoner.
4. A. Dick. *Emmy Noether, 1882–1935*. Birkhäuser Boston, 1981.



Bokmelding:

Jeremi Wasiutyński: *Copernicus – skaperen av en ny himmel*

Oversatt til norsk av Gunnar Arneson

684 sider, Klokkehammer forlag, 2017

Alle har hørt om Copernicus, men bortsett fra at han plasserte sola i sentrum av kosmos, vet de fleste av oss svært lite om ham. Og ofte er det feil det vi tror vi vet, som at han ble forfulgt av kirken for sine synspunkter.

Det er derfor gledelig at Jeremi Wasiutyńskis biografi nå er blitt oversatt til norsk. Wasiutyński var i en periode tilknyttet Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo. Copernicus-biografien skrev han i 1936, før han flyttet til Norge, men det er først nå, 13 år etter hans død, at den foreligger på norsk.

Nicolaus Copernicus ble født i Torun i Polen i 1473. Faren døde tidlig, men onkelen på morsiden, Lucas Watzenrode, tok seg av hans utdannelse og sørget for at Copernicus fikk en høy administrativ stilling i den katolske kirken i Polen. Studiene i kirkerett og medisin gjennomførte han i Krakow og Italia, men det var astronomien som ble hans store lidenskap. Allerede i studietiden begynte han å arbeide med å revidere Ptolemaios' geosentriske system for å beregne himmellegemenes posisjoner, men storverket hans, *Om de himmelske sfærens omdreininger*, kom først ut i 1543, da han lå på dødsleiet.

Wasiutyński forteller engasjert om Copernicus' liv og samtid. Biografien inneholder interessant stoff om alt fra universitetsliv på 1500-tallet til reformasjonens mottagelse i Polen. Det er lett å glemme at Copernicus ikke var yrkesastronom. Hans daglige gjøremål dreide seg oftest om forvaltning av eiendommer, ispedd litt medisinsk praksis, og de fleste kildene til kunnskap om hans liv stammer fra denne delen av hans virke.

Et av de store spørsmålene er hva som fikk Copernicus til å flytte jorden vekk fra sentrum, i strid med Aristoteles' lære. Flere naturfilosofer

hadde allerede diskutert muligheten av en bevegelig jord, men det rådende syn var at den var universets ubevegelige midtpunkt. Her svarer de fleste biografier at kildene ikke kan fortelle oss hvordan han kom på å sette solen i sentrum. Wasiutyński ser ikke ut til å være enig med dem. Han portretterer Copernicus som en mystiker av den pytagoreiske skolen, og at det var betraktninger om solen som representant for det guddommelige som motiverte ham til å gjøre den til universets sentrum.

På dette punkt ble jeg som leser litt skeptisk. Jeg er ikke i stand til å vurdere kildegrunnlaget selv, men jeg mistenker at vi er vitne til et fenomen som ikke sjelden dukker opp i biografier, nemlig at forfatteren gjør biografien hovedperson til en talsmann for sine egne idealer.

Til tross for denne lille uroen hos anmelderen er det ingen tvil om at boken fortjener å bli lest av mange. Det er mye å lære om europeisk historie generelt og vitenskapshistorie spesielt. Den kopernikanske revolusjonen var begynnelsen på veien mot Newtons bevegelseslære og universelle gravitasjonslov, og jeg tror mange av oss har godt av å sette oss bedre inn i dens historie. Wasiutyńskis Copernicusbiografi er et fint sted å starte.

Øystein Elgarøy

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

James Joule – ølbryggeren som etablerte energiloven

I år er det 200 år siden James Joule ble født, mannen som etablerte energiloven: Energi forekommer i mange former, som med visse begrensninger kan transformeres i hverandre. Men i alle slike prosesser er totalenergien konstant. Dette tar vi som en selvsagt sannhet i dag, men på midten av 1800-tallet var påstanden kontroversiell.

Eivind Hiis Hauge Institutt for fysikk, NTNU

James Prescott Joule ble født på julaften 1818. Han levde hele sitt liv i den vitale industribyen Manchester [1]. Familien hadde drevet et lukrativt ølbryggeri i flere generasjoner, en virksomhet han tidlig fikk driftsansvar for. Det tok han på arbeidskrevende alvor. Men ved siden av å brygge øl ble Joule en lidenskapelig naturforsker. Som tenåring var han riktignok tre år i inspirerende lære hos John Dalton, men for øvrig var hans utdanning svært begrenset. Han var aldri tilknyttet noe universitet. Som «gentleman» naturforsker arbeidet han med utrettelig grundighet for å gi eksperimentelle svar på aktuelle spørsmål. Slik la han grunnlaget for loven om energibevaring, i denne omgang som termodynamikkens første lov.

Fremveksten av termodynamikk

Termodynamikk er læren om varmeoverføring og arbeid i systemer nær likevekt. Det er et paradoksalt emne i fysikken, så enkelt, så generelt og samtidig så vanskelig. Studenter strever, og professorer strever. Termodynamikken presenteres vanligvis nesten uten henvisninger til konkrete fysiske systemer, utover ideelle gasser som illustrasjon. Framstillingen har beskjedne krav til matematikk-kunnskaper. Til gjengjeld kreves evne til abstrakt tenkning og streng logikk. En pedagogisk utfordring både for lærere og studenter!

Kanskje ikke så merkelig da at denne abstrakte konstruksjonen, utviklet gjennom 40 år på 1800-tallet, hverken var et enkeltindivids aha-opplevelse eller et resultat av rettlinjet utvikling. Nå i ettertid, med dagens forståelse av hvordan termodynamikken henger sammen, er det ikke alltid lett å følge hvordan pionerene kjempet seg frem, ved omveier, tilbakeslag, generelle hypoteser, riktige og gale, og konkret eksperimentering. Fire personer spilte sentrale roller: Sadi Carnot, James Joule, William Thomson (den senere Lord Kelvin) og Rudolf Clausius – en franskmann, to briter og en tysker. Tre av

dem var teoretikere. Carnot var inspirert av ingeniørenes strev med å forbedre dampmaskinen. Han lyktes i 1824, ved begrepsmessig imponerende argumentasjon, å vise at «hans» syklus hadde den høyest tenkelige virkningsgrad for en varmekraftmaskin, *uansett* arbeidssubstans. Clausius var den som satte kronen på termodynamikkverket i 1865 ved å introdusere alle studenters favorittåkefyrste, entropien.

Joule var praktikeren av de fire. Med oppfinnsomhet og, for sin tid, nøyaktig eksperimentering, var han på jakt etter grunnleggende sammenhenger. I dag tar vi det som en selvsagt sannhet at energien er konserverert: Energi kan forekomme i mange former, men i alle prosesser er totalenergien konstant. Men på 1840-tallet var dette stikk i strid med den rådende oppfatning. Joule er den som har æren for å ha etablert denne grunnleggende tesen ved en serie stadig nøyaktigere målinger.

Varmens elektriske ekvivalent

Rundt 1840 var elektromotorer siste skrik i ingeniørkretser, og motorene ble tillagt fremtidsmuligheter tett opp til evighetsmaskiner. Bryggeriets energikilde var en dampmaskin, og unge Joule ville undersøke om elektromotoren, drevet av et sinkbatteri, var kommersielt konkurransedyktig. Svaret på hans undersøkelser var



Figur 1. James Prescott Joule.

nedslående. Levert energi per pund kull viste seg å være fem ganger større enn per pund sink. Dessuten var sink langt dyrere enn kull. Men om arbeidet med strøm og batteridrevne elektromotorer var en fiasko, kommersielt sett, førte undersøkelsene til vitenskapelige resultater av varig verdi. Joule viste i 1841 at varmemengden utviklet per tidsenhet i en elektrisk motstand er lik motstanden multiplisert med kvadratet av strømstyrken, $P = RI^2$. Han viste også at dette gjelder for strøm gjennom en elektrolytt, noe som var langt fra trivielt.

Varmens mekaniske ekvivalent

Disse resultatene satte Joule på sporet etter mer generelle sammenhenger. Han konstaterte at kjemisk potensiell energi i batteriet ble omdannet til elektrisk energi som så ble omdannet til varme, og prosessene kunne til dels reverseres. Joule var også kjent med at grev Rumford (B. Thompson) på slutten av 1700-tallet hadde påpekt at varme ble kontinuerlig generert ved boring av kanonløp, uten at dette hadde gjort inntrykk i vitenskapelige kretser. Den rådende teori var at varme, «caloric» var et fluid som vel kunne flyttes rundt ved varme-transport. Men varme var, mente man, totalt sett bevart. Dette var bildet Fourier baserte seg på da han i 1807 fremla sin teori for varmeledning [2]. Carnot baserte seg på det samme bildet da han i 1824 leverte sitt viktige bidrag til termodynamikkens utvikling.

Men er varme bevart? Mekanisk energi er i alle fall ikke bevart, det sørger jo friksjon for. Her henviser Joule til sin gudstro: «Siden evnen til å desimere bare tilligger Skaperen, er jeg enig med Roget og Faraday i at enhver teori som innebærer annihilasjon av energi må være feilaktig» [1, s. 67].

Joule spekulerte for øvrig også rundt varmens mekaniske natur. Inspirert av Dalton trodde han, i

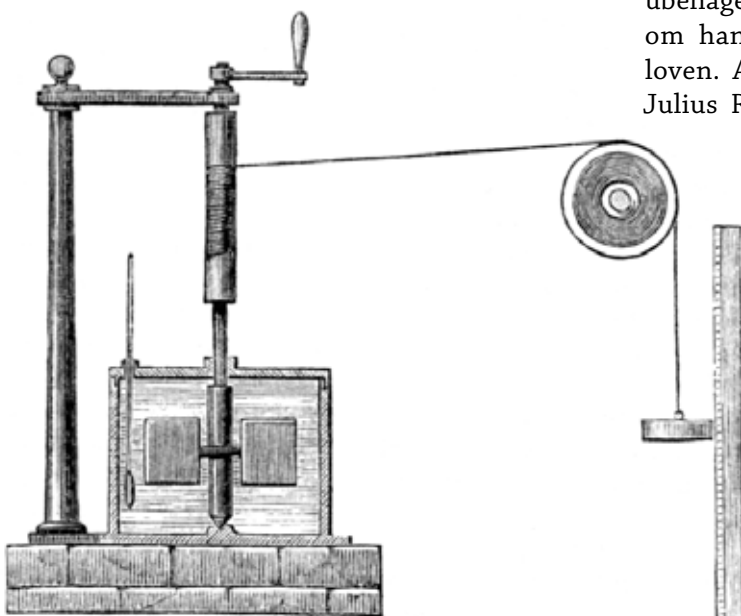
motsetning til de fleste på den tiden, på atomer. Og han forestilte seg at varme kunne forstås som atomenes rotasjonsenergi. Hvorfor energien knyttet til atomenes translasjon ikke var førstekandidaten her, er vanskelig for oss i dag å forstå.

Uansett mikrospekulasjoner gjorde Joule en rekke forskjellige eksperimenter, med stadig større nøyaktighet, som viste at en gitt mengde mekanisk energi kunne omdannes til en tilsvarende varmemengde. Med vår tids enheter, der Joules navn pryder energienheten, og med den nå aksepterte tallverdi, er varmens mekaniske ekvivalent gitt som $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$. Som nevnt ble analoge målinger gjort med omdanning av elektrisk energi til varme. Den felles energiskalaen i Joules eksperimenter var potensiell energi, konkret «foot × pound». Figur 2 viser Joules mest kjente eksperiment for å fastslå varmens mekaniske ekvivalent.

I 1843 presenterte Joule for første gang sine resultater for varmens mekaniske ekvivalent. Han ble møtt med dyp skepsis, og de følgende årene fikk han store problemer med å få publisert sine resultater i anerkjente britiske tidsskrifter. Bryggeren Joule var jo bare en amatør fra industribyen Manchester, og ikke medlem av det dannede selskap i London eller Oxbridge! Men langsomt økte anerkjennelsen. En viktig bidragsyter her var W. Thomson. Han snudde fra å se på Joules resultater med dyp skepsis til å bli en entusiastisk samarbeidspartner og venn. Samarbeidet førte til en serie på fire felles publikasjoner (fellespublikasjoner var svært uvanlige i England på den tiden!) som klargjorde Joule-Thomson-effekten, basis for de fleste av våre dagers kjøleskap/varmepumper.

Joules plass i fysikkens historie

Joule var en personlig beskjeden mann, men en som visste hva han var verdt. Det var derfor ubehagelig for ham at det senere ble sådd tvil om hans prioritet til oppdagelsen av energiloven. Allerede i 1842 hadde den tyske legen Julius Robert Mayer (1817–1878) foreslått at bevaring av totalenergien måtte være et underliggende prinsipp for alle naturfenomener. Men han hadde ingen overbevisende eksperimenter som underbygde tesen om varmens mekaniske ekvivalent, bare noen røffe overslag. Han (nok en amatør!) ble i utgangspunktet oversett, men senere trukket frem i prioritetsdebatten. Joule og Mayer fikk



Figur 2. Skisse av apparaturen brukt i Joules klassiske eksperiment.

utvilsomt ideen om energibevaring uavhengig av hverandre, men det var Joule som systematisk underbygde ideen eksperimentelt. Og fysiske spekulasjoner uten eksperimentell underbygning er, inntil videre, metafysikk. Fysikk krever forankring i verifiserbare eksperimenter!

I termodynamikkens utvikling har derved Joule æren for å ha etablert varmelærens første hovedsetning. Andre hovedsetning må Clausius tillegges æren for.

Som symbol på Joules endelige anerkjennelse i Storbritannia ga dronning Victoria i 1878 ham en årlig pensjon på £200 «som anerkjennelse for hans

eminente vitenskapelige meritter (...), inkludert oppdagelsen og anvendelsene av varmens mekaniske ekvivalent».

Joule døde fredelig i sitt hjem i 1889. Til hans ære har ISO-standarden innført J (for joule) som energienheten. ■

Referanser:

1. Cardwell, Donald S.L. *James Joule, A Biography*. Manchester University Press, (1989).
2. Samuelsen, Emil: 250-årsjubileum for Joseph Fourier, *Fra Fysikkens Verden*, 1, 20 (2018).

IN MEMORIAM



Stephen Hawking
(1942–2018)

Den 14. mars 2018 kom nyheten om Stephen Hawkings død. Etter å ha trosset alle odds og levd med den grusomme sykdommen ALS i mer enn 50 år, ebbet livet ut for den mest kjente fysiker i vår tid.

Hawking tok doktorgraden ved Universitetet i Cambridge i 1966. I doktorgradsarbeidet brukte han geometriske metoder utviklet av Roger Penrose til å vise at under ganske generelle antagelser må universet ha startet i en såkalt singularitet dersom det hele tiden har fulgt klassisk fysikk. Dette resultatet hadde betydning, for det forelå på den tiden resultater som antydte at en singularitet kunne unngås dersom man droppet de vanlige, forenkende antagelsene om at universet er homogent og isotropt.

Arbeidet han ble mest kjent for var imidlertid det der han viste at det oppstår stråling med sort legeme-spektrum utenfor sorte hull. Dette var et av

de første, og fremdeles et av de viktigste resultatene innenfor semiklassisk kvantegravitasjon, der tidrommet behandles klassisk mens feltene som beskriver stråling og materie behandles kvantemekanisk.

Denne såkalte Hawking-strålingen er for svak til å kunne påvises ved observasjoner. Resultatet har allikevel av flere grunner fått stor betydning. Et lignende fenomen vil opptre i modeller der universet gjennomgår en fase med eksponentiell vekst, inflasjon, og dette gir opphav til tetthetsfluktuasjoner som er utgangspunkt for dannelsen av strukturer. Hawking bidro til de første beregningene av de statistiske egenskapene til disse tetthetsfluktuasjonene. At de observerte egenskapene til storskalastrukturene i universet stemmer med forutsigelsene til typiske inflasjonsmodeller, er den viktigste grunnen til at inflasjonskosmologi har gått fra å være ren spekulasjon til en standard ingrediens i big bang-modellen.

Etter at Hawking i 1988 skrev den populære vitenskapelige bestselgeren *A brief history of time* (norsk utgave: *Univers uten grenser*) ble han raskt en verdenskjendis, og han brukte en stor del av tiden sin på å formidle fysikk og astrofysikk. Han inspirerte mange unge til å interessere seg for fysikk og astronomi gjennom sine bøker, foredrag og TV-opptredener.

Stephen Hawking etterlater seg et imponerende livsverk som fysiker og formidler, resultater han oppnådde takket være sin egen ukuelige vilje og mange gode hjelpere og til tross for lammende sykdom. Fysikere og astrofysikere over hele verden skylder dem og ham en stor takk for alt.

Øystein Elgarøy



Kaare Aksnes

80 år

Professor emeritus i astronomi ved Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo, Kaare Aksnes, fylte 80 år 25. mars 2018. Aksnes nyter stor faglig respekt og anerkjennelse for sin omfattende innsats internasjonalt og nasjonalt. Han regnes i dag blant verdens fremste forskere innen fagområdet celest mekanikk.

Etter hovedfag i astronomi ved UiO i 1963 reiste Aksnes med stipendium til USA. Han ble ansatt ved Smithsonian Astrophysical Observatory i Cambridge, Massachusetts fra 1965 til 1967. I perioden 1969-1971 var han ved Jet Propulsion Laboratory i Pasadena, California, og i 1971-1978 ved Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics i Cambridge, Massachusetts. Kaare Aksnes tok Ph.D.-graden ved Yale University i 1969 med avhandlingen «A second Order Solution of an artificial Earth Satellite based on an Intermediate Orbit». Avhandlingen er blitt et internasjonalt standardverk innen baneberegninger av planeter, måner, meteor, kometer og kunstige sonder.

Aksnes kom tilbake til Norge og var ansatt som forsker ved Forsvarets Forskningsinstitutt, Kjeller, i perioden 1978-1988. Fra 1980 til 1988 var han også professor II i astrofysikk ved Universitetet i Tromsø inntil han ble utnevnt til professor i astronomi ved Universitetet i Oslo i 1988.

Fra 2003 til 2006 var Aksnes president for Commission 6: Astronomical Telegrams i Den internasjonale astronomiske union (IAU). Han var i en årrekke henholdsvis president og medlem i IAUs arbeidsgruppe for Planetary System Nomenclature, som har ansvar for navnsetting på legemer i solsystemet og deres overflateformasjoner.

Fra 1993 til 2013 ledet Aksnes redaksjonskomitéen for *Almanakk for Norge*. Han har bidratt med et stort antall populærvitenskapelige innlegg

i dagspresse, radio og fjernsyn. I forbindelse med astronomiske begivenheter som stjernesknudsvermer, kometer, sol- og måneformørkelser og asteroider er Aksnes en velkjent og skattet popularisator hos mediene og blant publikum.

Professor Aksnes er medlem av Det Norske Videnskaps-Akademi siden 1991. Han mottok i 1969 Dirk Brouwer Memorial Prize for sitt doktorgradsarbeid og i 1981 fikk han NASA Group Achievement Award for sine baneberegninger for Voyager-prosjektet. I 1978, lenge før selv hadde noen innflytelse på navnsetting av himmellegemer, ble asteroide nummer 2067 oppkalt etter ham. I 2006 ble Kaare Aksnes tildelt Kongens fortjenestemedalje i gull.

Vi gratulerer!

Oddbjørn Engvold



Thormod Henriksen

90 år

En av nestorene i norsk fysikk, Thormod Henriksen, rundet 90-års-milepælen den 26. februar i god og kjent stil og med nye mål i sikte. For oss ved Biofysikk og medisinsk fysikk-seksjonen (BMF) ved Fysisk institutt (FI) ved UiO, som møter Thormod hver gang han er på Blindern for å jobbe, sosialisere eller å diskutere, er det ikke lett å ta inn over seg at denne vitale, oppdaterte og faglig aktive personen faktisk har vært pensjonist i 20 år!

Thormod Henriksen vokste opp på Nøtterøy. Etter eksamen artium ved Tønsberg Gymnas i 1948 begynte han å studere ved UiO, og ble cand. real. i 1955. Hovedfagsarbeidet utførte han ved Norsk Hydros Institutt for Kreftforskning (NHIK) ved Det norske radiumhospital hvor han engasjerte seg i hvordan hospitalets nye 31 MeV-betatron kunne utnyttes innen kreftforskning og kreftte-

rapi. Med det var også hans løpebane som fysiker gitt – det ble strålingsfysikk og strålingsbiofysikk, kreftterapi og også miljøfysikk som ble livsverket. Han disputerte for doktorgrad i 1963, og fikk et nyopprettet dosentur i biofysikk ved FI i 1970. Han fikk et personlig professorat ved FI i 1980 og ble her resten av sin karriere.

Ved FI bygget Henriksen opp en aktiv forskningsgruppe med en stadig strøm av stipendiater, gjesteforskere og hovedfagsstudenter. Mye av hans faglige aktivitet er beskrevet i Historikk for Biofysikk og miljøfysikk ved Fysisk institutt som hittil er ført fram til år 2000 [1]. Her beskrives også tidlige forskningsaktiviteter innen kjernefysikk, biofysikk og miljøfysikk i Tromsø og Bergen. Thormod Henriksen var instituttbestyrer ved FI i perioden 1978–1980.

Det var ulykken i Tsjernobyl i 1986 som vekket Thormod Henriksens stadig voksende engasjement for formidling omkring stråling og helsemessige effekter av lave doser. Senere økte miljøengasjementet til også å omfatte UV bestråling, ozonlag, meteorologiske forhold i atmosfæren og drivhuseffekt. Det ble høytempererte medieoppslag, et større antall bøker og temahefter og to utstillinger på Teknisk Museum, og i 1998 ble han tildelt Universitetets Formidlingspris. En av bøkene, Stråling og Helse, ble utgitt også på engelsk.

I perioden 1991–1998 var Henriksen president i Norsk Fysisk Selskap (NFS). Han arbeidet særlig for å øke rekrutteringen og det faglige engasjement blant landets lærere for på det vis å stimulere til en økning i rekrutteringen til fysikk blant skoleelever. Faggruppen for undervisning i NFS ble styrket ved opprettelsen av Norsk Fysikklærerforening. Henriksen opparbeidet en genuin interesse for selskapet og dets historikk og til 50-års jubileet i 2003 skrev han en historikk for NFS gjennom dets første 50 år [2]. I 2014 skrev han tre artikler i *FFV* (årgang 76, nr.1) i forbindelse med tidsskriftets 75-års jubileum.

Thormod Henriksen har i hele den siste 10-årsperioden vært engasjert i stråling, medisinsk strålevirkning, bakgrunnsstråling, spesielt radon-saken, og generell strålingsfysikk og også i miljøfysikk. Innen strålingsfysikken er det spesielt LNT-modellen for strålevirkning som har vært i hans fokus. LNT betyr *Linear-No-Threshold* og modellen antar at enhver stråledose, uansett hvor liten den er, vil gi en økt risiko for kreft. Modellen ble utviklet på 60-tallet og bygger på en rekke antakelser og analyser som i ettertid viser seg å

være beheftet med både feil og misforståelser. Fortsatt bruk av LNT til å forutsi antall døde (strålingsindusert kreft) etter strålingseksponering fra for eksempel radon, medisinsk stråling eller strålingsulykker, er derfor til tider stikk i strid med dagens kunnskap og bidrar til å bygge opp under radiofobien i samfunnet.

Thormod Henriksen utga i 2009 en helt ny nettbasert versjon av boka *Radiation and Health* (325 sider) som har fått stor internasjonal oppmerksomhet. Denne boka finnes på FIs hjemmesider [3] og oppdateres jevnlig, sist i 2015. Han har skrevet flere nettbaserte artikler, blant annet en omfattende om lungenes rensesystem i forbindelse med radon og lungekreft. Henriksen har dessuten jevnlig skrevet fagartikler i *FFV*; om drivhuseffekten, om stråling og helse, om lungenes rensesystem, om strålingsfysikk og om LNT-modellen.

Thormod Henriksen har også de siste 10 årene vært en viktig person i BMF-seksjonens indre liv. Han har gitt lunsjseminarer som har hatt diskusjon og debatt som mål – og det er det blitt! Og når han jevnlig deltar i debatt og prat rundt lunsjbordet sammen med alle ansatte og studenter i seksjonen deler han med glede av sin fagkunnskap og utøver almen folkeopplysning innen idrett generelt og orientering og vintersport spesielt. Entusiasmen for idrett har Henriksen også levd ut gjennom mange års lederverv i Tyrving og Holmen Idrettslag, og dessuten overført til barn og barnebarn.

Vi setter enorm pris på jubilentens nærvær på Blindern – og ser med spenning fram mot hva han finner på de neste 10 årene!

Det går rykter om at 90-årsdagen ble feiret tre hele dager til ende, og vi slutter oss til gratulan-tenes rekker!

Eli Olaug Hole og Einar Sagstuen

Referanser:

1. T. Henriksen. «Biofysikk og Miljøfysikk ved Universitetet i Oslo: En historisk oversikt». eArtikkel (2000). Lenke: www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/biofysikk/biofysikk_miljofysikk_historikk.pdf
2. T. Henriksen. «Norsk Fysisk Selskap. Historikk». eArtikkel (2003). Lenke: www.norskfysikk.no/nfs/arkiv/nfs50ar/NFS50ar.pdf
3. T. Henriksen. *Radiation and Health*. eBok (2015). Lenke: www.mn.uio.no/fysikk/tjenester/kunnskap/straling/radiation-and-health-2015.pdf

RETURADRESSE:
FRA FYSIKKENS VERDEN
FYSISK INSTITUTT, UNIVERSITETET I OSLO
BOKS 1048 BLINDERN
0316 OSLO

Styret i Norsk Fysisk Selskap

President:

Professor Asle Sudbø
Institutt for fysikk, NTNU
E-post: asle.sudbo@ntnu.no

Visepresident:

Professor Sunniva Siem
Fysisk instiutt, UiO, Kjerne- og energifysikk
E-post: sunniva.siem@fys.uio.no

Styremedlemmer:

Forsker Annett Thøgersen, SINTEF Oslo, kondenserte fasers fysikk og atomfysikk
Førsteamanuensis Magnus Borstad Lilledahl, NTNU, biofysikk
Professor Åshild Fredriksen, UiT, atmosfære-, rom- og plasmafysikk
Professor Håvard Helstrup, HiB, subatomær- og astrofysikk
Professor Jon Samseth, HiOA, industri- og energifysikk
Professor Olav Gaute Hellesø, UiT, optikk
Lektor Morten Trudeng, Asker VGS, Norsk Fysikklærerlag

Adresse:

Norsk Fysisk Selskap
Institutt for fysikk, NTNU
7491 Trondheim

Sekretær: Haakon Thømt Simensen
E-post: nfs.styret@gmail.com
Bankgiro: 7878.06.03258

Org.nr.: 940 340 829

www.norskfysisk.no

ISSN-0015-9247