

Fra Fysikkens Verden



«Svein Rosslands hus» ved Universitetet i Oslo.
(Se artikkel om Svein Rossland)

Nr. 1 – 2012
74. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øivin Holter:	
Atmosfærisk CO ₂ og temperatur . .	5
Ingolf Kanestrøm:	
Global middeltemperatur	9
Per Ofstad:	
Svein Rossland	15
G.K. Johnsen, C.A. Lütken, Ø.G. Martinsen og S. Grimnes:	
Memristoren – en ny komponent . .	26
Fra Redaktørene	2
FFV Gratulerer	2
Emil J. Samuelsen 75 år	
In Memoriam	3
Øivin Holter (1934-2011)	
Indeks 2011	17
Fysikknytt	30
Glassomer – eit nytt materiale	
Kommentar	31
Operation Epsilon og Farm Hall	
Bokomtale	33
Helge Kragh: Higher Speculations	
Nytt fra NFS	34
Birkelandprisen 2012	
Nye Doktorer	35
PhD Hiroatsu Sato	
Trim i FFV	35

Fra Redaktørene

Den 27. mars 2012 hadde Aftenposten en stor artikkel med tittelen: *Norske lærebøker kan bli borte*. Her fremheves et alvorlig misforhold: Mens det gis publiseringspoeng, og dermed penger, til universiteter og høyskoler for vitenskapelige publikasjoner, er det ingen tilsvarende statlig ordning når det gjelder formidling og skriving av lærebøker.

Statssekretær Kyrre Lekve i Kunnskapsdepartementet sier at de mange ganger har gått gjennom problemet med manglende uttelling for formidling som bl.a. inkluderer populærvitenskapelige foredrag, aviskronikker og lærebøker, og fortsetter: "Men uten at vi har funnet noen meningsfull og konsekvent måte å legge dette inn i våre belønningssystemer på. Vi har ikke planer om å innføre det nå." Dette er en skuffende tafatt holdning.

Høgskolen i Oslo (og Akershus) innførte en belønningsordning for formidling for noen år siden. Ordningen gir formidlingspoeng for bl.a. populærvitenskapelige artikler, foredrag, kronikker og kunstneriske presentasjoner. Dette er et godt utgangspunkt for departementet for å lage en statlig belønningsordning for formidling.

I høgskolens ordning er ikke lærebøker inkludert. Dette bør tas med som en egen kategori. Betydningen av gode lærebøker på norsk er stor både på videregående skole og på bachelornivå ved høyskoler og universiteter. Å lage en god lærebok er en tidkrevende oppgave, og på mange fagområder må man regne med så lite salg at både forfattere og forlag kvier seg. Uten noen stimulerende ordning for både forfattere og forlag vil dette føre til en gradvis uttørring av tilbudet av lærebøker på norsk.

Det er flott at studentene får faglig erfaring med engelsk på masternivå, men det er vanskelig å få studenter som kommer rett fra videregående skoler til å lese lærebøker på engelsk. Mange studenter forteller at de har problemer med å lære fysikk av en fagbok på engelsk i denne første perioden av studiet. Derfor er det av stor betydning å ha et tilbud av gode lærebøker på norsk.

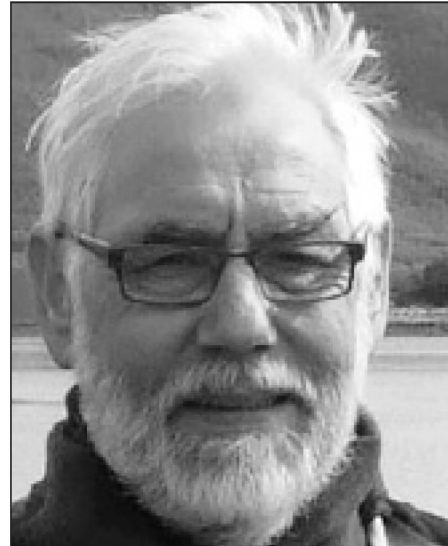
Vi oppfordrer med dette departementet til å innføre en belønningsordning som kan stimulere til økt formidling og skriving av lærebøker på norsk i høgskole- og universitetsmiljøene.

Øyvind Grøn

∞

FFV Gratulerer

Emil J. Samuelsen 75 år



Professor Emil Johannes Samuelsen, en av nestorene i norsk faststoff-fysikk, fylte 75 år den 11. januar i år. Han ble født i Lyngen i Troms, og tok examen artium ved Troms Offentlege Lands-gymnas i 1955. Samuelsen fortsatte med sivilingeniør utdanning i fysikalsk kjemi ved NTH i 1960, med hovedoppgave innen røntgendiffraksjon. Etter avtjent militærtjeneste ved Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) ble han ansatt ved Institutt for energiteknikk (IFE), og hadde også et forskningsopphold ved Brookhaven utenfor New York på slutten av 1960-tallet.

Samuelsen forsket på faseoverganger i magnetiske materialer på denne tiden og avla graden dr.philos. i fysikk ved UiO i 1971, med avhandlingen "*Spin Waves and Magnetic Interactions in Antiferromagnets with Corundum Structure*". Materialstudier basert på spredning av laserlys, røntgenstråling og nøytroner har vært grunnpillarer også i hans videre karriere. Han fortsatte som dosent, senere professor, ved Institutt for fysikk, NTH/NTNU.

Samuelsen har en stor vitenskapelig produksjon, med om lag 140 publiserte artikler og bokkapitler. De nevnte arbeidene på magnetiske materialer er spesielt viktige å trekke fram. Han regnes som den første som eksperimentelt verifiserte Lars Onsagers matematiske løsning av den to-dimensjonale isingmodellen. Dette ble gjort ved å studere

nøye utvalgte magnetiske materialer ved hjelp av nøytronspredning.

Interessen for lavdimensjonale og delvis ordnede systemer har vært en rød tråd gjennom Samuelsen virke, som de siste ti-årene har vært fokusert på "konjugerte polymerer". Dette er en klasse organiske materialer med svært interessante optiske, elektroniske og prosesstekniske egenskaper. Disse materialene er elektrisk halvledende og er nå i ferd med å kommersialiseres for bruk i organiske solceller, sensorer, og sågar i nye TV-er med såkalt OLED-teknologi. Den sterke koblingen mellom molekylær struktur og pakking på den ene siden og makroskopiske egenskaper på den andre har gjort at røntgenstudier i dag hyppig brukes for bedre å forstå disse materialene. Det er på denne bakgrunn rimelig å berømme Samuelsen for ved flere anledninger å ha vært tidlig ute med å kaste seg over nye forskningsfelt av stor interesse i samtiden.

Samuelsen har utdannet om lag ti doktorgradsstudenter, som i dag sitter i gode stillinger i norsk industri og akademien. Han er medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab og Norges Tekniske Vitenskapsakademi. Han har vært dekanus og instituttleder, samt leder for flere nasjonale og internasjonale komiteer. Samuelsen har vært gjesteforsker ved en rekke institutter og har, som en av de norske pionerene innen synkrotronforskning, i en årrekke vært norsk kontakt til røntgenanlegget ESRF i Grenoble. Han er fortsatt til berikelse for fagmiljøet ved Institutt for fysikk på NTNU og har de siste årene skrevet en rekke populærvitenskapelige artikler.

Man får dog ikke et riktig bilde av Samuelsen uten å trekke fram to av hans store utenomfaglige interesser, nemlig språk og orientering. Interessen for språk omfatter både etymologi, dialekter og fremmedspråk, og han har bidratt til arbeidet med norsk standardisering av størrelser og enheter. Samuelsen har også spilt en viktig rolle innen idretten, både som aktiv utøver med velfylt premiesamling, og som oppmann og kretsleder i Sør-Trøndelag Orienteringskrets.

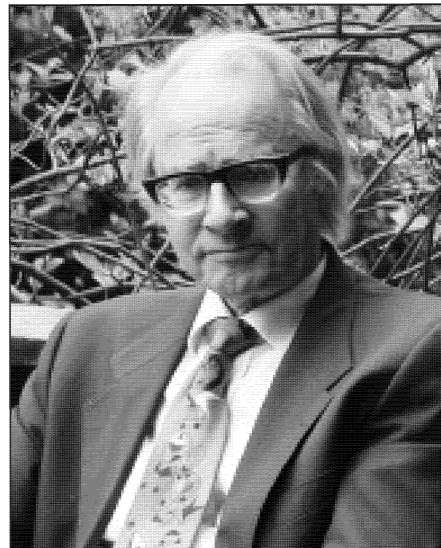
Vi ønsker Emil J. Samuelsen fortsatt mange gode og aktive år!

Dag W. Breiby og Anne Borg

∞

In Memoriam

Øivin Holter (1934–2011)



Den 9. desember dukket det opp en e-post i innboksen med den sørgelige melding at vår venn og kollega professor Øivin Holter hadde gått bort dagen før, 8. desember, 77 år gammel. Det kom som et sjokk. Han hadde hatt noen helseproblemer i det siste, men ingen så for seg en slik utvikling. Da han var innom Fysisk institutt på Blindern noen uker tidligere, var han på vei til sitt kjære Frankrike, men han skulle hjem til jul, og "Vi sees på kringlefesten!" (instituttets markering av inngangen til julen). Dit kom han ikke.

I sin faglige karriere var Øivin innom universiteter og forskningsinstitutter i inn- og utland, men Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo var hans faglige og akademiske hjem. Han markerte seg på mange måter, og han gjorde en stor innsats innenfor kjerneområdene for et universitet: forskning, undervisning, formidling og ledelse.

Da Øivin var blitt cand.mag. i 1957 og skulle begynne på sitt hovedfagsstudium i fysikk, fikk han sammen med tre andre studenter tilbud om å gjøre et forskningsarbeid i plasmafysikk. Dette var et helt nytt forskningsområde i Norge. Det var professor Svein Rosseland ved Institutt for teoretisk astrofysikk og direktør Gunnar Randers ved Institutt for atomenergi (IFA) som så at det var nødvendig å bygge opp kompetanse i Norge innenfor dette nye feltet. Plasma, den fjerde aggregattilstand, regnes å utgjøre 99 % av materien i universet, og plasmafysiske reaksjoner griper inn i svært mye.

Dette var spennende forskning, men det var ikke bare grunnforskningsinteressene som fikk initiativtakerne til å satse på plasmafysikk. Det var den kjernefysiske fusjonsreaksjonen, en prosess der lette atomkjerne smelter sammen og danner en tyngre kerne med frigjøring av store mengder energi. Dersom man klarte å "temme" denne prosessen ville verdens energibehov være dekket for all fremtid. Det kreves imidlertid ekstremt høy temperatur, 100–200 millioner grader, for å få til slike kjernereaksjoner. Utfordringen var, og er fremdeles, å kontrollere et plasma med så høy temperatur og holde det adskilt fra fusjonskammerets vegger. Det oppstår blant annet ustabiliteter og bølger i plasmaet. Slike fenomener var det Øivin skulle studere.

Øivin avla en meget god hovedfagseksamen i 1959. Kort tid etter fikk han et stipend fra *Die Alexander von Humboldt Stiftung* i Tyskland, noe som gjorde det mulig å fortsette å studere plasmafysikk i Tyskland. Han undersøkte spesielt hvordan svake lineære ustabiliteter kunne utvikle seg til sterke ikke-lineære fenomener med stort avvik fra likevekt. Etter stipendoppholdet i Tyskland ble han universitetsstipendiat ved Matematisk institutt ved Universitetet i Bergen, hvor plasmafysikk var et nytt tema innenfor anvendt matematikk.

I 1965 kom Øivin tilbake til Universitetet i Oslo som amanuensis, førsteamanuensis og senere professor ved Fysisk institutt. I 1970 disputerte han for den filosofiske doktorgrad på avhandlingen "*Non-Linear Theory of low Temperature Plasmas with Application to Cylindrical Plasma Columns*".

Plasmafysikkmiljøet ved Fysisk institutt hadde nær kontakt med Det norske institutt for kosmisk fysikk, som arbeidet med nordlys- og romfysikk. I 1977 ble Institutt for kosmisk fysikk innlemmet i Fysisk institutt, og det ble dannet en egen forskningsgruppe for plasma- og romfysikk. Dette var en styrke for romforskningen, siden plasmafysikk er helt fundamental for å kunne forstå de fysiske prosessene i verdensrommet. Øivins spesialkompetanse på ustabiliteter og bølger i plasma var svært verdifull. Bølger er en viktig energiformidler i rommet, og ustabiliteter skaper forstyrrelser i mediet. Øivin engasjerte seg i studier av magnetosfæriske prosesser, slik som substormer, og hans teoretiske kompetanse var svært verdifull for å kunne sette data fra satellitter inn i en teoretisk sammenheng. Han hadde også tilegnet seg stor kompetanse i programmering og datasystemer. Dette brukte han for å utvikle nye digitale analyseverktøy for bølgedata fra satellitter.

Fysikk generelt, og kanskje romfysikk spesielt, er internasjonal. Den er ressurskrevende, og internasjonalt samarbeid er nødvendig. Øivin hadde mange internasjonale samarbeidspartnere, blant andre *Boeing Research Laboratories* i Seattle, USA. Samarbeidet med *Centre des Environnements Terrestre et Planetaire* (CNET) i Velizy utenfor Paris, skulle imidlertid bli det viktigste i den senere perioden av Øivins faglige karriere. Det ga ham også mulighet til å kombinere faglig utvikling med pleie av sine frankofile interesser. CNET er en av de ledende gruppene innenfor romplasmaforskning i Europa. Dette ble et fruktbart og produktivt samarbeid som førte til en rekke publikasjoner. Det hadde betydning både direkte i Øivins egen forskning og ved at det ble knyttet kontakter med franske romforskningsmiljøer. Dette har vært viktig for norsk-fransk samarbeid i romforskningsprosjekter.

Øivins interesse for energispørsmål, som ble vekket gjennom forskning rundt kontrollert fusjon, ga en viktig spin-off effekt. Øivin arbeidet med å utvikle et undervisningstilbud i fysikk og energiresurser. Da dette ble lansert i slutten av 70-årene var det et meget tidsriktig tilbud, og temaet er ikke mindre aktuelt i dag. Det er fortsatt et populært kurs ved Instituttet. Øivin er medforfatter av en lærebok "Fysikk og energiresurser", som kom i førsteutgave i 1979, og som senere er kommet i oppdaterte utgaver, sist i 2010. Han var også en pådriver for at energifysikk skulle bli inkludert i Instituttets forskningsportefølje.

Øivin så hvor viktig det er å formidle resultater av forskningen, ikke bare til sine fagfeller, men også til et bredere publikum. En viktig del av hans formidlingsvirksomhet var arbeidet med Norsk fysisk selskaps populærvitenskapelige tidsskrift "Fra Fysikkens Verden". Fra 1987 og i hele 21 år, var Øivin medredaktør for tidsskriftet. Han ble tildelt æresmedlemskap i Norsk Fysisk Selskap som takk for innsatsen.

Øivin engasjerte seg også i administrasjon og ledelse av Instituttet. Han hadde verv som gruppeleder og medlem av instituttråd og instituttstyre. Han var bestyrer for Fysisk institutt i årene 1988–90. Dette var en turbulent periode i Universitetets historie, og Øivin sto på for å ivareta Instituttets interesser. Hans strukturerte og systematiske arbeidsform førte til mange forbedringer i Instituttets rutiner. Det som kanskje fikk størst oppmerksomhet var en modell hvor innsats ble lagt til grunn for fordeling av ressurser. Den var i bruk i mange år etter hans bestyrerperiode og gjorde slutt på mange

og lange budsjettdebatter i instituttrådet.

Øivin hadde også mange utenomfaglige interesser: kultur, litteratur, politikk og sport. Han var selv en habil alpinist. Han var også praktisk anlagt, og hans innsats ved bygging av hus (med innlagte energisparingsinstallasjoner) og hytte var betydelig. Vi kan jo heller ikke omtale Øivin uten å nevne hans kjærlighet til Frankrike som han kunne dyrke sammen med sin kjære Karin.

Når vi ser tilbake på de siste 40 år av Fysisk in-

stitutts historie dukker Øivin opp i mange sammenhenger, i forskning, undervisning og ledelse. Han har satt spor etter seg. Vi er takknemlige for hans innsats, og vi vil savne kollegaen og vennen Øivin. Tankene går også til Karin og familien.

Vi lyser fred over Øivin Holvers minne!

Jan Holtet, Finn Ingebretsen og Eivind Osnes

∞

Atmosfærisk CO₂ og global temperatur

Øivin Holter *

Prognoser for utviklingen av klimaet i dette århundre, innebærer til dels svært høye verdier for atmosfærens innhold av karbondioksid og tilsvarende økning i den globale temperatur. Her skal vi se litt nærmere på konsekvensene av begrensede ressurser ved å benytte enkle modellbetraktninger.

Et sentralt problem i klimadebatten dreier seg om hvor stor den midlere globale temperaturøkning vil bli med fortsatt utnyttelse av de fossile energiresurser. (Det som betegnes som global temperatur framkommer ved en vektet midling over lokalt målte temperaturer på jorda.) Dette problemet kan hensiktsmessig deles i tre:

1. *hvor mye karbondioksid, CO₂, vil bli sluppet ut i atmosfæren med en fortsatt utnyttelse av de fossile ressurser,*
2. *hvor stor andel av det CO₂ som er sluppet ut vil til enhver tid befinne seg i atmosfæren,*
3. *hva er den globale temperaturrespons på en gitt mengde atmosfærisk CO₂.*

I stedet for å forsøke å "gjette" på et forløp for utnyttelsen av de fossile ressurser, skal vi se nærmere på hva som vil bli nivået for atmosfærisk CO₂ uten begrensede utslippstiltak. Dette vil antyde en øvre grense for atmosfærens CO₂-innhold og

den tilsvarende globale temperaturøkning. Med et slikt antatt "business as usual"-forbruk, vil endringen i forbruket være bestemt av de fossile ressursers tilgjengelighet og omfang. (Bakgrunnsmateriale for denne artikkelen finnes i boken "Fysikk og energiresurser", kap. 8 og 9.⁽¹⁾)

Fossilt ressursomfang

Omfanget av begrensede ressurser som kan bli utnyttet betegnes som EUR-ressurser (*Estimated Ultimate Recoverable*). EUR-ressursene omfatter

- *mengden av en ressurs som allerede er utnyttet,*
- *de kjente reserver,*
- *den delen av en ressurs som er utnyttbar, men ennå ikke kjent.*

Det er den siste ukjente delen som medfører stor usikkerhet, men som med forskjellige metoder kan anslås.

Kull

Den mengde kull som totalt vil bli utvunnet er forbundet med stor usikkerhet. Anslagene over antatt tilgjengelige kullressurser har i løpet av de siste ca. 40 år blitt jevnlig redusert. En tysk gruppe, EWG (*Energy Watch Group*), har analysert kullressursene

* Fysisk institutt, UiO.

og konkluderer med at den gjenværende ressursmengde tilsvarende de kjente reserver på 560 TW år.⁽²⁾

Olje

Mengden av lett tilgjengelig olje som vil bli utnyttet har vært gjenstand for en rekke anslag i de siste 50 år. Det overraskende er at disse estimater har variert lite. EWG har vurdert oljeressursenes EUR og konkluderer med at den forventede totale oljeproduksjon vil tilsvare 383 TW år.⁽³⁾

Gass

Utnyttelsen av gassressursene er faseforskjøvet i forhold til oljeressursene, og ressursomfanget er antatt å være av samme størrelsesorden som for olje, omkring 373 TW år. Mulighetene for å utnytte ukonvensjonell gass (spesielt skifergass) kan bidra til en vesentlig ressursøkning.

Logistisk ressursforbruk

Når forbruket avtar etter hvert som omfanget av den gjenværende ressursen avtar, kaller vi det et logistisk forbruk. Uten begrensende tiltak vil utnyttelsen av en ressurs ha et karakteristisk logistisk forløp som i hovedsak kan deles i tre faser:

1. *den første er karakterisert med en meget høy vekstrate,*
2. *i den neste avtar veksten gradvis inntil den blir tilnærmet lik null når omkring halvparten av ressursen er oppbrukt,*
3. *i den siste er veksten negativ inntil ressursen i sin helhet er oppbrukt.*

Med utgangspunkt i de følgende tre ressursparametrene kan vi benytte en enkel matematisk (logistisk) modell for beregning av forbruket som funksjon av tiden:⁽¹⁾

- Q_{∞} er den totale mengde av den fossile ressurs som vil bli utnyttet (EUR),
- Q_0 er den del av ressursen som er oppbrukt ved tiden $t = t_0$,
- P_0 er den årlige utnyttelse ved tiden, $t = t_0$.

I tabell 1 har vi angitt disse tre ressursparametrene for året 2008.

I den logistiske modellen benytter vi følgende forenklete likning for det akkumulerte forbruk, $Q(t)$, ved tiden t :⁽¹⁾

$$P(t) = dQ/dt = \frac{1}{\beta}(1 - Q/Q_{\infty})Q, \quad (1)$$

hvor β er en konstant med dimensjon tid.

Likning (1) gir eksponentiell vekst ved starten av utnyttelsen, $Q \ll Q_{\infty}$. Mot slutten av utnyttelsen, $Q \sim Q_{\infty}$, vil forbruket, $P(t)$, gå mot null. Ved å løse likning (1), finner vi utviklingen av forbruket, $P(t)$, gitt ved⁽¹⁾

$$P(t) = P_0 \left(\frac{Q_{\infty}}{Q_0} \right)^2 \frac{e^{-t/(AS)}}{(1 + Ae^{-t/(AS)})^2}. \quad (2)$$

Størrelsene A og S er gitt ved

$$A = (Q_{\infty} - Q_0)/Q_0, \quad S = \frac{Q_0^2}{P_0 Q_{\infty}}.$$

Ved hjelp av likning (2) kan vi beregne det maksimale forbruk ($\frac{dP}{dt} = 0$), P_m ,

$$P_m = \frac{Q_{\infty}}{4SA}, \quad (3)$$

og tiden t_m fram til det maksimale forbruk

$$t_m = SA \ln A. \quad (4)$$

Tabell 1. Parameterverdier til bestemmelse av framtidig forbruk av de samlede fossile ressurser med år 2008 som utgangspunkt.

Ressurser	Q_{∞} (TW år)	P_0 (TW)	Q_0 (TW år)
KULL			
Reserver	560		
Forbrukt	178		
Sum	738	4,4	178
OLJE	383	5,5	200
GASS	371	3,2	106
Samlet	1492	13,1	484

For å kunne forutsi ressursutviklingen, ble denne type analyse for oljeressursenes vedkommende utviklet av den amerikanske geolog M. King Hubbert i 1960-årene.⁽⁴⁾ Maksimal utnyttelse av en ressurs kalles ofte "Hubbert-toppen", som for olje betegnes "peak oil". Hovedproblemet ved en slik analyse er å fastslå med rimelig grad av sannsynlighet omfanget av den totale ressurs, Q_{∞} .

Karbonutslipp til atmosfæren

Vi deler utviklingen av karbonutslippet til atmosfæren etter 2008 i to deler:

- *utviklingen fram til den fossile Hubbert-toppen ($t = t_m$),*
- *fra tidspunktet t_m , antar vi et tilnærmet eksponentielt avtagende forbruk inntil 95 % av de*

totale fossile ressurser er oppbrukt i løpet av de neste ca. 150 år. Dette svarer til en (negativ) vekstrate $\sigma = -0,02 \text{ år}^{-1}$, for det fossile energiforbruk.

Med verdiene i tabell 1 innsatt i hhv. likning (4) og likning (3), får vi tiden t_m fram til de fossile ressursers maksimale forbruk,

$$t_m \simeq 18 \text{ år},$$

og et maksimalt forbruk

$$P_m = 8,9 \text{ Gt/år}.$$

Disse verdiene er svært avhengige av de antatte verdiene av Q_0 og Q_∞ .

Dette innebærer at den fossile forbrukstoppen (Hubbert-toppen) eventuelt vil inntreffe omkring år 2026 med et maksimalt forbruk $P_m \simeq 9 \text{ Gt/år}$. Vekstraten for karbonutslippet vil fram til forbrukstoppen være avtagende. Når forbrukstoppen er nådd, vil – i følge modellen – halvparten av den totale fossile ressurs, $Q_\infty/2 = 746 \text{ TW år}$, være forbrukt, dvs. i perioden 2008–2026 vil ytterligere 262 TW år, tilsvarende ca. 0,16 Tt karbon, bli tilført atmosfæren. I tillegg til utslipp fra forbrenning av fossile ressurser, vil det også være betydelig atmosfærisk tilførsel av karbon pga. netto avskoging. Som et konservativt anslag for avskoging benytter vi et utslipp på ca. 1,1 Gt/år (år 2008)⁽⁵⁾ for 18-årsperioden fram til år 2026. Dette gir et akkumulert utslipp fra biomasse på $\simeq 20 \text{ Gt}$. Det akkumulerte utslipp av karbon i perioden 2008–2026 blir dermed $\simeq 180 \text{ Gt}$. Den totale tilførsel til atmosfæren siden den pre-industrielle periode blir, som oppsummert i tabell 2, dermed $\simeq 0,68 \text{ Tt}$ karbon.

Tabell 2. Akkumulert utslipp av karbon fra fossil forbrenning og avskoging fra den pre-industrielle periode fram til år 2008,^(5,10) og estimat fram til år 2026.

Utslppsform	Periode	Mengde (Tt)
Fossil	1860–2008	0,29
Skog	1860–1980	0,18
Skog	1980–2008	0,03
Totalt	1860–2008	0,50
Fossil	2008–2026	0,16
Skog	2008–2026	0,02
Totalt	2008–2026	0,18
Sum	1860–2026	0,68

For å anslå det karbon som fortsatt vil være i atmosfæren i år 2026, antar vi en "historisk" (sml. tabell 3) andel på 40 %. Det gir $\simeq 0,3 \text{ Tt}$, slik at

den totale mengde karbon i atmosfæren i år 2026 kan anslås til $\simeq 0,9 \text{ Tt}$.

Reservoarmodell

For å kunne anslå mengden av karbon i atmosfæren – spesielt i perioden med avtagende fossilt forbruk – skal vi benytte en forenklet reservoarmodell som består av tre deler, og er behandlet i detalj i ref. (1), kap. 8.

Atmosfæren betraktes som ett reservoar uten oppdeling. Havet betraktes som to reservoarer, et øvre blandingslag, B , med relativt rask utveksling av CO_2 med atmosfæren, og et dypere lag, D , med relativt langsom utveksling med blandingslaget. Biosfæreservoaret inkluderes i havets øvre blandingslag. Netto avskoging regnes med i utslippsfunksjonen $P(t)$.

Man antar at det skjer en utveksling av karbon mellom de tre delene. De utvekslingsrater mellom delsystemene som er benyttet refererer til et system i likevekt, med et pre-industrielt CO_2 -nivå på 280 ppm (parts per million). Siegenthaler og Sarmiento⁽⁶⁾ satte opp en modell for karbonsyklusen svarende til den antatte pre-industrielle likevektstilstand og en tilsvarende modell for karbonsyklusen i perioden 1980–89. Reservoarinnholdet er angitt i tabell 3.

	≤ 1800	1980–89
P	0	7,3
A	600	750
B	1 000	1 020
D	38 000	38 200
Totalt	39 600	39 970

Avtagende forbruk

Ved en eksponentiell endring av utslippsfunksjonen har vi

$$P(t) = P(t_1)e^{\sigma(t-t_1)}. \quad (5)$$

Det akkumulerte utslipp for $t \geq t_1$ er gitt ved

$$G(t) = \frac{P(t_1)}{\sigma} [e^{\sigma(t-t_1)} - 1]. \quad (6)$$

Etter at den fossile Hubbert-toppen er passert, antar vi en negativ vekstrate.

Tabell 3. Anslått utslipp, P (Gt/år), og karboninnhold (Gt) svarende til den pre-industrielle (≤ 1800) likevektstilstand og den antropogene ikke-likevektstilstand 1980–89.⁽⁶⁾

Med utslippsfunksjonen i likning (5), kan atmosfærens innhold av CO_2 som funksjon av tiden gis som en relativt enkel funksjon vist av Henriksen og Kanestrøm.⁽⁷⁾

Følsomhetsfaktoren

Atmosfærens følsomhetsfaktor angir hvor stor den globale temperaturstigning vil bli med en gitt mengde CO_2 i atmosfæren. I praksis blir følsomhetsfaktoren gitt ved størrelsen $\Delta T_{2\times}$, som angir temperaturstigningen ved en dobling av atmosfærens CO_2 -innhold i forhold til det pre-industrielle nivå. (Atmosfærens pre-industrielle karboninnhold var 600 Gt, svarende til 280 ppm CO_2 . En temperaturøkning $\Delta T_{2\times}$ svarer dermed til et CO_2 -innhold på 560 ppm.)

Rasool og Schneider⁽⁸⁾ påpekte tidlig at for et system i likevekt var temperaturstigningen, ΔT , en logaritmisk funksjon av atmosfærens CO_2 -innhold. Denne funksjonssammenhengen bekreftes av IPCCs beregninger.⁽⁹⁾ Med en logaritmisk funksjonssammenheng får vi $\Delta T(t)$ som funksjon av atmosfærens karboninnhold, $A(t) = A_0 + A_1(t)$, gitt ved

$$\Delta T(t) = \Delta T_{2\times} \frac{\ln(A(t)/A_0)}{\ln 2}, \quad (7)$$

hvor A_0 er det pre-industrielle karbonnivået.

I de siste 40 år har et stort antall numeriske modeller av økende kompleksitet blitt introdusert for å beregne følsomhetsfaktoren. IPCC har i sine prognoser benyttet $\Delta T_{2\times} = 3^\circ\text{C}$, svarende til et "best choice".⁽⁹⁾

Global temperaturøkning

IPCC 2007 har gitt en tabell over de forskjellige bidrag til det totale strålingspådrivet for 2005.⁽⁹⁾ Ved å gruppere tabellen i to bidrag, får vi

- Strålingspådriv fra CO_2 : $1,7 \text{ W/m}^2$:
- Samlet strålingspådriv fra øvrige parametre: $-0,18 \text{ W/m}^2$.

Dette antyder med IPCCs oppgitte verdier for 2005, at den observerte midlere globale temperaturstigning på $\simeq 0,8^\circ\text{C}$ i vesentlig grad skyldes akkumulert CO_2 i atmosfæren.

For å beregne den mengde karbon, $A_1(t)$, som ved tiden $t \geq t_1 = 2026$ befinner seg i atmosfæren, benytter vi likning (5). Med $P(t_1) = P_m = 10,0 \text{ Gt/år}$ og $A_1(t_1) = 275 \text{ Gt}$, og en følsomhetsfaktor $\Delta T_{2\times} = 3 \text{ K}$, får vi resultatene som er gitt i tabell 4.

Tabell 4. Atmosfærisk karbon $A_1(t)$ og CO_2 , og temperaturendring, ΔT , som funksjon av tid fra år 2026.

T (år)	$A_1(t)$ (Tt)	CO_2 (ppm)	ΔT (K)
0	0,275	408	1,6
20	0,34	440	2,0
40	0,35	444	2,0
60	0,33	435	1,9
80	0,30	419	1,7
100	0,26	400	1,5
150	0,17	357	1,0

Avslutning

Det scenariet som avtegner seg på basis av de forenklete modeller og ressursantagelser i det foregående, kan oppsummeres som følger:

I en periode fram mot ca. år 2030 vil veksten i det fossile forbruk avta grunnet mangel på tilgjengelige ressurser. Deretter vil det fossile forbruk avta (negativ vekstrate), og etter nye ca. 25–30 år vil det fossile energiforbruk være tilbake på 2008-nivået. Fram til ca. år 2050 vil innholdet av CO_2 i atmosfæren imidlertid ha økt fra 383 ppm til omkring 445 ppm. Mengden av CO_2 i atmosfæren vil deretter langsomt begynne å avta. Den globale temperaturen når sitt maksimum, $\Delta T \approx 2^\circ\text{C}$, omkring år 2050. I en periode på 30 år vil den globale temperaturen endre seg lite selv med avtagende fossilt energiforbruk.

Faktorer som kan modifisere denne utviklingen:

- Atmosfærens følsomhet, $\Delta T_{2\times}$, er større eller mindre enn antatt: større/mindre ΔT .
- Større mengder fossile ressurser enn antatt forbrukes: større ΔT .
- Auskoging reduseres: mindre ΔT .
- Internasjonale avtaler fører til redusert CO_2 -utslipp: mindre ΔT .
- Alternativ energi utkonkurrerer fossil energi: mindre ΔT .
- Karbonfangst og lagring (CCS) introduseres i stor skala: mindre ΔT .

Her er ikke tatt med andre drivhusgasser som ofte blir angitt som CO_2 -ekvivalenter.

Referanser

1. Ø. Holter, F. Ingebretsen og H. Parr: *Fysikk og energiresurser* (3. utgave). Fysisk institutt, UiO (2010), <http://www.mn.uio.no/fysikk/personer/vit/holter/index.html>
2. Energy Watch Group: *Coal: Resources and Future Production*. EWG-Paper No- 1/07, Ottobrunn/Achen (2007)
3. Energy Watch Group: *Crude Oil, The Supply outlook*. EWG-Paper N0. 3/07. Ottobrunn (2007)
4. M. King Hubbert: *Resources and Man*. National Academy of Science, Freeman, San Fransisco (1969) s. 157
5. G.R. van der Werf et al.: *CO₂ emissions from forest loss*. *Nature Geoscience* **2**, 737 (2009)
6. U. Siegenthaler og J.L. Sarmiento: *Atmospheric carbon dioxide and the ocean*. *Nature* **365**, 119 (1993)
7. T. Henriksen og I. Kanestrøm: *KLIMA Drivhuseffekt Energi, kap. 11*. Gyldendal (2001)
8. S.I. Rasool og S.H. Schneider: *Science* **173**, 138 (1971)
9. IPCC: *Fourth Assesment Report. Summary for Policy-makers*. (2007)
10. G.M. Woodwell et al.: *Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide*. *Science* **222**, 1081 (1983)

∞

Global middeltemperatur

Ingolf Kanestrøm *

I klimadebatten og i faglitteraturen støter vi ofte på betegnelsen global temperatur eller global middeltemperatur. Her skal vi ikke gå inn på selve temperaturbegrepet, men gjøre et forsøk på å forklare hva vi legger i begrepet global temperatur. Å beregne denne temperaturen er nærmest en vitenskap i seg selv, så det kan ikke bli noen detaljert omtale. Men vi skal prøve å skissere metodene som benyttes.

Instrumentelle data

Klimatologiske observasjoner på jorda går tilbake til det 17. århundre da instrumenter som termometre og barometre ble oppfunnet. Galileo Galilei (1564–1642) fant opp termometret, men vi har ingen temperaturserie fra den tiden.

Det finnes flere typer termometre, og av disse er kvikksølvtermometret vanligvis regnet som det mest pålitelige. Det er derfor blitt mest brukt innen meteorologien. Hertug Ferdinand II grunnla *Accademia del Ciment* i Florence i 1657. Men tre år tidligere satte Ferdinand opp et nett av elleve

meteorologiske målestasjoner: sju i Italia (Firenze, Pisa, Parma, Curtigliomo, Vallombrosa, Bologna og Milano) og én i henholdsvis Innsbrück, Osnabruc (Tyskland), Paris og Warsawa. Ved disse stasjonene ble det observert temperatur, trykk, vindretning og fuktighet. Observasjonene ble avsluttet da akademiet ble nedlagt i 1667.

Den lengste temperaturserien vi har, er den såkalte *Central England Temperature* (CET) som går tilbake til 1659. Andre lange serier finner man for Berlin, som går tilbake til 1700, Bilt i Nederland fra 1706, Germantown i Pennsylvania fra 1731, Milano fra 1740, Stockholm fra 1756 og Oslo fra 1838. I tiden fra 1659 og fram til i dag, har man skiftet utstyr og observasjonsmetoder flere ganger. Ved slike skift kan man få brudd i måleseriene. En må da kalibrere utstyret slik at disse bruddene fjernes, en må "homogenisere" dataseriene, som man sier.

Global middeltemperatur

Global middeltemperatur er et mål for temperaturer midlet over hele kloden, både over land og hav. Den globale temperaturen er basert på alle offentlig tilgjengelige temperaturdata, målinger fra meteorologiske bakkestasjoner og satellittdata fra havområder.

* Institutt for geofysikk, UiO.

Bakkestasjonene måler temperaturen med termometre plassert i hvitmalte instrumenthytter med ventilasjon slik at termometrene ikke skal bli påvirket av direkte sollys. Satellittene kan ikke måle temperaturen direkte, men registrerer infrarød stråling fra bakken og fra ulike høyder i atmosfæren. Ved å måle strålingen i et frekvensområde hvor atmosfæren har ubetydelig absorpsjonsevne, primært ved en frekvens på 6,9 GHz, dvs. en bølgelengde på ca. 4,5 cm, måles stråling som kommer fra bakken eller fra havoverflaten. Da strålingen er avhengig av temperaturen til strålingskilden (Plancks lov), kan bakkens eller havoverflatens temperatur bestemmes ved å analysere strålingsdataene som observeres. Det brukes da algoritmer til å omregne dette til atmosfæretemperatur. I stedet for å måle i det infrarøde området, kan man bruke mikrobølgemålinger. Det har den fordelen at mikrobølgene ikke absorberes av skyer.

Ved de fleste stasjonene måler man nå temperaturen hver time. Døgnmiddeltemperaturen defineres da som middelverdien av disse timesverdiene. Tidligere hadde man ofte bare maksimums- og minimumstemperatur. Med kompliserte formler beregnet man så døgnmiddeltemperaturen. Konstantene i disse formlene må justeres slik at de to metodene gir sammenfallende resultater. Fra døgnmiddeltemperaturene kan man beregne midlere månedstemperatur ved å ta middelverdien av døgntemperaturen for alle dagene i måneden. Videre kan man beregne midlere årstemperatur ved å ta middelverdien av månedstemperaturen for året. På tilsvarende måte kan man beregne middeltemperaturen for en hvilken som helst periode hvor man har registrert temperaturdata.

Middeltemperaturen for et område

I klimarapporten *World Climate* kan man finne temperaturen for bl.a. Oslo. Slik den er definert der, angir den midlere temperatur målt ved flere stasjoner i området. I dette tilfellet er området på ca. 111 km fra nord til syd, og ca. 57 km fra øst til vest. I dette området måles temperaturen ved fem stasjoner: Ferder fyr, Blindern, Fornebu, Gardermoen og Rygge. Den oppgitte temperaturen er middelverdien av temperaturen målt ved disse stasjonene. Dette tilsier at oppgitt temperatur for Oslo ikke behøver å være lik temperaturen for Blindern.

Variasjoner i temperatur

Temperaturen kan variere betydelig fra sted til sted. Noen ganger kan den variere sterkt over korte tidsrom. I tabellene 1 og 2 kan vi se noen eksempler på dette.

Tabell 1. Noen maksimumstemperaturer målt i °C.

Norge	36,6	Nesbyen	1970
Europa	48,5	Italia	1999
Asia	53,9	Israel	1942
Afrika	57,8	Libya	1922
Nord Amerika	56,7	Death Valley	1913
Syd Amerika	49,1	Argentina	1920
Australia	50,7	Odnadatta	1960
Antarktis	14,6	Vanda Station	1974

Tabell 2. Noen minimumstemperaturer målt i °C.

Norge	-51,4	Karasjok	1886
Europa	-58,1	Russland	1978
Asia	-68	Sovjet	1862
Afrika	-24	Marokko	1935
Nord Amerika	-66,1	Grønland	1954
Syd Amerika	-39	Argentina	1920
Australia	-25,6	New Zealand	1903
Antarktis	-89,2	Vostok	1983

Den raskeste temperaturstigningen er observert i Sør Dakota i 1943. Den var på 27 °C i løpet av to minutter. Den lengste perioden med temperatur på over 37,8 °C er 160 dager og fant sted i Marble Bar, Australia, 31/10 1923 til 7/4 1924.

Raskeste observerte temperaturfall er 27,2 °C på 15 minutter registrert i Sør Dakota i 1911. Denne korte oversikten viser at det er nødvendig å benytte middelverdier om en skal få et fruktbart måltall.

Beregning av globaltemperaturen

Vi skal nå skissere hvordan den globale middeltemperaturen beregnes. Vi tenker oss da et rutenett lagt over kloden. Størrelsen på rutene kan variere etter hvilken modell som brukes. En beregner så middelverdien av temperaturen (vanligvis månedsmiddeltemperaturen) for de stasjonene som befinner seg i ruten. For å beregne den midlere globale temperaturen tar man den midlere temperaturen for ruten og vekter den etter arealets størrelse og stasjonstettheten. Dess flere stasjoner en har innen et område, dess sikrere blir middeltemperaturen

for området. Det er derfor rimelig at områder med stor stasjonstetthet får større vekt enn ruter med liten tetthet. Når det gjelder havområdene benytter man to datakilder, registreringer fra skip eller bøyer, og målinger fra satellitter. Årlig middeltemperatur varierer sterkt fra sted til sted på kloden. Likevel gir denne metoden en fruktbar angivelse av temperaturforholdene.

Det er tre kjente miljøer i verden som arbeider med å beregne global middeltemperatur: *Met Office Hadley Centre and Climatic Research Unit* (Had, eller Had CRUT), *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) og *National Climatic Data Center* (NCDC). De tre miljøene baserer sine analyser på de samme dataene. Det er analysemetodene som varierer. Ser vi på resultatene beregnet ved disse tre miljøene, finner vi avviket i global middeltemperatur først ved 2. desimal, se tabell 3. Dette må sies å være forbausende bra.

Tabell 3. De 10 varmeste årene fra tre ulike datasett: Had, NCDC og GISS.

Rang	Had		NCDC		GISS	
	År	Anomali	År	Anomali	År	Anomali
1	1998	0,52	2010	0,52	2010	0,56
2	2010	0,50	2005	0,52	2005	0,55
3	2005	0,47	1998	0,50	2007	0,51
4	2003	0,46	2003	0,49	2009	0,50
5	2002	0,46	2002	0,48	2002	0,49
6	2009	0,44	2006	0,46	1998	0,49
7	2004	0,43	2009	0,46	2006	0,48
8	2006	0,43	2007	0,45	2003	0,48
9	2007	0,40	2004	0,45	2004	0,41
10	2001	0,40	2001	0,42	2001	0,40

I noen arbeider angis temperaturen i forhold til "normaltemperaturen". I meteorologisk sammenheng referer man ofte til normalverdier. Da snakker man om 30-års midler. Normalperioden er nå 1961–90. Neste normalperiode vil bli 1991–2020.

Det siste tiåret

I den senere tiden har det pågått en debatt om en kan avlyse faren for en klimaforandring som skyldes menneskelig aktivitet. Argumentet har vært at den globale temperaturen har avtatt. Dette skyldes kanskje mer ønsketenkning enn realitet. Den midlere globale temperaturen for 2010 er den høyeste, eller nest høyeste, som er registrert, avhengig av hvem som har utført analysen. Den høye temperaturen

for 1998 skyldes i stor grad et svært sterkt El Niño-utbrudd i Stillehavet (se Tillegg).

Også 2010 begynte med et El Niño-fenomen som har en oppvarmende effekt. Men El Niño-forholdet ble straks erstattet med et sterkt La Niña-fenomen – det mest markerte på mer enn 30 år – som har en avkjølende effekt. (Når det gjelder temperaturen i Stillehavet omkring og sør for ekvator, ser det ut til at den kan være i to tilstander: El Niño eller La Niña, som på en måte går over i hverandre. Dette avhenger av styrken på passatvinden og har virkning på klimaet over store deler av kloden.⁽¹⁾ Om temperaturen skulle ha en stigende trend, kan en ikke se bort fra kaldere år innimellom, da andre effekter kan være overlappet prosessene som gir en slik trend, for eksempel El Niño og La Niña, som kan gi et utslag på global temperatur av størrelsesorden $\pm 0,10$ °C. Figur 1 viser den siste oppdaterte framstillingen av globalt midlere temperaturavvik som funksjon av tid.

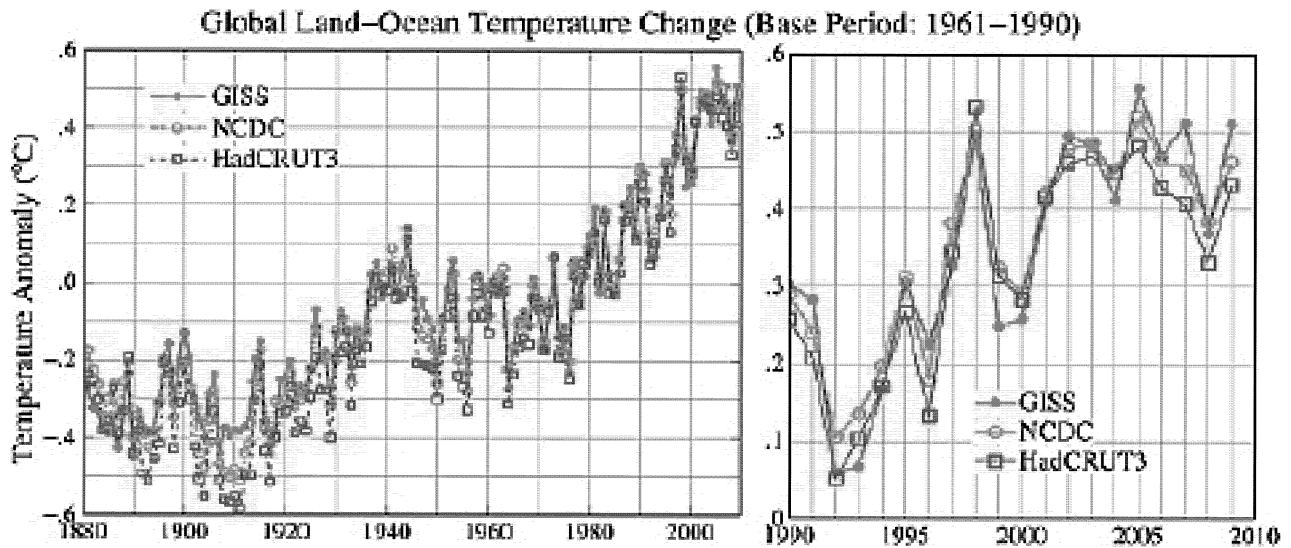
Forskjellen i måledataene mellom de tre seriene skyldes i stor grad ulik vekting av data fra Arktis. De 10 varmeste årene er de samme i alle tre datasettene, og de har alle funnet sted siden 1998.

Analysemetoden ved GISS

Vi har nevnt noen generelle trekk ved metodene som benyttes når en skal beregne den globale middeltemperaturen, eller forandringer i denne. For å være mer konkret skal vi her ta for oss noen særtrekk ved analysemetoden som brukes ved GISS når de skal beregne temperaturforandringer.⁽²⁾

Temperaturen kan variere sterkt fra sted til sted. Men dersom vi ser på avviket fra normaltemperaturen fra sted til sted, vil variasjonene bli mindre. For eksempel viser det seg at når New York City har en uvanlig kald vinter, vil Philadelphia også ha lavere temperatur enn vanlig. Temperaturavviket er differansen mellom den aktuelle temperaturen og normaltemperaturen. Derfor vil sesong- eller årlig temperaturavvik utgjøre et relativt glatt felt sammenlignet med selve temperaturfeltet. Dette benytter GISS i sine prosedyrer.

Undersøkelser viser at det er en korrelasjon mellom målt temperatur ved en stasjon og nærliggende stasjoner. Den midlere korrelasjonen har vist seg å være over 50 % over en avstand på opptil 1200 km ved de fleste breddegrader. GISS-analysen spesifiserer temperaturavviket ved en gitt posisjon som vektet middel av alle stasjoner lokalisert innenfor 1200 km fra punktet. De har latt vekten avta



Figur 1. GISS-, NCDC- og Had-anomalier i global overflatetemperatur for perioden 1880–2009. Avvikene er beregnet i forhold til temperaturen i basisperioden 1961–1990.⁽²⁾

lineært med avstanden med vekt 1 for en stasjon i punktet, til 0 for en stasjon i en avstand på 1200 km eller lengre fra punktet. Det betyr at en ekstrapolerer temperaturdataene til områder uten stasjoner innen rekkevidden på 1200 km.

Som nevnt bruker meteorologene en 30-års periode som normalperiode. I dag refererer man til 1961–1990 som normalperiode. Fra starten av avansert bruk av klimamodeller benyttet GISS 1951–1980 som basisperiode. For ikke å skape forvirring, sier GISS, har de fortsatt å bruke denne perioden som basisperiode.

GISS bruker månedlig midlere stasjonsdata som kommer fra *Global Historical Climatology Network, version 2* (GHCN). GHCN benytter data fra om lag 7 000 stasjoner. Det kan forekomme feil i slike data. Derfor vil alle data for månedlige middelerverdi som avviker mer fra klimatologisk middel enn 2,5 standardavvik bli forkastet.

Justering for urban påvirkning

En rekke dataserier fra ulike stasjoner kan være beheftet med ulike feil. Effekten av slike feil har en tendens til å være små da feilene gir både positive og negative bidrag. Måleresultatene for byer og tettsteder kan bli påvirket av lokalt energiforbruk og termisk forurensning som kan gi en kunstig høy temperatur.

GISS har benyttet to metoder for å lokalisere stasjoner der måleresultatene kan være utsatt for slike påvirkninger. Den ene metoden er basert på bruk av radiansdata, som er offentlig tilgjen-

gelige, for nattlys fra tettsteder. Ved å observere fra satellitter om natten, kan en lokalisere stasjoner i områder hvor mye energi brukes til opplysning. GISS har da valgt en nattlysradians på $32 \mu\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ som grenseverdi mellom urbane og rurale områder. En annen metode er å benytte populasjonskart og sette grensen for urbane områder ved en populasjon på 10 000 innbyggere. GISS har valgt den første metoden.

Stasjonsdata fra urbane områder justeres da ved å benytte data fra omliggende stasjoner. Dersom urbane stasjoner har minst tre rurale stasjoner innen en avstand på 500 km blir alle disse stasjonsdatane benyttet med størst vekt lagt på de som ligger nærmest. Dersom det ikke finnes tre stasjoner med avstand mindre enn 500 km, men tre eller flere innen en avstand på 1000 km, vil disse stasjonene bli benyttet til å justere de urbane stasjonsdataene. Figur 2 viser global årlig temperatur for de to metodene til å velge ut urbane stasjoner pluss resultater uten korrigering. En kan se at differansen mellom de tre kurvene er svært liten. GISS konkluderer med at termisk forurensning ikke bidrar med mer enn $0,01^\circ\text{C}$ til den midlere globale temperaturen. Fra januar 2010 har GISS bestemt at de skal benytte nattlysmålinger til å bestemme hvilke stasjonsdata som skal justeres.

Måling av havoverflatens temperatur

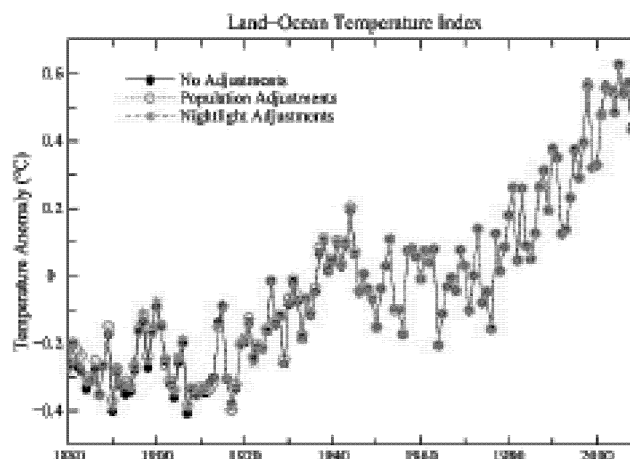
GISS bruker Hadley-senterets analyse for havoverflatens temperatur (HadISST1) for perioden 1880–1981. Disse dataene er basert på observasjoner

fra skip og bøyer. Fra 1982 er temperaturdataene basert på satellittmålinger som er kalibrert med data fra skip og bøyer. Satellittene i polarbaner har den fordel at de dekker store områder med regelmessige mellomrom. GISS benytter havtemperaturdata bare fra isfrie områder da de antar at disse dataene beskriver temperaturforandringer i atmosfæren over havet. Over områder med hav is blir temperaturene bestemt ut fra nærliggende landstasjoner, eller fra stasjoner på øyer. Dersom det ikke finnes noen stasjoner innen en rekkevidde på 1200 km, blir temperaturen udefinert.

GISS fant at oppvarmingen har økt fra tiår til tiår, i middel $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ per tiår. Økningen i 1990-årene var redusert til $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ på grunn av vulkanutbruddet på Mount Pinatubu (1991). Oppvarmingen er størst på land. Det er noe en kunne forvente på grunn av vannets store varmekapasitet. I siste tiår er oppvarmingen over noen kontinenter forsterket i forhold til den globale middelverdien omkring 50 % i USA, en faktor 2–3 over Eurasia og en faktor 3–4 over Arktis. Analyser viser at El Niño spiller en vesentlig rolle for temperaturen, og at det er en betydelig samvariasjon mellom global midlere månedstemperatur og styrken på El Niño-fenomenet.

Sammenligning av resultater fra GISS, NCDC og Had

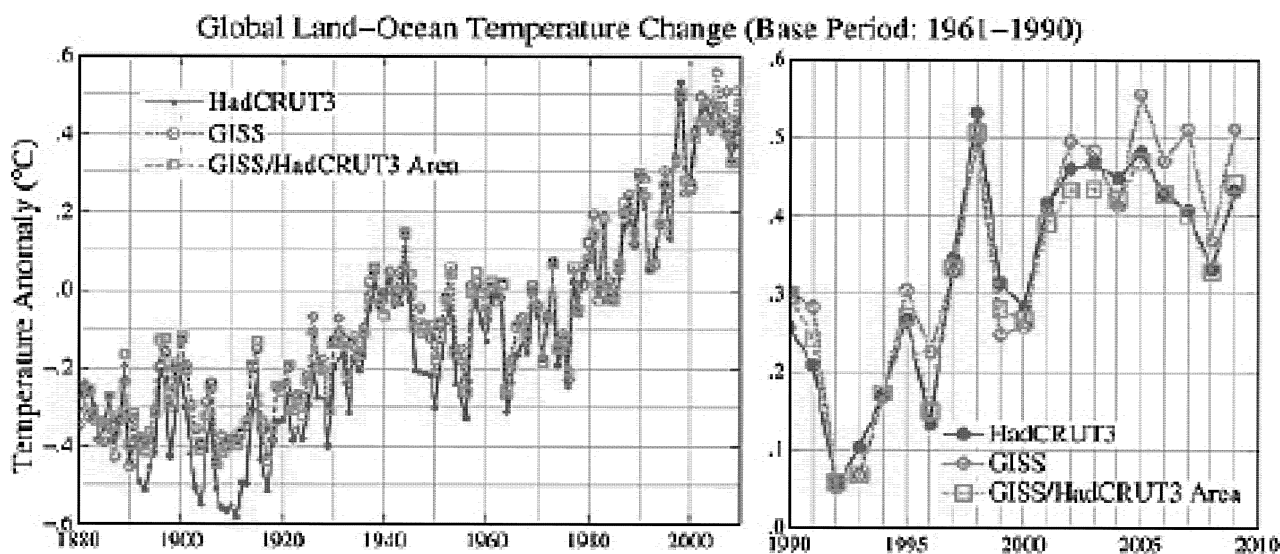
GISS holder 2010 for å være det varmeste året. Før 2010 holdt både GISS og NCDC 2005 for å være det



Figur 2. Beregnet global årlig midlere temperatur for land-hav uten korreksjon for termisk forurensning, og med de to metodene for korreksjon som er nevnt i teksten.⁽²⁾

varmeste, mens Had beregnet 1998 til å være det varmeste. Dette reiser et spørsmål om forskjeller i temperaturanalysene. Det er to faktorer som synes å være av spesiell betydning, 1) måten temperaturanomalierne blir ekstrapolert på eller ikke, inn i områder uten stasjoner, og 2) hvordan data fra havområdene blir anvendt.

Figur 3 sammenligner resultatene av analysen brukt ved de tre miljøene. Det som har fått stor oppmerksomhet i media er de ulike resultatene når det gjelder det varmeste året. Noe av årsaken er at Had-analysen ekskluderer mye av Arktis der oppvarmingen har vært sterk det siste tiåret, mens GISS og NCDC estimerer temperaturanomalier over størstedelen av Arktis. Forskjellen mellom



Figur 3. Anomalier i global overflatetemperatur relativt til basisperioden 1961–1990. Kurven merket GISS/HadCRUT3 Area viser resultatet av GISS-analysen når de begrenser seg til temperaturmålinger fra de samme områdene som HadCRUT3.⁽²⁾

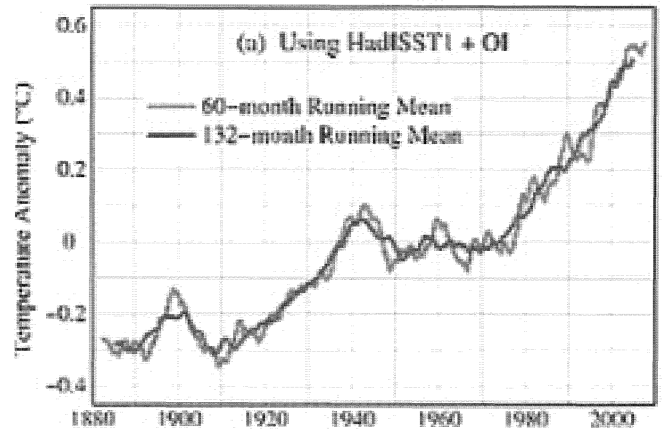
resultatene fra GISS og Had kan angis kvantitativt ved å begrense GISS-analysene til de områdene Had dekker. Resultatene er vist i figur 3. I dette tilfellet blir 1998 det varmeste året også i GISS-serien i samsvar med Had. Dette viser at forskjellen som har oppstått mellom GISS' og Hads globale temperatur det siste tiåret, skyldes primært at GISS-analysen er utvidet til områder som er utelatt av Had.

Variasjoner i vær og klimatrender

Folks oppfatning av klimaforandringer kan bli påvirket av værforholdene. Nord Amerika hadde en kjølig sommer i 2009. Vinteren 2009–2010 var svært kald på den nordlige halvkule. Det kalde været økte folks skepsis til påstanden om global oppvarming. Disse ekstreme regionale forholdene fant sted selv om juni, juli og august 2009 var nest varmest globalt sett etter de samme månedene i 1998. Likedan var desember, januar og februar 2009–2010 nest varmest etter tilsvarende måneder i 2006–2007. Slike variasjoner i værforholdene, som alltid kan oppstå, vil kunne påvirke folks holdninger til påstått global oppvarming.

Et problem forbundet med tidsserier av for eksempel global temperatur, er at en kan få ulike trender alt etter hvilke tidsavsnitt man velger. For å unngå korttidsfluktasjoner kan en foreta midlinger over tid. Et 12-måneders glidende middel gir mer informasjon enn vanlige kurver med kalenderårs midlere temperatur. Virkningen av vulkanutbrudd eller *Southern Oscillation*, kan da lettere identifiseres. Ved å benytte 5-års glidende middel kan en minimalisere effekten av El Niño og La Niña-fenomenene. Ved å bruke 11-års middel kan en minimalisere effekten av variasjoner i solutstrålingen over solflekkperiodene. Resultatet av temperaturberegninger ved nevnte glattingsmetoder er vist i figur 4 for to dataserier.

Vi ser at bortsett fra perioden 1940–1970, har den globale temperaturen steget jevnt fram til i dag. At den globale middeltemperaturen for 2010 skulle bli rekordhøy var uventet for mange. Storbritannia opplevde det kaldeste året siden 1986, og den kaldeste desember noen gang siden temperaturmålingene startet. (Da kan det være nyttig å være klar over at slike regionale fenomener bare dekker et lite område av jordas overflate). Denne kalde værtypen kan ikke forbindes med global avkjøling, men med et uvanlig sirkulasjonsmønster i atmosfæren som transporterte kald arktisk luft over Storbritannia og andre deler av Europa. Men for



Figur 4. Global land-havtemperaturløst beregnet av GISS med henholdsvis 5- og 11-års glidende middel. En får da glattet ut eventuelle virkninger av El Niño og varierende solaktivitet.⁽²⁾

store deler av verden var temperaturen høyere enn normalt. Den midlere temperaturen på den nordlige halvkule var den høyeste som noen gang er registrert med 0,69 °C over 1961–90-middelet.

Konklusjon

Vi har gitt en relativ enkel beskrivelse av hva vi legger i begrepet "global middeltemperatur". Beregninger av midlere global temperatur utført ved tre ulike miljøer viser god overensstemmelse. De største avvikene synes å skyldes ulik vektlegging av områdene i Arktis. Videre viser resultatene at termisk forurensning fra byområder har mindre betydning. Bortsett fra perioden 1944–1970 har temperaturen steget jevnt fra 1910 og fram til nå.

Tillegg

El Niño/La Niña og Southern Oscillation

I Stillehavet, nær kysten av Peru, kan en med noen års mellomrom observere store havområder med varmt vann. Den høye temperaturen kan vare i ett år eller mer. Det er særlig rundt juletider at den varme havstrømmen som ødelegger kystfisket for Peru, observeres. Dette "juletidetsfenomenet" har derfor fått betegnelsen El Niño (guttebarnet eller Jesus-barnet). Den "normale" situasjonen med kaldt næringsrikt vann, gir godt fiske.

Situasjoner med ekstra kaldt vann kalles La Niña (som betyr jente). Når det gjelder vanntempera-

turen i Stillehavet omkring og sør for ekvator, ser det ut til å være to tilstander: El Niño og La Niña som går over i hverandre.

Litt forenklet kan vi si at normaltstanden i Stillehavet betyr at passatvinden trekker med seg overflatevann fra øst mot vest. Det vil medføre at vannstanden blir ca. 40 cm høyere i den vestlige delen av Stillehavet enn i den østlige. Dermed oppstår det en trykkraft på vannet som peker østover. Når trykkraften blir sterkere enn vinddraget, strømmer det varme overflatevannet østover.

Det er en vekselvirkning mellom hav og atmosfære slik at atmosfæretrykket varierer med havtemperaturen. Det er denne varierende differensen i lufttrykket mellom den østlige og den vestlige delen av Stillehavet, som kalles *Southern Oscillation*.

Referanser

1. Thormod Henriksen og Ingolf Kanestrøm: *KLIMA Drivhuseffekt Energi*. Gyldendal Akademisk (2001)
Revidert 2011: Internett: <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/biofysikk/Klima.pdf>
2. J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato and K. Lo: *Global Surface Temperatur Change*. Rev. Geophys. **48**, RG 4004, pp 1-29 (2010) (Alle figurene er tatt fra denne artikkelen.)
3. J.D. Jones, M. New, D.E. Parker, S. Martin and I.G. Rigor: *Surface Air Temperature and its Changes Over the Last 150 Years*. Rev. Geophys. **37**, Vol.2, pp 173-199 (1999)

∞

Svein Rosseland – En vitenskapsmann i stjerneklassen

Per Ofstad *

Svein Rosseland (1894-1985) var professor i astronomi ved Universitetet i Oslo fra 1928 til 1964 og var en av verdens ledende astrofysikere i denne tiden. Han fikk etablert et Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet og bygget opp et aktivt miljø der. Rosseland mente at naturvitenskapelig forskning var en viktig faktor i samfunnsutviklingen og ble også en sentral person i utviklingen av forskningsråd og forskningsinstitutter i Norge. Vi vil se litt på hvordan hans spesielle karriere utviklet seg.

Svein Rosseland ble født i 1894 og vokste opp i Borgstova i Vikøy, Hardanger. Det var i denne stuen at Adolph Tiedeman i 1843 malte "Haugianerne". Maleriet henger i Nasjonalgalleriet og er et av Norges nasjonalklenodier.

Svein var den yngste av ni barn i familien til Isak og Ragna Rosseland og vokste opp i trange kår. Etter folkeskolen var han i noen år gårdsarbeider, og

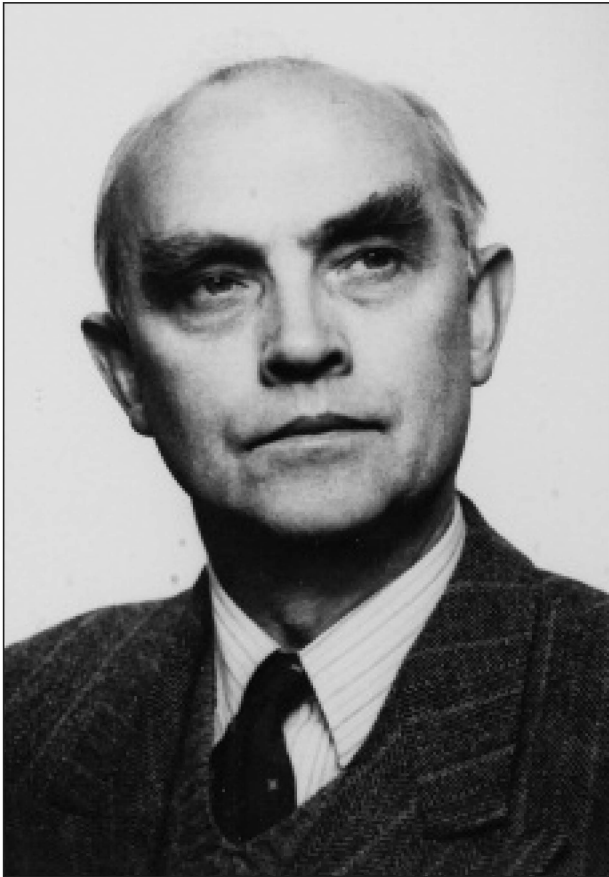
han arbeidet også på en sardinfabrikk i Haugesund. Han viste stor interesse for språk og matematikk. Hans folkeskolelærer oppfordret ham til å ta videre utdannelse, og han sørget også for noe økonomisk støtte til ham.

Etter en tid på middelskolen på Voss i 1914, dro Svein til Haugesund, hvor han fikk bo hos sin søster. Der tok han, som privatist, middelskoleeksamen og deretter eksamen artium i 1917 med beste karakter. Han var da blitt 23 år og hadde dårlig tid til å nå sine drømmers mål. Han ville bli vitenskapsmann, og astronomien hadde forlenget fanget hans interesse.

Svein Rosseland dro til Universitetet i Oslo høsten 1917, og etter tre semestre hadde han tatt forberedende prøve i filosofi og astronomi bifag i tillegg til å studere matematikk. Han kunne imidlertid ikke fortsette studiene uten inntekter.

Kristine Bonnevie, den første kvinnelige professor ved UiO, ble oppmerksom på den begavede studenten fra Hardanger. Hun skrev til sin svoger Wilhelm Bjerknes i Bergen, og anbefalte ham å ta imot Svein Rosseland som assistent.

* Universitetet for Miljø og Biovitenskap (UMB)



Figur 1. Svein Rosseland i 60-årene.

Bjerknes var en forsker på internasjonalt toppnivå. Han hadde i 1917 kommet hjem fra et profesorat i geofysikk i Leipzig og fikk rikelige forskningsmidler fra Carnegie Institute til sitt arbeid med å legge grunnlaget for den moderne værvarsling og etablere "Bergen School of Meteorology". Sammen med Tor Bergeron og Halvor Solberg, bygget han opp et fremragende forskningsmiljø i Bergen.

Rosseland fikk jobb som assistent for Bjerknes på nyåret 1919. I dette miljøet fikk han rikelig anledning til å bygge opp sin forståelse av sentrale områder av fysikken. Mekanikk, hydrodynamikk og termodynamikk er grunnlaget i de fysiske modellene for atmosfæren. Rosseland utviklet her sine matematiske kunnskaper og fikk innsikt i hvordan man utvikler kompliserte modeller.

Hos Niels Bohr i København (1920-24)

Allerede etter ett år, 27 januar 1920, skriver Vilhelm Bjerknes til Niels Bohr i København. Bjerknes hadde sett at Rosselands interesse lå i astrofysikken og mente at miljøet rundt Bohr ville være

det rette sted for ham. Bohr svarte at han hadde hørt om Rosseland og sa at han kunne komme til ham høsten 1920. Ting hadde utviklet seg hurtig for Svein Rosseland siden han tok artium tre år tidligere. Nå skulle han reise til "smørøyet" for den moderne fysikk, Niels Bohr Institutet i København, og han var klar for nye utfordringer. Niels Bohr hadde skaffet ham stipendium fra Carlsberg-fondet og fra Rask-Ørsted-fondet. Bohr fikk Nobelprisen i fysikk i 1922 mens Rosseland var i København.

Det utviklet seg et vennskskapsforhold mellom Rosseland og Bohr som varte til Bohr døde i 1962. Ifølge den svenske fysikeren Oskar Klein var Bohr tidlig klar over "Rosselands vitenskapelige begavelse og var tiltrukket av hans noe skarpe, men fundamentalt vennlige og hjelpsomme personlighet". Bohr inviterte Rosseland til en 14-dagers tur i Alpene, og der ble fremtidige planer for Rosseland grundig diskutert.

Bohr var mange ganger i Norge, og han likte godt å gå på ski. En gang tidlig på 30-tallet hadde Rosseland invitert Bohr og hans familie til jul i Norge. Da de ankom viste det seg at også den russiske fysikeren George Gamow dukket opp. Han var på den tiden i København. Bohr og Rosseland skulle på skitur, og Rosseland spurte Gamow om han kunne gå på ski. Ja, svarte Gamow. – Dette resulterte i en uke på sykehus i Oslo med brukket ben, for ham.



Figur 2. Niels Bohr og Svein Rosseland i Alpene, 1924.

Fra Fysikkens Verden

73. årgang
2011

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 2011

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 2011

Nr. 1:

Fra Redaktørene	2
<i>Øyvind G. Grøn</i>	
FFV Gratulerer	2
Tor Jakobsen 80 år	
<i>S. O. Sørensen og K. M. Danielsen</i>	
Jan Trulsen 70 år	
<i>Hans Pécseli og Egil Leer</i>	
In Memoriam	4
Jan Frøyland (1940–2011)	
<i>Hallstein Høgåsen og Jan Olav Eeg</i>	
Nytt fra NFS	5
Fysikermøtet 2011	
<i>Morten Hjort-Jensen</i>	
Helsebringende protoner	6
<i>Jan Folkvard Evensen</i>	
Atmosfærens drivhuseffekt – enkel modell	12
<i>Ingolf Kanestrøm og Thormod Henriksen</i>	
Indeks FFV 2010	17
Astronomi og klima – Del I	
Planetene og månen dirigerer jordas klima	
<i>Jan-Erik Solheim og Ole Humlum</i>	
21	
Nøytrinoer og galakser	
<i>Øystein Elgarøy og Øyvind Grøn</i>	
27	
Hva skjer	
29	
Vellykket år for LHC	
<i>Bjarne Stugu</i>	
Bokomtaler	30
Graham Farmelo: The Strangest Man:	
The Hidden life of Paul Dirac, Quantum Genius.	
Faber and Faber Ltd. 2009.	
<i>Jan Folkvard Evensen</i>	
Roger Penrose: Cycles of Time.	
An Extraordinary New View of the Universe.	
The Bodley Head, 2010.	
<i>Henning Knutsen</i>	
Stephen Hawking og Leonard Mlodinow:	
The Grand Design.	
Bantam Press, 2010.	
<i>Hugo Parr</i>	
Nytt fra NFS	33
Nye medlemmer	
Trim i FFV	34

Nr. 2:

Fra Redaktørene	38
<i>Marit Sandstad</i>	
FFV Gratulerer	38
Randersprisen til Mogens H. Jensen	
<i>Arne T. Skjeltorp</i>	
Fysikknytt	39
To relativistiske effekter bekreftet	
<i>Øyvind Grøn</i>	
Stråling og kreft	40
<i>Thormod Henriksen</i>	
Radioaktive utslipp og helse	46
<i>Thormod Henriksen</i>	
Ulykker og kjernekraft – Fukushima	49
<i>Jon Samseth</i>	
Dirigerer planetene jordas klima?	54
Omstridt hypotese består ikke enkle tester	
<i>K. Rypdal, B. Kozelov og T. Živković</i>	
Talboteffekt med røntgenstråling	59
<i>Dag W. Breiby og Emil J. Samuelsen</i>	
Ein materialegenskap	63
som kan være normal, gigantisk eller kolossal	
<i>Emil J. Samuelsen</i>	
Hva skjer	67
Fysikkolympiaden 2011	
<i>Carl Angell</i>	
Kommentar:	68
Strålebehandling av kreft –	
et eksempel fra pionértiden	
<i>Olav Holt</i>	
Nye Doktorer	62
PhD Krister Mangersnes	
PhD Marit Dalseth Riktor	
PhD Heidi Kristine Toft	
Trim i FFV	61

Nr. 3:

Fra Redaktørene	74
<i>Øyvind Grøn</i>	
FFV Gratulerer	74
Arne T. Skjeltorp 70 år	
<i>Geir Helgesen og Bjørn Hauback</i>	
Fysikknytt	76
Nøytrinoer med overlyshastighet?	
<i>Øyvind Grøn</i>	
Nytt fra NFS	77
Fysikermøtet 2011	
<i>Per Osland</i>	
Hva skjer	78
Fysikkolympiaden 2011	
<i>Øyvind Guldahl</i>	
Landskonferanse om fysikkundervisning 2012	
<i>Carl Angell</i>	
Bestyrere av Det Fysiske Cabinet –	
Forløperen til Fysisk institutt i Oslo	
<i>Bjørn Pedersen</i>	80
Fra kjernefysikk i 1950-årene	
til IT-utvikling i 1970-årene	
<i>Rolf Nordhagen</i>	87
Radon og lungekreft	
<i>Thormod Henriksen</i>	92
Finnes det sterile nøytrinoer?	
<i>Jostein Riiser Kristiansen</i>	98
Kommentar	102
Radioaktive utslipp og helse	
<i>Jan Folkvard Evensen</i>	
Fra Fysikkens Historie	103
Eratosthenes	
<i>Henning Knutsen</i>	
Bokomtaler	104
C. Angell, B. Bungum, E.K. Henriksen,	
S.D. Kolstø, J. Persson og R. Renstrøm:	
Fysikdidaktikk.	
Høyskoleforlaget, 2011.	
<i>Svein Lie</i>	
Nils H. Fløttre:	
Glimt fra kjemiens og fysikkens historie.	
Kolon forlag, 2011.	
<i>Bjørn Pedersen</i>	
Nye Doktorer	106
PhD Tatjana Zivkovic	
Trim i FFV	106
Nytt fra NFS	107
Nye medlemmer	

Nr. 4:

Fra Redaktørene	110
<i>Marit Sandstad</i>	
FFV Gratulerer	94
Heder og takk til Martin Landrø	
<i>Per Osland</i>	
Fysikknytt	111
Hint av Higgspartikkelen	
<i>Per Osland</i>	
Nye grunnstoffer	
<i>Øyvind Grøn</i>	
Nobelprisen i fysikk 2011	
<i>Øyvind Grøn</i>	112
Kommentar	114
Akselererende univers – En nordmann var først!	
<i>Rolf Stabell</i>	
Var tungtvannssaksjonene i Norge berettiget?	
<i>Hans Christoffer Børresen</i>	116
Vatn i nanorør	
<i>Emil J. Samuelsen</i>	124
Tvillingene og Universet	
<i>Øyvind Grøn</i>	128
Tegn til mørk materie?	
<i>Øyvind Grøn</i>	132
Kosmiske observasjoner bekrefter relativitetsteorien	
<i>Øyvind Grøn</i>	135
Bokomtale	137
Pål Brekke: Vår livgivende stjerne SOLA.	
Nordlyssenteret, 2011.	
<i>Oddbjørn Engvold</i>	
Nytt fr NFS	138
IUPAP	
<i>Per Chr. Hemmer</i>	
Nye medlemmer	
Trim i FFV	139

Forfatterregister 2011

- Angell, Carl:*
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2011 67
- Angell, Carl:*
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2010 – i Zagreb 85
- Angell, C., Grimenes, Hetland og Trudeng:*
Hva skjer: Landskonferansen om fysikkundervisning .. 78
- Breiby, Dag W. og Emil J. Samuelsen:*
Talboteffekt med røntgenstråling 59
- Børresen, Hans Christoffer:*
Var tungtvannssaksjonene I Norge berettiget? 116
- Elgarøy, Øystein og Øyvind Grøn:*
Nøytrinoer og galakser 27
- Engvold, Oddbjørn:*
Bokomtale: Pål Brekke: Vår livgivende stjerne SOLA.
Nordlyssenteret, 2011 137
- Evensen, Jan Folkvard:*
Helsebringende protoner 6
- Evensen, Jan Folkvard:*
Bokomtale: Graham Farmelo: The Strangest Man:
The Hidden Life of Paul Dirac, Quantum Genius.
Faber and Faber Ltd. 2009. 30
- Evensen, Jan Folkvard:*
Kommentar: Radioactive utslipp og helse 102
- Grøn, Øyvind G.:*
Fra Redaktørene 2
- Grøn, Øyvind G.:*
Fysikknytt: To relativistiske effekter bekreftet 39
- Grøn, Øyvind G.:*
Fra Redaktørene 74
- Grøn, Øyvind:*
Fysikknytt: Nøytrinoer med overlyshastighet? 76
- Grøn, Øyvind:*
Fysikknytt: Nye grunnstoffer 111
- Grøn, Øyvind G.:*
Nobelprisen i fysikk 2011 112
- Grøn, Øyvind G.:*
Tvillingene og Universet 128
- Grøn, Øyvind G.:*
Tegn til mørk materie? 132
- Grøn, Øyvind G.:*
Kosmiske observasjoner bekrefter relativitetsteorien . 135
- Guldahl, Øyvind:*
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2011 78
- Helgesen, Geir og Bjørn Hauback:*
FFV Gratulerer: Arne T. Skjeltorp 70 år 74
- Hemmer, Per Chr.:*
Nytt fra NFS: IUPAP 138
- Henriksen, Thormod:*
Stråling og kreft 40
- Henriksen, Thormod:*
Radioaktive utslipp og helse 46
- Henriksen, Thormod:*
Radon og lungekreft 92
- Hjort-Jensen, Morten:*
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2011 5
- Holt, Olav:*
Kommentar: Strålebehandling og kreft 68
- Høgåsen, Hallstein og Jan Olav Eeg:*
In Memoriam: Jan Frøyland (1940-2011) 4
- Knutsen, Henning:*
Bokomtale: Roger Penrose: Cycles of Time.
An Extraordinary New View of the Universe.
The Bodley Head, 2010 30
- Kanestrøm, Ingolf og Thormod Henriksen:*
Atmosfærens drivhuseffekt – enkel modell 12
- Knutsen, Henning:*
Fra Fysikkens Historie: Erathostenes 103
- Kristiansen, Jostein Røiser:*
Finnes det sterile nøytrinoer? 98
- Lie, Svein:*
Bokomtale: C. Angell, B. Bungum, E.K. Henriksen,
S.D. Kolstø, J. Persson og R. Renstrøm:
Fysikkdidaktikk. Høyskoleforlaget, 2011. 104
- Nordhagen, Rolf:*
Fra kjernekræft i 1950-årene
til IT-utvikling i 1970-årene 87
- Osland, Per:*
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2011 77
- Osland, Per:*
FFV Gratulerer: Heder og takk til Martin Landrø 94
- Osland, Per:*
Fysikknytt: Hint av Higgs-partikkelen 111
- Parr, Hugo:*
Bokomtale: Stephen Hawking og Leonard Mlodinov:
The Grand Design. Bantam Press, 2010. 30
- Pećeli, Hans og Egil Leer:*
FFV Gratulerer: Jan Trulsen 70 år 2
- Pedersen, Bjørn:*
Bestyrere av Det Fysiske Cabinet –
Forløperen for Fysisk institutt i Oslo. 80
- Pedersen, Bjørn:*
Bokomtale: Nils H. Fløttre:
Glimt fra kjemiens og fysikkens historie.
Kolon forlag, 2011. 104
- Rypdal, K., B. Kozelov og T. Živković:*
Dirigerer planetene jordas klima?
Omstridt hypotese består ikke enkle tester 54
- Samseth, Jon:*
Ulykker og kjernekræft – Fukushima 49
- Samuelsen, Emil J.:*
Ein materialeegenskap som kan vere
normal, gigantisk eller kolossal 63
- Samuelsen, Emil J.:*
Vatn i nanorør 124
- Sandstad, Marit:*
Fra Redaktørene 38
- Sandstad, Marit:*
Fra Redaktørene 110
- Skjeltorp, Arne T.:*
FFV Gratulerer: Randersprisen til Mogens H. Jensen 38
- Solheim, Jan-Erik og Ole Humlum:*
Astronomi og klima - Del I
Planetene og månen dirigerer jordas klima 21
- Stabell, Rolf:*
Kommentar: Akselererende univers -
En nordmann var først! 114
- Stugu, Bjarne:*
Hva skjer: Vellykket år for LHC 29
- Sørensen, S.O. og K.M. Danielsen:*
FFV Gratulerer: Tor Jacobsen 80år 2

Da Rosseland kom til København møtte han en rekke forskere på høyt nivå. Noen av dem var der i lengre perioder, andre kom innom på kortere besøk. Særlig god kontakt fikk han i den første tiden med den tyske fysikeren James Frank, Oskar Klein og hollenderen Hans Kramers.

James Frank og Gustav Hertz hadde i 1913 gjennomført et stort og banebrytende eksperiment med kollisjoner mellom elektroner og atomer. I tillegg til elastiske kollisjoner hvor atomene ikke forandrer sin indre energitilstand, forekommer også uelastiske kollisjoner hvor en del av elektronets bevegelsesenergi går med til å eksitere atomet. Frank og Hertz målte energien til disse elektronene og observerte at energitapet svarte nettopp til deeksitasjonsenergier som Bohrs modell for atomer ga. Dette var en bekreftelse på Bohrs atommodell. Frank og Hertz ble belønnet med Nobelprisen i fysikk i 1925 for dette eksperimentet.

Rosselands første publikasjon

Rosseland og Klein diskuterte hva som skjedde ved slike uelastiske kollisjoner. Klein sa senere i et intervju at Rosseland nærmest ropte ut: "Hva med temperaturen?" Det ble nøkkelen til deres videre arbeid. Problemet er at elektrongassen blir avkjølt. Noen av elektronene blir langsommere, og det forstyrrer den termodynamiske likevekten i avlukket. Da dette strider mot entropiloven, trakk de den slutning at det også måtte forekomme uelastiske kollisjoner av en annen type slik at elektronet mottar energi fra et eksitert atom, og at atomet returnerer til en lavere tilstand uten å stråle ut noen energi. Atomene gir sin eksitasjonsenergi til elektronet som dermed får øket sin bevegelsesenergi. Dermed opprettholdes den termodynamiske likevekten. At dette var riktig ble bekreftet av senere eksperimenter. Kollisjoner av 2. grad, som fenomenet ofte blir kalt, er av stor betydning innen kjemi og da særlig ved katalysatorer. I dag kalles dette deeksitasjon ved støt. Publikasjonen, som var Rosselands første, kom med Klein og Rosseland som forfattere i *Zeitschrift für Physik* i mars 1921.⁽¹⁾

Rosseland hadde gode betingelser i København og kunne også reise til andre viktige miljøer. Det var jo astrofysikk som var hans hjertebarn, og derfor besøkte han Ejnar Hertzsprung i Leiden, en av tidens ledende astronomer.

Professor Paul Ehrenfest var en sentral person i miljøet i Leiden. Han organiserte en rekke sammenkomster med de fremste fysikere, astrofysikere

og kosmologer i sitt hjem i Leiden. Professor Willem de Sitter, en av de store kosmologer, og Albert Einstein, som var "deltidsprofessor" i Leiden, deltok ofte i disse møtene.

Bohr skriver i et brev, datert 15. juli 1922, til Kramers: "*I just had a letter from Rosseland. He is very comfortable in Leiden, where he stays with Hertzsprung. He is very energetically making calculations on the radiation equilibrium in stars, and he discusses it with Ehrenfest and Einstein. Also he tells that he has had some progress with the stationary Calcium lines in certain B-stars.*"

Professor A.S. Eddington var også til stede i Leiden i juli 1922, og han inviterte Rosseland til et møte i *Royal Astronomical Society in London* samme høst. Eddington ble verdensberømt for den første bekreftelsen på Einsteins relativitetsteori ved å måle lysets avbøyning i solens gravitasjonsfelt ved solformørkelsen i 1919. Han populariserte relativitetsteorien i en glimrende bok som fikk meget stor utbredelse: "*Space Time and Gravitation.*"⁽²⁾ Han skrev også et av de første store standardverkene om relativitetsteorien: "*The Mathematical Theory of Relativity.*"⁽³⁾

Eddington skriver om sitt første møte med Rosseland i London: "*We discussed the cosmic cloud (which, by the way, had not then been discovered). We reached no conclusion because by the end of our discussion I was defending the view with which he had originally started and he was supporting the theory which I had begun.*" Dette var den spede begynnelsen til et nytt forskningsfelt, studiet av det interstellare medium, som i løpet av noen tiår kom til å spille en fundamental rolle i astrofysikken.

Fremragende forskning ved Mount Wilson (1924–1926)

Rosseland fikk, med god hjelp fra Bohr, et stipendium fra Rockefeller Foundation til et opphold i USA. Før han dro dit giftet han seg med Ragna Michelsen som han kjente fra tiden i Haugesund. I august 1924 reiste de sammen til Mount Wilson-observatoriet i California, hvor de tilbrakte de neste to årene. Observatoriet lå på Mount Wilson, mens kontorene hvor Rosseland arbeidet var i Pasadena. Sønnen Hallvard ble født i California.

På denne tiden gjorde Edwin Hubble, som hadde verdens største teleskop til rådighet, den revolusjonerende oppdagelse at Andromedagalaksen lå langt utenfor vår egen galakse.

I dette fruktbare forskningsmiljøet blomstret Rosseland og kom med en rekke banebrytende arbeider på forskjellige områder av astrofysikken. Dette var arbeider som bragte ham i første rekke blant de store astrofysikerne. Et av de viktigste bidragene var om teorien for støt- og strålingsoverganger når det ikke er termodynamisk likevekt. Denne teorien var viktig for forståelsen av det interstellare medium og for dannelsen av de sterkeste spektrallinjene i solens og stjernenes atmosfærer. Hans mest siterte arbeid var imidlertid om absorpsjon i stjernenes indre. "Rosselands absorpsjonskoeffisient" ble sentral i utviklingen av stjernemodeller.⁽⁴⁾

I 1926 kom Eddington med boken: "The Internal Constitution of the Stars".⁽⁵⁾ Denne ble det første standardverket for det nye fagområdet, astrofysikk. Rosseland fikk i oppdrag å skrive anmeldelse på boken i tidsskriftet "Nature".

På denne tiden visste man ikke hvordan stjernene fikk generert nok energi til å dekke den enorme utstrålingen som skal være stabil over mange millioner år. Eddington mente at kollisjoner mellom fire protoner i det ca. 10 millioner graders kjerneområdet kunne danne en heliumkjerne og om-danne restmassen til energi ved $E = Mc^2$. En rekke fysikere protesterte og mente at temperaturen var altfor lav. Eddingtons svar var typisk og noe arrogant: "We do not argue with the critic who urges that the stars are not hot enough for this process; we tell him to find a hotter place."

Eddington hadde rett. I 1928 kom George Gamow med sin kvantemekaniske "tunneleffect". Dette løste problemet med den lave temperaturen.

Tilbake til Norge og utnevnelse til professor

Høsten 1926, etter to faglig imponerende år i Pasadena, dro Rosseland med familie tilbake til Norge. Da var det klart at stillingen etter professoren i astronomi, Jens Fredrik Schroeter, ville bli ledig, og kampen om stillingen var i gang. Rosseland startet med å supplere sin bakgrunn i astronomi, som var bifag fra 1918, med å disputere for dr.philos.-graden med et arbeid om stjernenes indre. Han søkte stillingen og vedla sine imponerende arbeider i tillegg til sterke uttalelser fra Bohr, Eddington og Frank. Dette var tungt "skyts", men hans "akilleshæl" var at han ikke hadde publisert noe innenfor klassisk astronomi. Dette skapte problemer i komiteen som skulle bedømme søkerne i forhold til

utlysningsteksten. Rosseland fikk imidlertid stillingen og holdt sin tiltredelsesforelesning 21. mars 1928.

Det var kummerlige forhold ved Universitetet i Oslo på den tiden, og Rosseland følte at han var i en faglig bakevje. Astronomien holdt til i det gamle Observatoriet hvor arbeidsforholdene var dårlige.

Rosseland fikk permisjon til å dra tilbake til USA i 1930, denne gangen som "visiting professor" ved Harvard University. Her fikk han utmerkede arbeidsforhold i et faglig rikt miljø. På Harvard var de så fornøyd med Rosseland at de tilbød ham stillingen som "Wilson-Professor ved Harvard Observatory" og rikelig med forskningsmidler. Dette satte Rosseland i knipe. Hans store ønske og plan var å bygge opp et Institutt for teoretisk astrofysikk i Norge etter modell av det Bohr hadde fått til i København.

Rosseland visste godt at dette var en tung vei å gå. Nå kunne han jo bare si ja, og fortsette sin forskningskarriere ved Harvard. Heldigvis stilte "alle" hjemme i Norge opp for ham, og det var ingen misunnelse å spore i det naturvitenskapelige fagmiljøet. – Rosseland valgte å bli i Norge.

Universitetet i Oslo, med rektor Sem Seland i spissen, var kreative. En del av den store og verdifulle observatorietomten ved Solli plass ble solgt, og "Observatoriefondet" ble opprettet. Dermed hadde man økonomiske ressurser til å få til et brukbart astrofysisk institutt selv om formålet med fondet primært var å bygge et nytt observatorium. Sol-observatoriet på Harestua kom 25 år senere.

Institutt for teoretisk astrofysikk blir en realitet

I 1930 var man i full gang med planene om å bygge ut Universitetet på Blindern, og Rosseland gikk straks i gang med å få realisert sin drøm om et *Institutt for teoretisk astrofysikk*, det første i verden. Han fikk entusiastisk støtte fra Universitetet, og en rekke internasjonale stjerner som Bohr og Eddington, ga full støtte til prosjektet. Det ble søkt Rockefeller Foundation om midler til hus og instrumenter.

De amerikanske miljøene hjalp til for at Rosseland skulle få gode arbeidsforhold i Norge til å videreutvikle astrofysikken. Han ville ha et rikere miljø ved det nye instituttet. Da var det naturlig å trekke inn de nærliggende fagområdene innen geofysikk. Professor Carl Størmer med sin nordlys-

forskning, og Vilhelm Bjerknes som hadde flyttet fra Bergen til Universitetet i Oslo i 1926, ble en del av miljøet ved det nye instituttet. Begge disse var anerkjente forskere på sine områder. I tillegg til disse var meteorologen Halvor Solberg med i miljøet. Dette ga *Institutt for teoretisk astrofysikk* ytterligere prestisje.



Figur 3. Personale ved Institutt for teoretisk astrofysikk i slutten av 1930-årene. Sittende fra venstre: professorene Halvor Solberg, Carl Størmer, Vilhelm Bjerknes og Svein Rosseland.

Den rikelige bevilgningen fra Rockefeller Foundation på 105 000 \$ dekket både oppføringen av den vakre funkisbygningen for instituttet og 15 000 til instrumenter. Rosseland fikk en stor og standsmessig leilighet med egen inngang, i den øverste delen av bygningen (se forsidebildet). Bygningen, som senere er blitt kalt "Svein Rosselands hus", ble innviet i 1934, og en rekke utenlandske forskere besøkte instituttet i kortere eller lengre perioder. En av dem var den tyske astrofysikeren Martin Schwarzschild som arbeidet med bestemmelsen av pulseringsperioden for variable stjerner.

Differensialanalysatoren, en kraftig regnemaskin

Rosseland var også opptatt av variable stjerner. De representerte et annet "eksperiment" fra naturens side enn stabile stjerner og kunne gi oss ny erkjennelse hvis vi kunne utvikle tilfredsstillende modeller for dem. Til å lage modeller for variable stjerner trengte Rosseland et kraftig verktøy, en differensialanalysator. Han dro derfor til MIT (Massachusetts Institute of Technology) og studerte analysatoren til Vannesar Bush grundig, og utviklet selv en større og forbedret versjon av denne. Rosseland la ned

mye arbeid på dette og brukte en stor del av utstyrsmidlene fra Rockefeller Foundation.

Denne teknologien, en mekanisk analogmaskin, hadde imidlertid store begrensninger med hensyn til nøyaktighet. Den var sårbar for mekaniske feil, den hadde begrenset kapasitet og det var komplisert å "sette den opp" for et nytt problem. Dette var nå en døende teknologi, for det begynte å bli klart at programmerbare digitale elektroniske datamaskiner ville overta.

Schwarzschild, og senere belgieren Paul Ledoux, benyttet Rosselands maskin til sine arbeider, og Rosseland skrev en artikkel i "*Die Naturwissenschaften*" med beskrivelse av maskinen. I denne anledning fikk han i 1939 besøk av Paul Rosbaud som var vitenskapelig rådgiver for Springer-Verlag. Rosbaud var meget godt orientert om de vitenskapelige miljøer og en personlig venn av flere av verdens fremste vitenskapsmenn. Det var han som i all hast fikk publisert Otto Hahns artikkel om kjernespaltingen i "*Die Naturwissenschaften*" i 1939, som skapte så stor furore i kjernefysikkmiljøene verden over. Atombomben begynte nå å spøke.

Rosseland ville også popularisere vitenskapen og skrev derfor "Stjernehimmelen, dens bygning og utviklingshistorie,"⁽⁶⁾ og "Jorda og Universet",⁽⁷⁾ to bøker som ble svært populære. I tillegg holdt han mange foredrag rundt om i landet og en rekke radioforedrag. I 1938 tok Rosseland initiativet til dannelsen av "Norsk Astronomisk Selskap" som fremdeles lever i beste velgående.

Kontroverser mellom astrofysikere

Rosseland hadde en omfattende korrespondanse både med de fremste vitenskapsmenn og med mange nordmenn som var interesserte i astronomi. Han var meget språkmektig og korresponderte på tysk, engelsk og fransk med personer fra forskjellige nasjoner. De to fremste astrofysikerne i England, A.S. Eddington og Edward A. Milne ved Manchester University, hadde røket ut i en faglig uoverensstemmelse, og begge skrev til Rosseland og beklaget seg over at den andre tok feil, eller ikke forstod. Rosseland avskydde konflikter, men svarte begge på en hyggelig måte.

I mars 1935 fikk Rosseland brev fra den indiske astrofysikeren Subrahmanya Chandrasekhar, som skrev om sin kontrovers med Eddington. Chandrasekhar hadde funnet ut at ikke alle stjerner vil utvikle seg til hvite dverger, slik den vanlige oppfatningen var den gang. Hvis massen oversteg en

grense ville selv en hvit dvergstjerne ikke greie å holde igjen mot tyngdekraften, og den ville dermed bryte sammen.

Chandrasekhar hadde sendt sin avhandling for presentasjon til Royal Society, hvor Eddington var sekretær. Uten å si noe sendte også Eddington inn en avhandling om samme tema. Denne avhandlingen var veldig kritisk til Chandrasekhars arbeid. Chandrasekhar hadde rett, men arbeidet hans kom i bakgrunnen. I brevet til Rosseland beskriver Chandrasekhar uenigheten og viser til at få er villige til å stå opp mot Eddington. Rosseland gjør det heller ikke, og skriver: *"I was very glad to have your interesting letter of May 13 on the theory of degenerate stars. Personally I do not like to take part in what, accordingly to the Irishmans definition, must be regarded as a private English fight. But it is interesting to watch the game from a safe distance."* Chandrasekhar fikk Nobelprisen i fysikk i 1983, mye på grunn av dette arbeidet.

Rosselands tre store arbeider

I 1930 kom *"Handbuch der Astrophysik"* fra Springer-Verlag. I den skrev Rosseland en avdeling på vel 120 sider om *"The principles of Quantum Theory."*⁽⁸⁾ Den hadde flere originale bidrag og fikk stor betydning for tidens astrofysikere. Utgivelsen av *"Handbuch"* ble forsinket flere ganger, og Rosseland var ergerlig fordi det i denne tiden kom flere publikasjoner om dette emnet. Han ville ha vært av de aller første på dette temaet hvis Springer hadde vært raskere. Året etter publiserte Springer-Verlag også Rosselands bok: *"Astrophysik auf Atomteoretischer Grundlage."*⁽⁹⁾

I 1935 kom Rosselands store verk *"Theoretical Astrophysics"* ut på Oxford forlag i serien *"Monographs on Physics."*⁽¹⁰⁾ Her var Ralph H. Fowler og Pyotr L. Kapitza redaktører. Dette ble et standardverk for en hel generasjon astrofysikere. I forordet står det: *"This volume contains what may be called the birds-eye view of our knowledge of stellar atmospheres, projected on to atomic physics as a background."*

Henry Margenau skrev anmeldelsen av boken i *"Nature"*. Han avsluttet med: *"A book by Rosseland on Astrophysics needs no recommendation. It is highly suitable that it should have appeared in the International Series on Physics thus aligning itself with some of the most outstanding treatises on modern physics."*

Krigen. Rosseland dro til USA

I mai 1941 dro Rosseland med familie til Sverige via en de mange fluktrutene dit. Før han dro ble vitale deler av differensialanalysatoren fjernet for at tyskerne ikke skulle kunne bruke den. En sen natte-time gravde han og observator Rolf Brahe delene ned i hagen bak Instituttet.

Rosseland med familie ble internert på svensk side av grensen, og han kontaktet sin venn Oskar Klein som fikk familien til Stockholm. Der fikk de ordnet med nødvendige visa og kontaktet Princeton som garanterte stilling for Rosseland i USA.

Samme dag som Tyskland angrep Russland, 22. juni, reiste familien Rosseland til Moskva med det siste ordinære ruteflyert dit. Der ble de tatt hånd om av Kapitza som lånte bort sin bil med privatsjåfør og ga Rosseland de nødvendige rublene. Nobelprisvinneren Kapitza hadde stor innflytelse som akademimedlem. Han kunne derfor hjelpe til med den videre reisen. Via Vladivostok og Japan reiste familien til Hawaii og derfra videre til San Francisco, før de endte opp i Harvard. Reisen, med flere komplikasjoner, tok tre måneder.

Rosseland ble utnevnt til professor i Princeton etter innbydelse fra den ledende amerikanske astronomen, professor Henry Norris Russell. Fru Rosseland hadde en rik onkel i USA, Fredric Schaefer, en stålmagnat fra Pittsburg, og han lot familien Rosseland hvile ut på sitt landsted. Schaefer arrangerte også et møte med president Roosevelt for Rosseland.

George Gamow, som var professor ved George Washington University, organiserte Den 8. *Washington Conference on Theoretical Physics*, 23–25 april 1942. Temaet var *"The problem of Stellar Evolution and Cosmology."* De mest fremstående deltagere, av i alt 26 inviterte, var Atkinson, Chandrasekhar, Chritchfield, Gamow, Teller, Pauli og Rosseland. Dette var en historisk viktig konferanse fordi det her ble enighet om at et *"Big Bang"* måtte ha skjedd.

I mai 1942 kom president Roosevelts beslutning om at atombomben skulle utvikles. Mange av deltagerne fra konferansen var med i *"Manhattan-prosjektet"*.

Krigsinnsats i England og USA

I juni 1943 reiste Rosseland med permisjon fra Princeton, til England. Der arbeidet han først for *Air Ministry* med utvikling av radar, og senere for

British Admiralty med undervannsekspløsjoner. Astrofysikken var ikke glemt, og da han ble invitert til å gi "*Darwin Lecture*" ved Cambridge University, var han straks villig. Temaet var: "*The Pulsation Theory of Variable Stars*."

Fru Rosseland arbeidet som sykepleier ved et sykehus i London. Under et av de mange tyske bombeangrepene fikk hun et alvorlig bombesjokk som preget henne resten av livet. Rosseland viste alltid senere stor omsorg for henne.

Rosseland dro tilbake til USA i juni 1944. Han ble engasjert i "*Columbia Universitys Division of War Research*" og hadde kontor i Empire State Building. Vi vet lite om hva han gjorde der da prosjektet var strengt hemmelig.

Hjem til Norge og oppbygging av forskningsinstitusjoner

Sommeren 1946 reiste familien Rosseland tilbake til Norge, og han fikk sitt professorat tilbake. Quisling hadde avskjediget Rosseland i 1943. Instituttet kom på bena igjen etter krigen, og Rosseland avsluttet sin vitenskapelige karriere da han i 1947 la siste hånd på verket "*The Pulsation Theory of Variable Stars*."⁽¹¹⁾

Årene etter krigen ble en ny epoke for Rosseland som nå med full kraft gikk inn for å bygge opp kontakt mellom forskning og samfunn. Som dekanus for Det matematisk-naturvitenskapelige fakultetet, 1951-53, tok Rosseland initiativet til den første Blindernutstillingen. Den ble åpnet 29. august 1951, med kongen, kronprinsen, statsminister Gerhardsen og flere statsråder til stede. Dette var den første store mønstring av forskningen ved Universitetet for samfunnet utenfor. Det var en enorm tilstrømming til utstillingen, og den fikk stor publisitet i presse og radio.

Rosseland hadde problemer med å si nei til å være med på noe som han mente var samfunnsnyttig. Dette førte til at han ble valgt inn i en rekke utvalg og styrer, også utenfor Universitetet og i internasjonale fora. I mange år var han Regjeringens vitenskapelige rådgiver, og han var alternerende preses og visepreses i Det Norske Videnskaps-Akademi i perioden 1948-60. Rosseland fikk likevel noe tid til undervisning og som faglig inspirator.

I 1955 var Solobservatoriet på Harestua klart, og Rosseland skaffet en *kontrakt med US Air Force om solforskning*. Han sørget for at dette ble en helt fri forskning uten restriksjoner med hensyn til publikasjon av resultatene. Dette ga nødvendige

resurser til en stor del av forskningen ved Instituttet. En tilsvarende kontrakt ga betydelige midler til et prosjekt om plasmafysikk som var et samarbeid med Fysisk institutt ved Universitetet. Dette prosjektet ble ledet av Eberhart Jensen. Han ble Rosselands etterfølger som professor og bestyrer av Institutt for teoretisk astrofysikk.

Rosseland var medlem av vitenskapsakademiene i Sverige, Danmark, Belgia, USA og India. I England var han *Associate of the Royal Astronomical Society* og medlem av *Royal Institution of Great Britain*. Han ble utnevnt til æresdoktor ved universitetene i København og Stockholm, og han ble utnevnt til Kommandør med stjerne av St. Olavs Orden.

Svein Rosseland gikk av som professor og bestyrer av Institutt for teoretisk astrofysikk i 1964. Da avvirket han alle sine aktiviteter, nasjonalt og internasjonalt, og flyttet ut av sin leilighet i instituttbygningen. Han hadde deretter liten kontakt med Universitetet. Rosseland døde 19. januar 1985.

Ved 100-årsjubileet for Rosselands fødsel i 1994, skrev Øystein Elgarøy og Øivind Hauge en vakker bok om ham med tittel: "Svein Rosseland. Fra hans liv og virke." Den ble utgitt av Institutt for teoretisk astrofysikk.

Referanser

1. Svein Rosseland og Oskar Klein: *Über Zusammenstöße zwischen Atomen und freien Elektronen*. Zeitschrift für Physik 4, 46-51 (1921)
2. A.S. Eddington: *Space Time and Gravitation*. Cambridge University Press, (1920)
3. A.S. Eddington: *The Mathematical Theory of Relativity*. Cambridge University Press, (1923)
4. Svein Rosseland: *The theory of the stellar absorption coefficient*. Astrophysical Journal 61, 424-442 (1925)
5. A.S. Eddington: *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge University Press, (1926)
6. Svein Rosseland: *Stjernehimmelen, dens bygning og utviklingshistorie*. Gyldendal (1934)
7. Svein Rosseland: *Jorda og Universet*. Damm (1940)
8. Svein Rosseland: *The principles of Quantum Theory*. Handbuch der Astrophysik (1930)
9. Svein Rosseland: *Astrophysik auf Atomteoretischer Grundlage*. Springer-Verlag (1931)
10. Svein Rosseland: *Theoretical Astrophysics*. Oxford forlag (1935)
11. Svein Rosseland: *The Pulsation Theory of Variable Stars*. Oxford Forlag (1946)

Memristoren – en ny kretskomponent

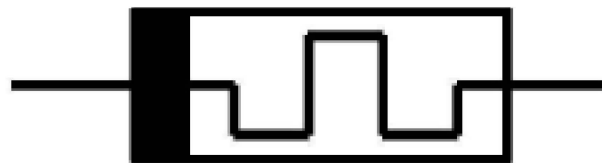
*G.K. Johnsen **, *C.A. Lütken ***, *Ø.G. Martinsen *** og *S. Grimnes ****

De som har studert elektromagnetisme eller elektronikk kjenner de tre kretskomponentene motstand, kondensator og spole. Men det finnes ytterligere én komponent, memristoren, som er en like grunnleggende byggestein i kretslæren som de øvrige tre. Memristoren er relativt ny. Den ble oppdaget først i 1971 og har vært lite kjent i forhold til dens tre likemenn. Nå tror mange at memristoren vil åpne for ny fysikk og en riktigere forståelse av nanoelektronikken. Vi skal her se nærmere på hva en memristor er og forklare hvordan den oppfører seg.

Historikk

En memristor er en passiv kretskomponent på lik linje med motstanden, spolen og kondensatoren, og kjennetegnes ved at resistansen endrer verdi som funksjon av hvor mye ladning som har passert gjennom komponenten. Memristoren har fått navnet sitt etter "memory resistor", altså en motstand (resistor) med en viss form for minne. Den momentane resistansen til en memristor avhenger av den fysiske forhistorien i motsetning til en vanlig, ideell motstand der resistansen er uavhengig av hvor mye ladning som har passert. Memristoren omtales derfor gjerne som en motstand med minne, nettopp fordi den husker resistansverdien også etter at ladningen har passert og den påtrykte spenningen er slått av. Denne hukommelsen varer helt til spenningen slås på igjen, og nettopp dette gjør at memristoren er interessant i tilfeller der man ønsker å lagre informasjon. Figur 1 viser symbolet for en memristor i en elektrisk krets.

Rundt 1970 studerte Leon Chua ved Berkeley-



Figur 1. Symbol for memristor.

universitetet i USA det teoretiske grunnlaget for elektrisk kretsteori og kom fram til at det burde være plass til en kretskomponent til. Han kalte denne for memristor ut fra egenskapene han fant at komponenten måtte ha.⁽¹⁾ Chua var derimot ikke i stand til å lage en memristor selv, og det skulle gå nesten 40 år før noen klarte dette.

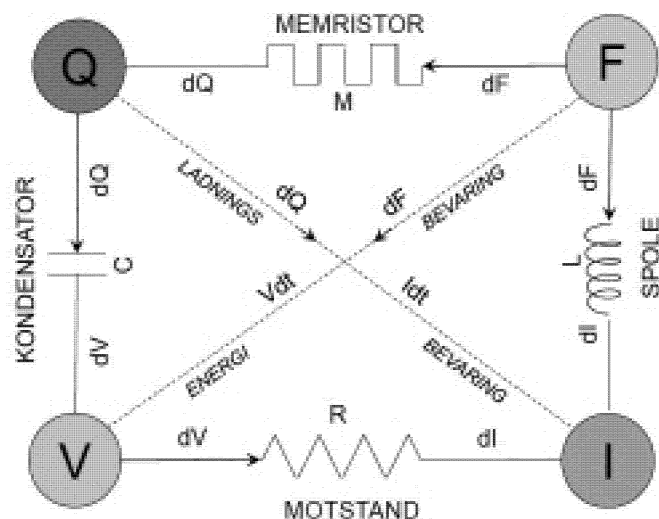
Det Chua la merke til, var at om han tok utgangspunkt i de fire grunnleggende kretsvariablene strøm I , spenning V , ladning Q og magnetisk fluks F , var det rom for en løsning til som ingen tidligere hadde tenkt på. Basert på disse fire variablene, kan man lage 6 ulike par-kombinasjoner. Vi kjenner 5 av disse som motstand, $R = dV/dI$, kondensator, $C = dQ/dV$, spole, $L = dF/dI$, samt Faradays induksjonslov, $V = -dF/dt$, og definisjonen av strøm, $I = dQ/dt$. Samtidig ser vi at det er en mulighet som ikke er brukt, og det er relasjonen mellom ladning og magnetisk fluks. Chua mente derfor at det, rent logisk, burde være en kretskomponent som knyttet ladning og magnetisk fluks sammen på følgende måte: $M = dF/dQ$, og kalte en slik komponent for en memristor. Han viste samtidig at memristoren ikke kunne erstattes av noen kombinasjon av de andre tre kretskomponentene, motstand, kondensator og spole, selv om memristoren i enkelte tilfeller likner på en vanlig motstand. Disse to har blant annet felles enhet og måles begge i ohm.

I symmetridiagrammet i figur 2 ser vi hvordan memristoren passer inn i kretsteorien like naturlig som de 5 andre kjente kombinasjonene. Det er forbausende å tenke på at man i fysikken har kjent til grunnlaget for kretslæren i over 100 år, men allikevel oversett en løsning som, i hvert fall når man

* Institutt for energiteknikk, Kjeller,

** Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

*** Medisinsk-teknisk avdeling, Rikshospitalet, Oslo.



Figur 2. En skjematisk oversikt over de 6 ulike mulighetene som finnes basert på de fire kretsvariablene.

ser symmetridiagrammet tegnet opp i ettetid, har ligget rett foran nesen på oss.

Den første memristoren

Etter at Chua postulerte at memristoren burde finnes, gikk det nesten 40 år før den ble beskrevet som et fysisk system. I 2008 klarte en gruppe forskere ved HP-laboratoriet i California å lage en nano-memristor⁽²⁾ (strengt tatt et memristivt system) og denne er vist i figur 3. De skviset titaniumdioksid, TiO_2 , mellom to metallelektroder og sendte strøm gjennom. Den ene delen av titaniumoksidet var dopet og dermed godt ledende, mens den andre var udopet og hadde derfor lav ledningsevne. Dette er vist skjematisk i figur 4.

Den totale resistansen over memristoren er summen av resistansen til den udopede og den dopede delen. Grensen mellom disse delene av TiO_2 -laget, beskrevet av parameteren w i figur 4, ble påvirket av at det gikk strøm gjennom elementet i den forstand at grensen ble flyttet fram og tilbake (mot høyre eller venstre i figur 4) avhengig av hvilken retning ladningsbærerene beveget seg. Dermed vekslet den totale resistansen over memristoren mellom å være "høy" og "lav" alt avhengig av om det var den udopede eller dopede delen som var dominerende. En slik dynamisk, ladningsstyrt resistans er akkurat hva man trenger for å få en memristor, og HP-gruppen hadde dermed beskrevet dette for første gang.

Resistansen – eller memristansen – til memristoren i figur 4 kan uttrykkes som

$$M(Q) = R_{AV} \left(1 - \frac{k R_{PA}}{D^2} Q(t) \right) \quad (1)$$

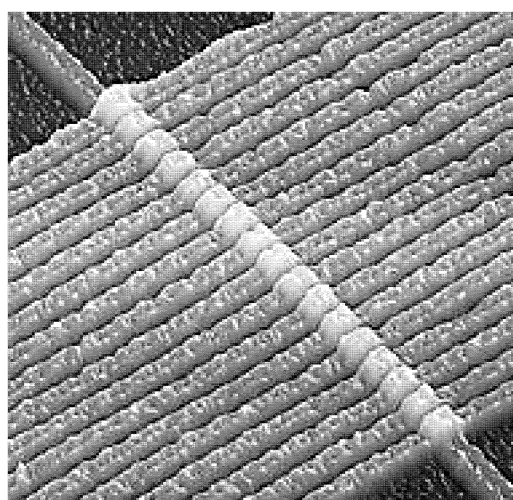
der R_{AV} og R_{PA} er største og minste mulige resistans over memristoren, dvs når den enten er udopet eller dopet over hele volumet, k er en konstant, Q er elektrisk ladning og D er tykkelsen til TiO_2 -filmen. Avhengigheten av ladning Q viser at likning (1) beskriver en memristor og ikke en vanlig motstand. Jo tynnere film, desto mer memristiv oppførsel.

Vi legger merke til at denne memristoren ikke eksplisitt involverer magnetisk fluks selv om memristansen er definert som relasjonen mellom fluks og elektrisk ladning.

Ved å bruke Faradays induksjonslov kan vi omskrive uttrykket for memristansen til

$$M(Q) = dF/dQ = (V dt)/(I dt) = V/I, \quad (2)$$

som ved første øyekast ser ut som vanlig resistans. Det HP-gruppen benyttet seg av da de fant memristoren, var at den krevde et ulineært forhold mellom integralet av strøm og spenning til komponenten. De trengte altså ikke å involvere magnetisk fluks eksplisitt selv om dette inngår i definisjonen. Om man skal spekulere i hvorfor memristoren lå "gjemt" i nesten 40 år etter at den ble forutsagt av Chua, kan noe av grunnen kanskje være at man rett og slett lette på feil sted siden man antok at memristoren på en eller annen måte burde involvere magnetisk fluks. En annen mulighet er at siden memristorene



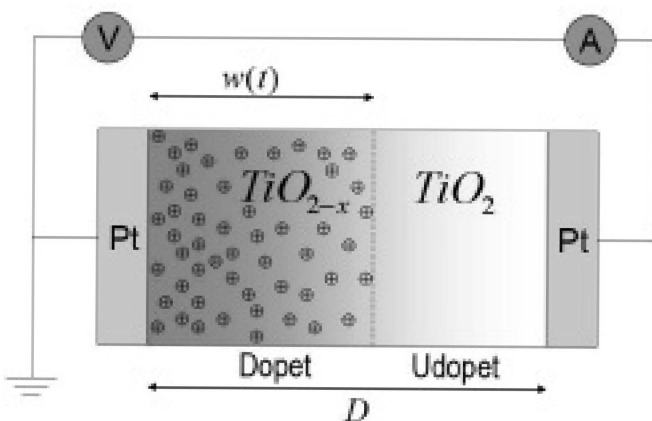
Figur 3. Forstørret bilde av 17 stk. TiO_2 nano-memristorer koblet i parallell. Bildet viser memristoren som HP-forskerne klarte å lage i 2008 etter mange års arbeid. (Figuren er hentet fra Wikipedia.)

må være svært små, har de vært vanskelige å lage før nå.

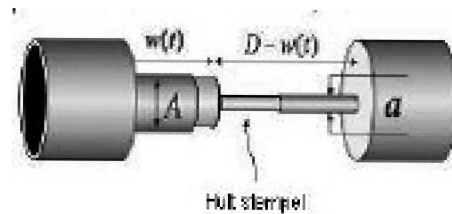
Egenskaper til memristoren

Hvordan kan vi forstå mer om hvordan memristoren fungerer? I mange tilfeller når kretsteori skal forklares, henter vi hjelp fra vann som strømmer i rørsystemer. Så også for memristoren. Memristoren fungerer som en variabel motstand og med et minne i den forstand at resistansverdien "fryses" idet strømmen slås av. En motstand illustreres gjerne som et rør det renner vann gjennom. Jo større tverrsnitt, desto lavere resistans, og jo lenger røret er, desto større blir resistansen vannet møter. Memristoren må derfor være som et rør, riktignok i en noe modifisert form.

Analogt med den første HP-memristoren som ble vist skjematisk i figur 4, tenker vi oss en seriekobling av et tynt og et tykt rør, med et bevegelig og hult stempel imellom, og begge plassert mellom to enormt tykke rør, se figur 5. Det tynne røret med tverrsnitt a representerer den udopede og dårlig ledende delen til memristoren, det tykke røret med tverrsnitt A svarer til den dopede og godt ledende delen, mens de enormt tykke rørene er metallektroden som praktisk talt ikke yter vannet noen form for motstand. Grensen mellom det tykke og det tynne røret er dynamisk og vil flytte seg fram og tilbake avhengig av hvilken vei vannet strømmer. Den totale motstanden vannet møter er altså summen av resistansen i det tynne og det tykke røret.



Figur 4. Tverrsnitt av en TiO_2 -memristor bestående av en godt ledende (doped) og en tilnærmet isolerende (udoped) del plassert mellom to platinaelektroder, Pt. Grensen mellom den dopede og den udopedede delen er dynamisk og flytter seg fram og tilbake avhengig av strømretningen. Parameteren $w(t)$ er en matematisk variabel som sier hvor i materialet denne grensen beinner seg.

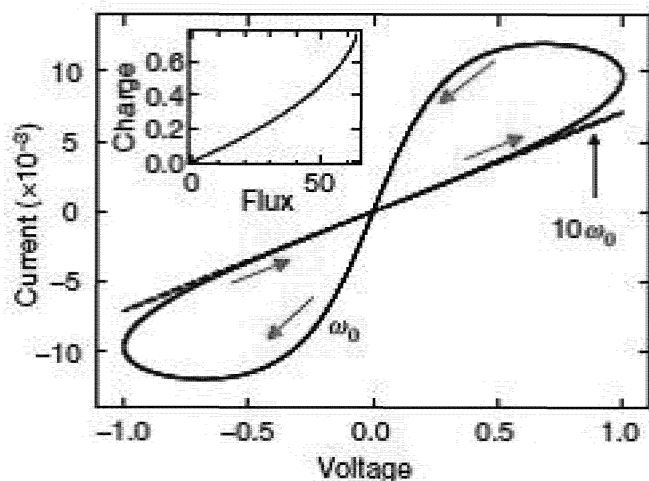


Figur 5. Memristoren illustrert ved en rørmodell. Her svarer det tykke røret, A , til den dopede og godt ledende delen, mens det tynne røret, a , svarer til den udopedede og dårlig ledende delen av memristoren. Avhengig av hvilken vei vannet strømmer, vil stempelet presses mot høyre eller venstre. Den totale resistansen til memristoren endrer seg dermed når vannet strømmer igjennom den.

Vi ser fra figur 4 at når vannet strømmer mot høyre, presses det blå stempelet samme vei, og den totale resistansen i memristoren synker. Omvendt øker resistansen når vannet strømmer mot venstre fordi stempelet da presses mot venstre. Vi ser også at om vi sender likestrøm gjennom memristoren, dvs. at vannet går i en og samme retning hele tiden, vil memristoren til slutt gå i metning når stempelet når fram til et av endepunktene i røret og ikke kommer lenger. Rørkombinasjonen vil da ikke fungere som en memristor, men som en vanlig motstand med konstant resistans. *En memristor må derfor påtrykkes en vekselspenning for at dens karakteristiske egenskaper skal komme til syne over lengre tid.*

Vi skal nå se mer på noen typiske egenskaper for memristoren. En memristor vil gi hysteresekurver når dens strøm og spenningsverdier plottes mot hverandre i et koordinatsystem. Et typisk eksempel er gitt i figur 6 som viser oppførselen til HP-memristoren som vi har omtalt tidligere. Hysteresekurvene for memristorer er alltid i en dobbel løkke som passerer origo. En memristor har dermed ikke mulighet for å lagre energi slik for eksempel en spole eller en kondensator har.

De karakteristiske hysteresekurvene, dannet ved et ikke-lineært forhold mellom strøm og spenning, kan vi forstå intuitivt dersom vi går tilbake til rørmodellen vår. Når vannet strømmer mot høyre, avtar den totale resistansen i røret. Vi har nå ikke et lineært forløp mellom strøm og påtrykt spenning, og strømmen vil derfor øke noe raskere som funksjon av spenningen sammenliknet med hva en vanlig lineær motstand gjør. Som vi ser av den øvre løkken i figur 6, øker strømmen gjennom røret så lenge trykket (spenningen) øker. Selv etter at spenningen avtar, vil strømmen fortsette å øke fordi det tykke røret



Figur 6. Hysteresekurver med frekvenskollaps, typisk for memristorer. Resistansen til memristoren vil variere som funksjon av hvor mye ladning den slipper igjennom. Dermed vil strømmen variere ulineært med spenningen, og vi får hysteresekurver i stedet for rette linjer. For tilstrekkelig høye frekvenser, ω , til spenningssignalet, rekker ikke resistansen til memristoren å endre seg nevneverdig, og hysteresekurvene klapper sammen til rette linjer. Den lille grafen øverst til venstre, viser at memristorer gir ikke-lineære kurver når ladning plottes mot magnetisk fluks. (Figuren er hentet fra Nature.⁽²⁾)

fortsatt vil flyttes mot høyre slik at resistansen avtar. Vi har derfor en form for positiv tilbakekobling som fører til at strømmen øker også i en periode etter at spenningen reduseres, omvendt av hva vi kjenner fra Ohms lov der $I = U/R$.

Den lille grafen i figur 6 viser at for en memristor vil et parameterplott for Q og F , dvs. variablene den er definert ved, alltid være en ulineær og entydig kurve.

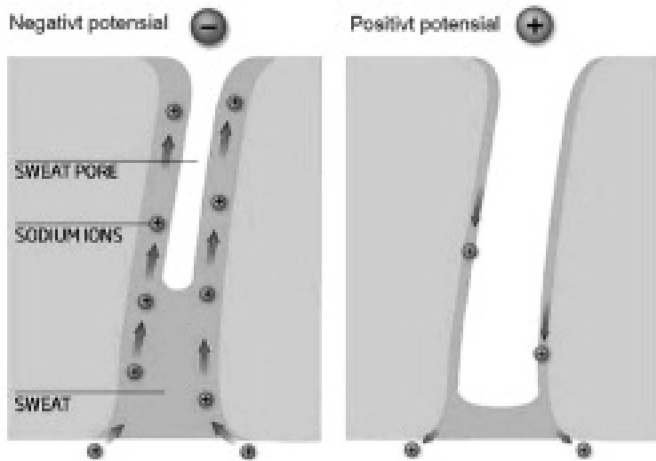
En memristor vil være frekvensavhengig i den forstand at resistansen over den – kalt memristans – vil påvirkes av frekvensen til den påtrykte spenningen. Dersom frekvensen til det påtrykte vekselspenningssignalet er tilstrekkelig stor, vil ikke memristoren klare å variere resistansen på en dynamisk måte lenger, og den degenererer derfor til en vanlig motstand. Hysteresekurvene klapper dermed sammen som vist i figur 6. Intuitivt virker dette logisk dersom vi igjen hopper tilbake til rørmodellen vår. Når frekvensen øker, dvs. at trykkforskjellen som presser vannet gjennom røret endrer seg stadig raskere, blir det mindre og mindre tid for vannet i røret til å forflytte seg (enten mot høyre eller venstre). Dermed blir stampelet til slutt stående helt i ro. Altså er det ingen endring av totalmotstanden gjennom røret som funksjon av strømning av vann slik vi måtte ha hatt for en memristor.

Typisk for memristorer er at de gjerne er svært små. For eksempel var den første memristoren bare noen få nanometer tykk og komponenten var faktisk nødt til å være så liten for at den skulle oppføre seg som en skikkelig memristor. Om vi ser nærmere på likning (1), som beskriver den elektriske motstanden til HP memristoren, så ser vi at den består av summen av en ren resistiv del og en memristiv del der vi har ladningsavhengigheten som sørger for variasjonene i memristansen. Vi ser at dersom systemet er svært lite (tykkelsen D svært liten), så eksploderer formelig det memristive bidraget. Dette betyr at dersom systemet vi vil beskrive for eksempel reduseres fra μm - til nm -skala så blir det 1 million ganger mer memristivt. Sånn sett kan vi forvente å finne memristiv oppførsel i de tilfellene der vi studerer de elektriske egenskapene til svært små systemer og komponenter, og slike skalaer vil trolig bli mer og mer vanlige i framtiden.

Eksempler og anvendelser

Vi har tidligere sett fra symmetriagrammet i figur 2, at memristoren har ligget rett foran nesen til fysikerne i årevis. Dette har den faktisk gjort på mer enn én måte siden vi alle har memristorer på selve nesen og på alle andre steder på huden der vi har svettekanaler. Slike kanaler fylt med væske oppfører seg nemlig som memristorer når de påtrykkes en lavfrekvent vekselspenning.⁽³⁾ Generelt vil dette kunne gjelde for porer og kapillærer som er delvis fylt med væske som inneholder ioner. Slike kanaler er det mange av i biologiske systemer og vev, og dette er et spennende område å lete etter memristiv oppførsel i. En illustrasjon av et memristivt kapillær er gitt i figur 7.

Når en vekselspenning påtrykkes over en slik svettekanal vil fyllingsgraden av væske øke eller avta avhengig av polariteten til signalet. Negativt potensial gir en strøm som vil trekke væsken oppover ved en effekt som kalles elektro-osmose.⁽⁵⁾ Kanalen blir mer fylt av væske. I vårt eksempel er denne væsken vanlig svette som vi har i huden. Resistansen i svettekanalen avtar fordi svetten har god elektrisk ledningsevne. Er polariteten derimot positiv, presses væsknivået nedover av strømmen som passerer i kanalen. Det vi da måler når vi gjør elektriske lavfrekvensmålinger på huden, er nettopp resistansverdier (konduktans) som endrer seg etter hvor mye ladning som har passert kanalen, mao. en biologisk memristor. Chua foreslo da også like etter at han postulerte memristoren, at biologi måtte



Figur 7. Hudens svettekanaler oppfører seg som memristorer når de påtrykkes en lavfrekvent vekselspenning. Resistansen i kanalene endrer seg etter hvor mye ladning som passerer. Til venstre ser vi hvordan elektrisk ledende væske dras opp i kanalen og hjelper strømmen til å passere. Til høyre dras væsken nedover, og resistansen øker. (Figuren er hentet fra New Scientist.⁽⁴⁾)

være et felt som ville få nytte av memristoren på lengre sikt.⁽⁶⁾

I de senere årene er memristoren blitt brukt blant annet til å modellere nevralt nettverk, samt forklare læringsprosesser hos enkle organismer.^(7,8) Derfor er nanobiologi et felt der memristoren med sine minne og skalaegenskaper, fort kan tenkes å spille en viktig rolle framover.

Det finnes mange ideer om hva memristoren kan brukes til. Et tema som ofte nevnes, er muligheten for å lagre data på en mye mindre energikrevende måte enn før. Memristorer beholder nemlig minnetilstanden når spenningen slås av, og det er dette man nå håper å kunne utnytte.

Det som i alle fall er sikkert er at stadig mindre elektriske komponenter til syvende og sist vil involvere memristive egenskaper på en eller annen måte, og mange av dem gjør det trolig allerede. En av memristorens store fordeler i forhold til den mer energikrevende aktive transistoren, er mindre varmeproduksjon, en ikke helt ubetydelig faktor i jakten på stadig mindre og raskere pc-er. Kanskje fører dette til at Moores lov, den snart 50 år gamle tommelfingerregelen som forutsier en dobling av regnekapasiteten ca. hvert annet år, kan opprettholdes enda lenger?

Referanser

1. L.O. Chua: *Memristor – the missing circuit element*. IEEE Trans. Circuit Theory, **18**. (1971)
2. D.B. Strukov, G.S. Snider, D.R. Stewart and R.S. Williams: *The missing memristor found*. Nature, **453**, 80–84 (2008)
3. G.K. Johnsen, C.A. Lütken, Ø.G. Martinsen and S. Grimnes: *Memristive model of electro-osmosis in skin*. Phys. Rev. E, **83**, 031916 (2011)
4. <http://www.newscientist.com/article/mg20928024.500-sweat-ducts-make-skin-a-memristor.html>.
5. S. Grimnes: *Skin impedance and electro-osmosis in the human epidermis*. Med. Biol. Eng. Comp., **21**, 739–749 (1983)
6. L.O. Chua and S.M. Kang: *Memristive devices and systems*. Proc. IEEE, **64**, 209–223 (1976)
7. Y.V. Pershin, S. La Fontaine and M. Di Ventra: *Memristive description of amoeba's learning*. Phys. Rev. E, **80**, 021926 (2008)
8. Y.V. Pershin and M. Di Ventra: *Experimental demonstration of associative memory with memristive neural networks*. Neural Networks, **23**, 881–886 (2010)

∞

Fysikknytt

Glassomer – eit nytt materiale

Ved *École supérieure de physique et chimie industrielles* i Paris har dei utvikla eit materiale som sameinar dei beste eigenskapane for glass og polymerar. Dei har gitt det nye materialet namnet "*vitrimère*", av fransk "verre" i forma "vitre" = glass, og polymère.⁽¹⁾ På norsk vil det bli "*glassomer*". Materialet skal vere billig å lage, for det består av tilgjengelege, kommersielle råvarer: ei blanding av epoksylin og ei eller fleire feittsyrer tilsett katalysator.

Vanleg glass, som består av kvarts og eventuelt andre silikat, har ikkje skarpt smeltepunkt, men mjuknar gradvis ved oppvarming og er lett å forme. Ved romtemperatur er glass hardt og sterkt, og motstandsdyktig mot dei fleste kjemikalier, men har ulempa at det er sprøtt og stivt.

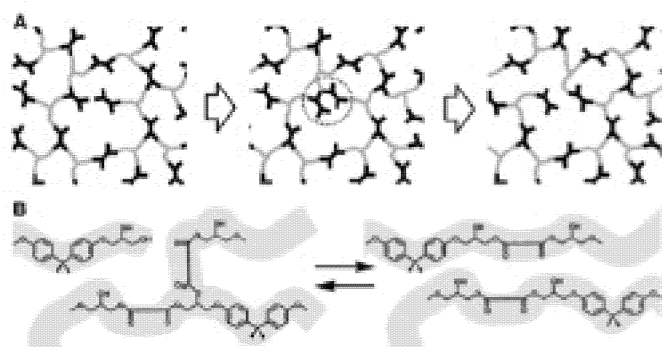
Polymerar, som t.d. polyetylén eller polykarbonat, er vanlegvis ikkje så sprøe som glass og kan formast etter det behovet dei skal fylle, men forminga

må skje under polymeringsprosessen. Dei kan berre i mindre grad omformast på nytt slik som glass, for dei har skarpere smelte- eller spaltings-temperaturar.

Vanlegvis er polymerane ikkje så harde, men heller ikkje så motstandsdyktige mot kjemikaliar og annan ytre påverknad som glass. Glassomerane derimot, melder forskarane i Paris, smeltar ikkje og kan handsamast på same måte som glass. For eksempel kan ein framstille bruksting og andre objekt av dei på same viset som ved glassblåsing. Materiala er uoppløyslege og motstandsdyktige mot dei fleste kjemikaliar, på same viset som glass.

Ein avgjerande viktig skilnad frå glass er at glassomerane ikkje er sprø materiale ved vanlege temperaturar. I det stykket liknar dei meir på polymerane og er "uknuselege". Kor mjuke dei skal vere ved brukstemperaturar kan regulerast gjennom valet av samansetjing. Ein sær verdifull eigenskap er at materiala kan formast om ved ny oppvarming. Ja, det blir hevda at denne omformingsprosessen kan takast oppatt "uendeleg mange gonger". I tillegg kan materialbitar "sveisast" saman utan svekking av mekanisk styrke.

Nøkkelen til å forstå dei nye materialeigenskapane ligg i at det opptrer kjemiske likevekter mellom oppbryting og gjendanning av visse typar kovalente bindingar mellom molekyla i glassomerane. Figur 1 frå originalarbeidet,⁽¹⁾ illustrerer dette, der omlagringar i epoksymolekyla flyttar på kjemiske bindingar.



Figur 1. A: To estergrupper (symbolet X) (som inneheld oksygenatom på kvar spiss) "samarbeider" om å flytte ei kjemisk binding, noko som gjer materialet formbart.

B: Likevekt mellom to konfigurasjonar av esterbindinga. Likevekta skyv seg mot høgre ved høgare temperaturar, noko som gjer materialet mjukare. Inne i strengane står typiske kjemiske strukturformlar for epoksy. (Gjengitt frå ref. (1) med løyve frå American Association for the Advancement of Science.)

Glassomerane er lettare enn glass, med tettleik $\sim 1 \text{ g/cm}^3$. Oppfinnarane ser derfor for seg mange bruksområde, t.d. at materialet med stor fordel kan nyttast i staden for glass i bil-, luftfarts- og romfarts-industri. Dei melder at dei enno ikkje har fått prøvd ut om materiala lar seg forsterke med karbonfiber og liknande, slik som ein kan med mange plastmateriale.

Referanse

1. D. Montarnal, M. Capelot, F. Tournilhacand, and L. Leibler: *Silica-like malleable materials from permanent organic networks*. Science **334**, 965 (2011)

Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU

∞

Kommentar

Operation Epsilon og Farm Hall

Etter å ha lest S.O. Sørensens og H.C. Børresens interessante og velskrevne artikler om Tysklands atombombeprosjekt^(1,2) og tungtvannsakksjonene på Vemork,⁽³⁾ kom jeg til å tenke på et bekjentskap jeg gjorde i 1998. Det hendte på den 17. ESTRO-konferansen i Edinburgh. ESTRO (*European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*) er den europeiske organisasjonen for leger og fysikere som arbeider med strålebehandling av kreft.

På konferansemiddagen fikk jeg en meget hyggelig og interessant borddame fra Tyskland. Hun kunne fortelle at hennes gudfar var ingen ringere enn Otto Hahn (1879–1968) og at Werner Heisenberg (1901–1976) ofte var på besøk i barndomshjemmet. Hun fortalte videre at hennes far satt i fangenskap sammen med nettopp Hahn og Heisenberg etter krigen. Nå ville tilfeldighetene ha det slik at jeg relativt kort tid i forveien hadde lest J.M. Hansteens bokkronikk: *"Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts"* i Fra Fysikkens Verden,⁽⁴⁾ så jeg var rimelig oppdatert.

3. juli 1945 ble seks prominente tyske professorer, tre yngre fysikere og en "outsider", internert på Farm Hall i nærheten av Cambridge i England.⁽⁵⁾ Oppholdet varte til 3. januar 1946.

De internerte i ovennevnte rekkefølge var Werner Heisenberg (1901–1976), Otto Hahn (1879–1968), Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker (1912–2007), Paul Karl Maria Harteck (1902–1985), Walter Gerlach (1889–1979), Karl Eugen Julius Wirtz (1910–1994), Kurt Diebner (1905–1964), Erich Rudolf Bagge (1912–1996), Horst Korsching (1912–1998) og Max Theodor Felix von Laue (1879–1960). En av grunnene til at de ble internert skal ha vært frykten for at de skulle bli kapret av russerne.⁽²⁾

På Farm Hall ble de holdt isolert fra omverdenen, og alle deres samtaler ble kontinuerlig avlyttet og tatt opp av skjulte mikrofoner uten deres viten. Opptakene ble umiddelbart oversatt fra tysk til engelsk og sendt videre til få utvalgte i forsvar og etterretning i Storbritania og USA. Disse såkalte "*Farm Hall Transcripts*" ble hemmeligholdt inntil 1992.⁽⁴⁾

Min borddame var datter av Erich Bagge. Hun var født i 1946. Bagge var en av de yngre fysikere og arbeidet som vitenskapelig assistent ved Kaiser-Wilhelm-Institut. Han disputerte for den filosofiske doktorgrad i 1938. Temaet var: "*Beiträge zur Theorie der schweren Atomkerne.*" I 1941 disputerte han for den såkalte "*Habilitation*", den høyeste akademiske kvalifikasjon ved flere europeiske universiteter. Temaet var: "*Kernzertrümmerungen und schwere Teilchen in der kosmischen Strahlung.*" Werner Heisenberg var hans veileder ved begge anledninger. Under andre verdenskrig ble han engasjert i Tysklands prosjekt for kjerneenergi, *Uranverein*.^(1,2) Han arbeidet med anrikning av uran sammen med Kurt Diebner som var kommissær for norsk tungtvannsproduksjon. Dette var bakgrunnen for at de begge ble internert i 1945.

Samtalene under oppholdet på Farm Hall er som nevnt gjengitt i sin helhet i "*The Farm Hall Transcripts*". De har vært, og vil fortsatt være, en interessant kilde for fysikere og historikere. De tyske fysikernes fremtidige karrierer etter interneringen var ofte fremme i diskusjonene på Farm Hall. Deler av disse samtalene er psykologisk interessante og avslørende ved sin mangel på realisme.⁽⁴⁾

Hvordan gikk det så med Bagge? I 1948 ble han professor ved universitetet i Hamburg. Siden ble han professor ved universitetet i Kiel, hvor han også ble bestyrer av Fysisk institutt. Han arbeidet særlig med kjernekraft i forbindelse med skipsfart og ble direktør for *Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt* (GKSS).

Det er skrevet mye omkring Tysklands atom-bombeprosjekt. Amand A. Lucas⁽⁵⁾ fremhever sælig boken til Jeremy Bernstein: "Hitlers Uranium



Erich Rudolf Bagge (1912–1996)⁽⁹⁾

Club."⁽⁶⁾ Der kan man lese følgende karakterisikker av de internerte: Werner Heisenberg - *very friendly and helpful*; Otto Hahn - *the most friendly*; Carl von Weizsäcker - *very friendly and genuinely cooperative*; Paul Harteck - *very charming personality, the driving force behind German atomic research*; Walter Gerlach - *always cheerful and friendly*; Karl Wirtz - *a clever egoist, very friendly on the surface, but cannot be trusted*; Kurt Diebner - *outwardly friendly, but has an unpleasant personality and cannot be trusted*; Horst Korsching - *a complete enigma*; Max von Laue - *a shy, mild-mannered man*; og endelig Erich Bagge - *a serious and very hard working young man, completely German, unlikely to cooperate*. Bagge var i likhet med Diebner og Gerlach medlemmer av nazipartiet.⁽²⁾

I ettertid var min borddame så elskverdig å sende meg en bok hennes far hadde skrevet: "*Von der Uranspaltung bis Calder Hall*",⁽⁷⁾ som bl.a. inneholder dagboknotater fra oppholdet på Farm Hall. Videre sendte hun meg videoer som inneholdt en fjernsynsfilm fra 1991, med tittel: "*Ende der Unschuld.*" Filmen dreier seg stort sett om ovennevnte forhold og har vært vist på tysk TV.⁽⁸⁾ Konferansemiddagen i Edinburgh er den mest interessante jeg noen gang har deltatt i.

Referanser

1. S.O. Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt – Del I*. FFV, 69, nr. 4, 115–123 (2007)
2. S.O. Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt – Del II*. FFV, 70, nr. 1, 6–22 (2008)
3. H.C. Børresen: *Var tungtvannssaksjonene i Norge berettiget?* FFV, 73, nr. 4, 116–124 (2011)
4. J.M. Hansteen: *Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts*. Bokkronikk. FFV, 55, nr. 4, 116–119 (1993)
5. A.A. Lucas: *Revisiting Farm Hall*. Europhysics news, 38, nr. 4, 25–29 (2007)
6. J. Bernstein: *Hitlers Uranium Club*. Springer-Verlag N.Y., Inc (2001)
7. E. Bagge, K. Diebner og K. Jay: *Von der Uranspaltung bis Calder Hall*. Rowohlt, Hamburg (1957)
8. <http://www.youtube.com/watch?v=YRm60j51g>
9. Emilio Segrè Visual Archives: <http://photos.aip.org/>

Jan Folkvard Evensen

∞

Bokomtale

Helge Kragh: *Higher Speculations. Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*. Oxford University Press, 2011, ISBN 978-0-19-959988-2 (411 sider), 350 kr.

Teorier forgår – Verden består

Helge Kragh er en allsidig og produktiv skribent som sysler med historisk fysikk. Nå har han begått et nytt verk med tittelen *Higher speculations*. I denne mektige boka drøfter han mange dristige ideer som led den ublide skjebne å bli plassert på fysikkens store søppelhaug for ufruktbart vrakgods. Men skribenten er ikke snauere enn at han også tar for seg teoretiske betraktninger og utlegninger fra vår egen tid. Mange av disse vågale påfunnene sliter jo med å få kontakt med den reelle verden. Teori som ikke makter å forutsi noe om virkeligheten, forblir fantasi. Formodningene skal være en abstrakt og elegant oppsummering av vår samlede erfaring om naturens virkemåte. Hypoteser som ikke kan

kontrolleres mot selve naturen, er ikke bare unyttige. De er uvitenskapelige.

I det første kapitlet møter vi Descartes' tanker om ånd og materie. Men teorien til franskmannen forble såpass kvalitativ at den aldri hadde noen sjanse til å konkurrere da Newtons mesterverk ble mekanikkens fundamentale og overbevisende grunnlag. Men jeg tror mange lesere vil bli forundret over at teorien om virvler til den eminente fysiker William Thomson, lord Kelvin, ble møtt med en viss entusiasme. Teorien skulle tjene som et alternativ til fysikernes ideer om de udelelige atomer. I våre dager har disse ideene fått en slags renessanse i den greina av matematikken som heter topologi. Virvlene finner gjenklang i teorien for knuter.

Her omtales også de mystiske og mildt sagt uforståelige spekulasjonene til Sir Arthur Stanley Eddington om forening av partikkelfysikk, kvantemekanikk og relativitetsteori. Eddington var den virkelige og ubestridte ener og pionér for astrofysikken i det 20. århundre. Men onde tunger vil ha det til at hans virke kan deles opp i to meget forskjellige epoker, "prenuts" og "postnuts". Det er siste periode som finnes i Kragh sin fortelling.

Kragh bærer den avleggse Steady State-teorien med en visitt. Grunnprinsippet for teorien er at i stor skala burde universet være likt over alt og alltid. Men tettheten av kvasarer og observasjon av kosmisk bakgrunnstråling fastslår at universet virkelig forandrer seg over tid. Nå er ikke denne teorien mer levende enn gammel sild i lake. Bare den gode indiske fysiker Narlikar synes ennå å bedrive nekrofil i ærbødighet for sin avdøde mentor Fred Hoyle. Forfatteren tar også en tur innom påfunnet til Geoffrey Chew, som minner om innfallet til den gløge eventyrer Baron von Münchhausen. Da han holdt på å drukne i myra, dro han seg opp etter støvlestroppene. Chew framholdt at de partikler som vekselvirker sterkt, er dynamiske strukturer som skapes av de samme krefter som de også vekselvirker ved hjelp av. Enhver partikkel skaper andre partikler, som gjengjelder skapelsesprosessen. Her gjelder likeverdighet og demokrati. Ingen partikler kan derfor sies å være mer fundamentale enn andre.

Her er godbiter for dem som har sans for en verden i forandringens tegn. Det finnes fysikere som ikke avstår fra å stille spørsmål om naturkonstantenes bestandighet. Kanskje de varierer forsiktig og pyntelig mens tiden skrider? Både gravitasjonskonstant, lysfart og finstrukturkonstant blir suspekterte størrelser. Men i så fall blir ikke de

naturlover vi har slik tillit til, særlig pålitelige. Det er mulig at de fundamentale prinsipper fysikerne leter etter, har samme verdi som gullkrukken som finnes der regnbuen ender. Det er likevel en ganske frastøtende tanke at naturlovene i siste omgang kan være menneskenes egne påhitt.

I denne boka finner vi diskusjon av det såkalte antropiske prinsipp. Hva kan vi utlede når det gjelder vår egen faktiske eksistens? Fruktbare modeller for kosmos bør vel være så mangfoldige at de har mulighet for slike merverdige skapninger som mennesker? Men noen tøyer strikken til bristepunktet: Univers uten intelligens er ikke akseptabelt. Universet er nærmest til for vår skyld. Jeg har vondt for å tro at jeg har sådan betydning.

Det finnes mer å kose seg med hos denne forfatteren: Er det meningsfylt å ha et universbegrep der det stadig fødes nye verdener uten gjensidig kontakt? Er det slik at tiden og selve rommet er bygget opp av minstestørrelser?

I den siste delen av boka gransker Kragh meget skeptisk og kritisk nymotens begreper og problemstillinger, som teoretikerne anser for å være aktuelle. Her møter vi moderne strengteori der naturens mest elementære smådeler er små strenger, åpne eller lukkede. Disse lever og vibrerer i ekstra dimensjoner som er såpass kompakte at vi til vanlig ikke er oppmerksomme på deres eksistens. Det betyr at vår tredimensjonale verden med sine underlige tilleggsdimensjoner blir å sammenlikne med en hageslange. På stor avstand ser den ut til å ha bare én dimensjon, for en har bare frihet til å bevege seg i hageslangens lengderetning. Men når en forstørrer bildet og undersøker svært nøye, oppdager en at det finnes ytterligere én dimensjon. For en kan jo også gå rundt slangen.

De som arbeider med matematisk fysikk, har nå studert disse påfunnene i over 30 år. Mye interessant og dypsindig matematikk har blitt funnet og utviklet. Det alene er meget verdifullt og rettferdiggjør anstrengelsen. Dessverre har ikke disse forskerne kommet fram til noen mulighet for å teste ideene ved observasjon. Det vil kreve slike uhorvelige energimengder at en gjerne må tilbake til tilstanden i universet rett etter skapelsen. Det vil si at den meget abstrakte strengteorien bare kan testes ved å benytte kosmologiske modeller. Men disse representerer egentlig selv kun abstrakt teori.

Så får fremtiden avgjøre om vi er på veg mot å oppdage selve verdenslikningen og den mest altomfattende teori. Isvann i blodet: Det kan bli bitter realitet at tidens dumdristige tankekonstruk-

sjoner ikke er teori som passer for noe som helst i virkelighetens barske og avvisende univers. Boka til Helge Kragh er i alle fall solid ballast og ypperlig vegviser for dem som vil følge fysikkteoriens triumf eller nederlag.

Henning Knutsen

∞

Nytt fra NFS

Birkelandprisen 2012

Yaras Birkelandpris blir i år utdelt for et doktorgradsarbeid i fysikk forsvart i 2010 eller 2011. Frist for innlevering av forslag (til sekretæren i NFS) er 15. mai. Statutter finnes på Selskapets nettsider.

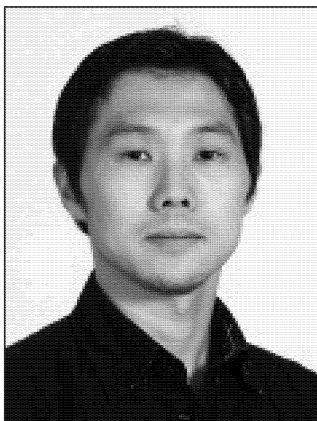
Per Osland

∞

**HUSK Å
MELDE
ADRESSE-
FORANDRING!**

Nye Doktorer

Hiroatsu Sato



M.Sc. Hiroatsu Sato fra Kyoto University, forsvarte sin avhandling *Waves and Oscillations in Space Plasmas* for PhD-graden ved Universitetet i Oslo, 30. november 2011.

I hoveddelen av avhandlingen diskuterer Sato lavfrekvente elektrostatiske bølger som ble observert i ionosfærens E-lag, 95–105 km over bakken, ved hjelp av en rakett skutt opp fra ESRANGE ved Kiruna, i 1989. I dette høydeområdet er atmosfæren ionisert og er i en plasmatilstand. De observerte elektrostatiske bølgene har retning omtrent vinkelrett på jordens magnetfelt i samsvar med teoretiske modeller. Slike bølger kan gi forstyrrelser for radiokommunikasjon og GPS-signaler. Under visse forhold kan denne bølgetypen bli ustabil og utvikles til en turbulent eller kaotisk tilstand. Slike forhold ble observert i dataene og ble studert i detaljer med statistiske metoder.

I tillegg til den turbulente karakter viste bølgene også klare tegn på at bølgefeltet er pulset og inhomogent. Statistiske modeller for å beskrive disse fenomenene ble utviklet og testet også ved syntetiske tidsserier. Målenøyaktigheten av de varierende elektriske feltenes retning og størrelse som bestemt ved raketts probesystem, ble analysert, og mulige feilkilder i dataene er diskutert. De utviklede metodene kan ha generell interesse for analyse av målinger med raketter og satellitter.

Studiet ble utført ved Fysisk institutt og ble finansiert av et 4-årig fakultetsstipend. Professorene Hans Pécseli (Fysisk institutt) og Jan Trulsen (Institutt for teoretisk astrofysikk) var veiledere.

∞

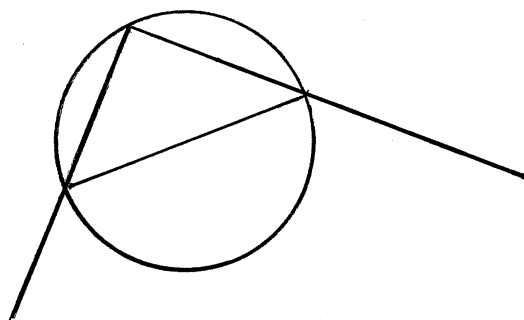
Trim i FFV

Løsning på FFVT 4/11

Sirkelens sentrum

Oppgaven var å finne sentrum i en gitt sirkel ved hjelp av en trekantlinjal med 30, 60 og 90 grader.

Plassér trekantlinjalen slik at hjørnet med 90° ligger på sirkelen og de to tilhørende sidekantene skjærer sirkelen. Linjen gjennom disse to skjæringspunktene er da en sirkeldiameter.



Ved å plassere trekantlinjalen et annet sted finnes en ny sirkeldiameter. Skjæringspunktet mellom de to diameterene er sirkelens sentrum.

FFVT 1/12

En multiplikasjon med sju ukjente

I multiplikasjonen

$$ABCDE \cdot F = GGGGGG$$

Står bokstavene for sju ulike tall. Hva er G ?

∞

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



Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

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

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

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

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

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene 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 artiklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Per Osland

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

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

Visepresident:

Professor Åshild Fredriksen

Inst. for fysikk og teknologi, UiT

e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:

Professor Jon Otto Fossum

Institutt for fysikk, NTNU

Professor Håvard Helstrup

Høgskolen i Bergen

Professor Ulf R. Kristiansen

Inst. for elektronikk og telekom., NTNU

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. Trine Wiborg Hagen

Fysisk institutt, UiO,

Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo.

e-post: nfs@fys.uio.no

Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn

Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Stipendiat Marit Sandstad

Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia

Institutt for fysikk, UiT

Professor Per Chr. Hemmer

Institutt for fysikk, NTNU

Førstelektor Ellen K. Henriksen,

Fysisk institutt, UiO

Professor Bjarne Stugu

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

e-post: oyvind.gron@iu.hio.no

e-post: marit.sandstad@astro.uio.no

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

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