

Fra Fysikkens Verden

NR. 4 – 2021
83. ÅRGANG

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



**Nobelprisen i fysikk
til klima og komplekse systemer**

Les også om:

- Ønskekvist
- Lydfart

- Laserfusjon
- Personomtaler

Nr. 4 – 2021

83. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap
www.norskfysisk.no

Redaktører:

Professor emeritus Øyvind Grøn
OsloMet – Storbyuniversitetet og UiO
E-post: oyvind.gron.no@gmail.com

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

Redaksjonssekretær:

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

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO
Førsteamanuensis Trygve Buanes, Institutt for
datateknologi, elektroteknologi og realfag, HVL

Layout og sats:

Maria Hammerstrøm

Forsidebilde:

NASA/Goddard Space Flight Center Scientific
Visualization Studio

Trykkeri:

Oslo Sats, repro og montasje A/S

Abonnere:

Fra Fysikkens Verden kommer ut fire ganger årlig.
Abonnement tegnes på følgende postadresse
eller e-post:

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

E-post: nfs.styret@gmail.com

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

Retningslinjer for bidragsyttere

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

Frist: Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1300.

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

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

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

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

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

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

Innhold

Frå redaktørane <i>Emil J. Samuelsen</i>	67
Priser delt ut under Fysikermøtet 2021 <i>Asle Sudbø</i>	68

Fysikknytt

Øvre grense for lydfart i faststoff og væsker <i>Emil J. Samuelsen</i>	69
Fremgang for laserfusjon <i>Øyvind G. Grøn</i>	71

Artikler

Nobelprisen i fysikk 2021:	
– Del 1: Manabe og Hasselmann – Klimamodeller og klimaavtrykk <i>Marit Sandstad</i>	72
– Del 2: Parisi og «spinn-glass» <i>Arne T. Skjeltorp</i>	75
Ønskekvistfenomenet – del 2: Rapport fra en vitenskapelig studie <i>Arnt Inge Vistnes</i>	80

Personomtaler

In memoriam: Chris Hall <i>M.G. Johnsen, E. Thrane og A. Brekke</i>	86
In memoriam: Finn Ingebretsen <i>M. Guttormsen, E. Osnes, J. Rekstad og B. Skaali</i>	87

FRÅ REDAKTØRANE

Fast innslag i siste nummeret av *FFV* kvart år er omtale av nobelprisane i fysikk. Temaet for i år er fysikk for uordna, komplekse system, og her har nobelkomiteen valt ei noko uvanleg oppdeling: ein halvpart gitt til italienske Giorgio Parisi for utvikling og beskriving av tilstanden av uordna magnetiske stoff kalla «spinn-glas» og den andre halvparten delt mellom japanesaren Syukuro Manabe og tyskaren Klaus Hasselmann for utvikling av teori og reknemetodar knytt til vær og klima.

I dette nummeret kjem andre del av Arnt Inge Vistnes' artikkel av ønskekvisten. Det er eit kulturhistorisk tilbakeblikk på ein folkeleg tradisjon som har vore utbreidd over heile landet.

Bladet har også omtalar av pristildelingar og av avlidne veteranar.



Øyvind G. Grøn



◀ Emil J. Samuelsen

Priser delt ut under Fysikermøtet 2021

Vinnerne

Fra venstre: Aleksander Seland, Cecilie Glittum og Joachim Brodin.



Undervisningsprisen 2021

Undervisningsprisen 2021 ble tildelt **Aleksander Seland** fra Akademiet VGS i Drammen. I nominasjonen av Seland heter det at han er en særdeles engasjerende og inspirerende lærer, og at han strekker seg langt for elevene sine. Han er opptatt av at elevene skal forstå, og bruker et mangfold av virkemidler i sin undervisning, inkludert videoer til å illustrere det som er gjennomgått i klasserommet. Elevene fremholder også i hvilken grad Seland har engasjert seg for at de skal ha en best mulig undervisningssituasjon under covid19-pandemien. Flere elever fremholder også hvordan Seland har klart å motivere dem til å arbeide med fysikkfaget selv om de synes det er vanskelig og tildels sliter med å forståelsen. En elev skriver: «Måten Aleksander når frem til elever og måten han setter opp undervisningen på skolen er fenomenal. Selv om dette generelt er bare for fysikk 2 så gjelder det for alle andre fag han er lærer for. På ni måneder har han laget en nettside for fagene i Matematikk R1 og R2 samt i Fysikk 1 og 2. På nettsiden er det videoer og oppgaver for hvert kapittel som er der for å lære bort til elevene. Dette er ikke en lærer som bare lærer for å komme seg gjennom pensumet, men en lærer som bryr seg om fremtiden til elevene. Han tenker på tiden vi skal repetere fagstoffet, se på videoene og kunne komme med kritiske spørsmål om temaet. Aleksander er noe for seg selv på en helt fenomenal måte.»

Martin Landrøs Pris for beste mastergrad 2021

Martin Landrøs Pris for beste mastergrad 2021 ble i år tildelt to masterstudenter, **Joachim Brodin** og **Cecilie Glittum**. Statuttene sier at inntil to priser kan deles ut annethvert år, og i år var det mange svært gode kandidater som var nominert.

I sin mastergradsoppgave i teoretisk fysikk studerte Cecilie Glittum en type magnetiske modeller der det er svært vanskelig å beregne faser og faseoverganger ved lave temperaturer. For å studere faseovergangene i disse modellene utvidet Cecilie en analytisk selvkonsistent diagramatisk feltteori-metode slik at hun kunne finne et sett av ligninger for den frie energien. Disse er ikke kjent fra før. Cecilie løste denne analytiske oppgaven meget hurtig og selvstendig, og i tillegg bygde hun ut metoden med flere indekser slik at den muliggjør beregninger på en bredere klasse av modeller. Det ble derfor tid til også å analysere ligningene numerisk for tusenvis av modellparametre. Fra mengden av resultater som kom ut av dette mastergradsarbeidet er det viktigste en ny og hittil ukjent fase på det triangulære gitteret. Denne fasen beskriver en spinn-væske med en delvis retningsorden, en mellomting mellom ei væske og en krystall. I tillegg til den høye vanskelighetsgraden og de mange nye resultatene, er avhandlingen særdeles godt skrevet. Den er skrevet ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo.

I sin mastergradsoppgave i eksperimentell fysikk arbeidet Joachim Brodin med konstruksjon av et eksperimentelt oppsett for å avbilde multifase-strømning i porøse medier. Dette arbeidet representerer et stort fremskritt i fagfeltet. Tidligere kunne slike multifase-strømninger avbildes i to dimensjoner, men Brodins oppsett tillater nå en avbildning også i tre dimensjoner. Det finnes kun noen få grupper i verden som har utviklet denne typen apparatur for å studere multifase-strømninger. Arbeidet til Brodin er utført ved Senter for Fremragende Forskning Porelab basert på NTNU i samarbeid med Universitetet i Oslo, og gjør at dette senteret nå er blant de ledende i verden på slike studier.

Asle Sudbø

Øvre grense for lydfart i faststoff og væsker

Der finst øvre grenser for lysfart i vakuum og i faste og flytande stoff, men kan det settast øvre grenser for lydfarten i faste stoff og væsker?

Emil J. Samuelsen Institutt for fysikk, NTNU

Dette spørsmålet blei nyleg reist i ein artikkel i Science Advances av forskarar frå Storbritannia, Japan og Russland [1]. I det følgjande skal vi gi ei kortfatta utgreiing om bakgrunn for at slike øvre grenser kan uttrykkast med fysiske fundamentalkonstantar.

Lydfart i faste stoff

«Lydfart» i vår aktuelle samanheng gjeld fart som *forstyrrelser* får i fast og flytande materiale. Lydfarten kan i prinsippet beskrivast etter to ulike metodar: Mekanisk kopling mellom atom eller molekyl i materialet, eller energibetraktningar for elektromagnetisk vekselverknad. Det er *akustiske bølger* som det her er tale om, der det er lineær samanheng mellom bølgeenergien og forplantingsvektoren for bølga. Bølger forplantar seg på grunn av den elastisk-mekaniske koplinga, og dette kan uttrykkast gjennom *elastiske moduli* kalla kompresjonsmodul K (engelsk «bulk modulus») og også «Youngs modulus») og skjermmodul G (engelsk «shear modulus»).

I faststoff-litteraturen kan ein utleie at lydbølgjene vil ha utbreiingsfart gitt ved

$$v_{\text{lyd}} = [E/\rho]^{1/2} \quad (1)$$

der $E = K + 4/3G$ er ein kombinert elastisk modul, og ρ er densiteten for materialet. For væsker gjeld same uttrykket, men utan skjermmodul G som væsker ikkje har.

Forfattarane av [1] gjer ei dristig gjetting at elastisitetensmodul bør vere styrt av elektronisk bindingsenergi W , gitt ved $E = fW/a^3$, der f ein proporsjonalitetskonstant som dei ventar er av storleik 1 – 2-3. a er gjennomsnittleg atom- eller molekylavstand i materialet. Med molekylmasse $m = a^3\rho$ får dei for $f \sim 1$ uttrykket

$$v_{\text{lyd}} = [W/m]^{1/2}. \quad (2)$$

Forfattarane gjer så ei ny gjetting, at energien W kan identifiserast med Rydberg-energien $W_R = cm_e e^4 / (32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2)$, som gir at lydfarten då kan uttrykkast

$$v_{\text{lyd}} = \alpha c [m_e/2m]^{1/2} \quad (3)$$

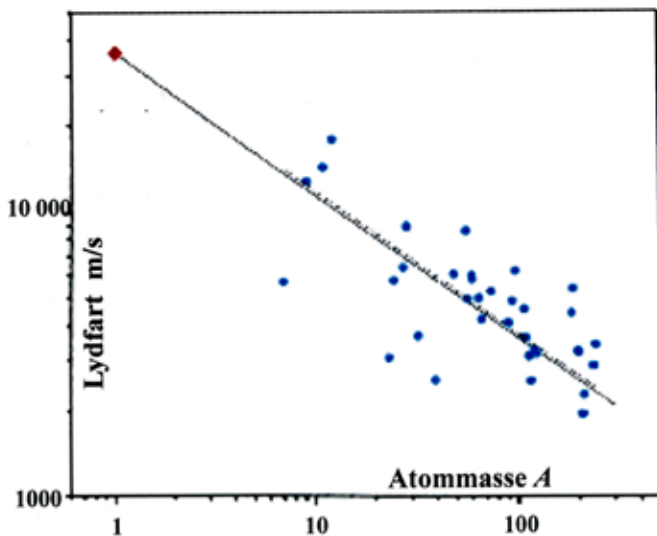
der $\alpha = e^2/(4\pi\epsilon_0\hbar c)$ er *finstrukturkonstanten*. Den er ein fundamentalkonstant (e er elementærladninga, ϵ_0 dielektrisitetenskonstanten for vakuum, \hbar Plancks konstant delt på 2π , og c lysfarten i vakuum). m_e er elektronmassen, og m er atommassen, med $m = Am_p$ der A er relativt massetall og m_p er massen av hydrogenatom H (eller proton). Rydberg-energien er eit mål for kvantiseringsenergi for hydrogenatomet til første eksisterte tilstand. For tilfellet der massen m er hydrogenmassen m_p , inneheld likning (3) berre fundamentalkonstantar.

Utleiinga av (3) er ikkje prikkfri, og forfattarane reknar resultatet som akseptabelt for fast hydrogen, men kvalitativt for tyngre grunnstoff. Det blir ikkje nemnt eksplisitt i [1], men fartsuttrykka bør muligvis avgrensast til stoff under moderate ytre trykk.

Innsetting gir at maksimallydfart for fast atomært hydrogen blir 36 100 m/s. Ved trykk ≥ 400 GPa er det rapportert at hydrogen kanskje blir metallisk [2], men lydfart er ikkje blitt målt. Berre hydrogen under svært høge trykk kan oppvise fartsverdiar av den storleik. For andre materiale, sjå drøfting og figur lenger framme.

Samanheng med smeltetemperaturar?

Artikkelen [1] er så vidt inne på spørsmål om eventuell samanheng mellom lydfart og smeltetemperaturar, og nemner eventuell relasjon til Lindemanns smeltekrterium [3]. Lindemanns idé tok utgangspunkt i at høg temperatur inneber at atomvibrasjons-utslaga u i varmerørsla blir større, og at smelting inntreir når gjennomsnittlege utslag passerer visse øvre grenser, $[<u^2>]^{1/2} \geq \eta a$, der η er ein liten fraksjon $\sim 0,05$ – $0,2$. a er atomavstand i materialet som før. Men dei finn ikkje nokon allmenngyldig verdi for parameteren η , og nokon klar relasjon mellom smeltepunkt og lydfart for materiala blir ikkje påvist.



Figur 1. Log-log-plott av observerte lydfartverdier for 36 grunnstoff mot atommassen ($m = Am_p$). Observerte verdier grupperer seg kvalitativt rundt den heiltrekte linja etter (3), men der er også mange store avvik, som ein ser. Etter [1]. Dei store avvika under og over den heiltrekte linja er kommentert i teksten. Grunnstoffa skal etter [1] vere i rekkefølge frå venstre: Li, Be, B, C, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ti, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Ge, Y, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ta, W, Pt, Au, Tl, Pb, Bi, Th, U.

Lydfart i fluide stoff

Bindingsforhold mellom atom eller molekyl er annleis i flytande tilstand enn i faste stoff, og lydfart i molekylære væsker som vatn, aceton, etanol og benzen er av storleik 1000–2000 m/s, for vekselverknaden her mellom molekyla er av dipolar- og/eller van der Waalsk natur. Men verdiane er i området 4000–5000 m/s for flytande metall som Al, Fe og Mg, som liknar energetisk på vekselverknaden for fast metall, der elektrondeling mellom atoma spelar ei betydeleg rolle.

Lydfarten i gassar er lågare enn i væsker. Med gasskonstanten R , temperaturen T , massen m og $\gamma = C_p/C_v$ (forholdet mellom spesifikk varmekapasitet ved konstant trykk og konstant temperatur) gjeld for ideelle gassar

$$v_{\text{gass}} = [\gamma RT/m]^{1/2}. \quad (4)$$

Farten er bestemt av kvadratrot av absolutt temperatur og invers atom- eller molekylmasse, og er såleis lågare i tyngre enn i lettare gassar, men er i liten grad påverka av gasstrykket.

Drøfting av lydfart i faste stoff

Det er klart at uttrykka utvikla for lydfarten i faste stoff ikkje har innebygd alle relevante materialparameter, som detaljar i krystallstruktur og detaljar i bindingsforhold. Det er å vente at det er forskjell mellom metalliske, kovalente, ioniske, dipolare og van der Waalske materiale, og også for ulike koordinasjonstall i strukturen. For eksempel viser materiale med diamantstruktur betydeleg høgre lydfart enn formel (3) (diamant 1,73; silisium 1,24; germa-

nium 1,27), mens romsentrerte, flatesentrerte og heksagonale overgangsmetall gir bra samsvar (jern 1,06; koppar 1,05; sink 0,94; palladium 0,88). For karbon med $m = 12m_p$ gir formelen maksfarten 10 400 m/s, i mindre bra samsvar med målte verdier kring 18 000 m/s for diamant, mens metall som aluminium ($13m_p$), jern ($26m_p$) og koppar ($29m_p$) gir verdiane 6950, 4830 og 4530 m/s, i nokonlunde samsvar med målte verdier (6420; 5950; 4760 m/s).

Formel (3) passar ikkje for mange grunnstoff, som for elementært fosfor og elementært svovel. Desse stoffa ligg føre som polymere heller enn som enkeltatom, og formel (3) sviktar.

I figur 1 er reproduisert ein illustrasjon frå [1] som viser log-log-plott av observerte lydfartsverdier for 36 grunnstoff, mot relativ atommasse A ($m = Am_p$). Den heiltrekte linja er etter likning (3).

Ein ser at dei observerte fartsverdiane grupperer seg rundt den heiltrekte linja. At lydfarten avtar med aukande atommasse er alt gitt av formlane (1–3). Men ein merkar seg betydelege avvik for mange av grunnstoffa, og likning (3) er i hovudsak berre i kvalitativt samsvar med målte fartsverdier. Likninga passar best for overgangsmetall.

Men der er eit visst system i avvika: Punkta lengst under den heiltrekte linja tilhører alkalie-metall som litium Li, natrium Na, kalium K og fast svovel S. Dei er alle spesielt *mjuke* materiale. Materiala som ligg lengst over den heiltrekte linja er også interessante, for dei fleste tilhører materiale med diamantstrukturen; diamant C, silisium Si, germanium Ge, pluss enkelte tungmetall som molybden Mo. Diamantstrukturen har fire naboatom rundt kvart atom, med sterke bindingar.

Sluttmerknader

Forfatterane av artikkelen [1], som er bakgrunnen for dette notatet, synest å vere opptatt av spesielle, men mindre kjente faststoff-fysikkspørsmål. Hovudpersonen er den russiske professor Vadim V. Brazhkin frå Institutt for høgtrykkfysikk, Moskva. Han har mellom anna arbeidd med molekylvekselverknad og dynamikk ved glass-danning, viskositet av væsker, og andre uavklarte spørsmål. Brazhkin meiner å ha vist at det ikkje er mulig å framstille materiale som er hardare enn diamant.

Spørsmålet om maksimalverdi for lydfart har visstnok ikkje vore fremma før. ■

Referansar

- [1] K. Trachenko, B. Monserrat, C.J. Pickard, V.V. Brazhkin. «Speed of sound from fundamental physical constants.» *Science Advances* **6**: eabc8662 (2020).
- [2] R.P. Dias og I.F. Silvera. «Observation of the Wigner-Huntington transition to metallic hydrogen.» *Science* 10.1126/science.aal1579 (2017).
- [3] M.M. Vopson, N. Rogers, Ian Hepburn. «The generalized Lindemann melting coefficient.» *Solid state communication* **318** 113977 (2020).

Fremgang for laserfusjon



Figur 1. Illustrasjon av et eksperiment ved Lawrence Livermore Laboratory der forskerne skjøt med 183 lasere mot et fusjonerbart objekt. De oppnådde å få ut 1,3 megajoule med energi fra fusjonsprosessen som oppsto. (Illustrasjon: John Jett, LLNL)

Forskere har nylig oppnådd å komme et stort skritt nærmere såkalt «break even» – at det kommer like mye energi ut fra en kontrollert fusjonsreaksjon som det koster av energi å få i gang fusjonsreaksjonen.

Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet

Den 8. August 2021 ble det gjort et eksperiment ved Lawrence Livermore Laboratory der forskerne skjøt med 192 lasere mot et fusjonerbart objekt [1]. I liknende eksperimenter gjort våren 2021 målte man en atomenergi frigitt fra fusjonsprosessen på rundt 8 % av strålingsenergien sendt mot objektet.

I det nye eksperimentet oppnådde de å få ut 1,3 megajoule med energi fra fusjonsprosessen som oppsto, 68 % av 1,9 megajoule som ble sendt

mot objektet i laserstrålene. Resultatet var åtte ganger bedre enn det som var oppnådd tidligere. Det nærmer seg at man får ut like mye fusjonsenergi som den energien man sender inn mot objektet for å få i gang fusjonsprosessen.

Når man får ut mer, kan en del av den frigitte atomenergien brukes til å mate laserne med energi og holde prosessen i gang, mens overskuddsenergien kan omdannes til elektrisk energi i et fusjonskraftverk. ■

Referanse

- [1] Lawrence Livermore National Laboratory: «National Ignition Facility experiment puts researchers at threshold of fusion ignition». Lenke: www.llnl.gov/news/national-ignition-facility-experiment-puts-researchers-threshold-fusion-ignition



Nobelprisen i fysikk 2021

Nobelprisen i fysikk for 2021 er blitt tildelt Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann, og Giorgio Parisi for «banebrytende bidrag til vår forståelse av komplekse systemer».

Prisen ble delt i to med den ene halvdel i fellesskap til Manabe og Hasselmann for «for den fysiske modellering av jordens klima, kvantifisere variabilitet og pålitelig forutsi global oppvarming» og den andre halvdel til Parisi «for oppdagelsen av samspillet mellom uorden og fluktuasjoner i fysiske systemer fra atomær- til planetarisk skala».

Les mer om årets nobelpris i fysikk på: www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/

Del 1:

Manabe og Hasselmann: Klimamodeller og klimaavtrykk

Marit Sandstad CICERO Senter for klimaforskning

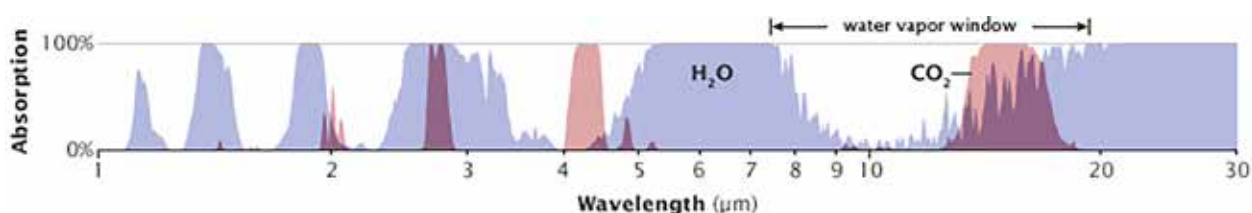
At karbondioksid kan ha en oppvarmende virkning på jordas klima har vært kjent i over 100 år. På et overordnet nivå er det snakk om et av de mest grunnleggende prinsippene i fysikk, energibevaring. Formulert som termofysikkens første lov er:

$$Q = \Delta U + W.$$

Dersom jorda er systemet, er endringen i indre energi ΔU lik forskjellen mellom innkommende og utgående energi (varme) pluss trykkarbeidet. Trykkarbeidet er null, og energien som kommer inn er solinnstrålingen, mens energien som går ut er varmestrålingen fra jorda som kommer ut av atmosfæren. Den globale temperaturen ved havets

nivå er et mål for den indre energien. Dersom systemet skal være i balanse og jordas temperatur skal være konstant, må energien som stråles inn være lik energien som stråles ut. Jorda sies da å være i termisk likevekt.

Ved hjelp av strålingslover kan man beregne både strålingen fra sola og fra jorda, og finne likevektstemperaturen til jorda. Solinnstrålingen foregår med maksimal effekt i det synlige spekteret med bølgelengder mellom 400 nm og 700 nm, mens varmestrålingen fra jorda består for det meste av stråling med bølgelengder mellom 3 og 100 μm . I 1861 publiserte John Tyndall sine observasjoner av absorpsjon av stråling ved ulike bølgelengder fra ulike gasser [1]. Gasser som absorberer i bølgeleng-



Figur 1. Absorpsjon fra vanndamp i blått og karbondioksid i rødt.

Vinnerne



Syukuro Manabe



Klaus Hasselmann



Giorgio Parisi

Illustrasjoner: Niklas Eriehed © Nobel Prize Outreach

deområdet der varmestrålingen fra jorda er, vil ta opp noe av varmestrålingen fra jorda. Strålingen vil sendes ut igjen, men mye av den vil da sendes tilbake til jorda. Dette kaller vi drivhuseffekten. På den måten holder jorda en høyere temperatur enn uten en atmosfære av slike drivhusgasser.

Den viktigste drivhusgassen på jorda er vann-damp, men Tyndalls observasjoner viste at karbondioksid også absorberer i denne delen av spekteret.

Når vi mennesker brenner kull, olje og andre fossile drivstoff, stiger konsentrasjonen av karbondioksid i atmosfæren. Når karbondioksid-konsentrasjonen stiger, vil absorpsjonen øke, og ΔU og temperaturen på jorda må øke.

I 1896 tok Svante Arrhenius [2] for seg denne problemstillingen og i 1938 tok Guy Stewart Callendar for seg problemet igjen [3]. Så lenge har altså den vitenskapelige litteraturen vært kjent med potensialet for menneskeskapte klimaendringer. Men hvor sterk er effekten?

Klimasystemer

Strålingsbalanse og absorpsjon er på sett og vis enkle å regne på, men klimasystemet er mye mer komplisert enn som så. Det handler også om transport av både varme og ulike gasser i et komplekst værssystem. Syukuro Manabe bidro med pionerarbeider for å forstå dette [4]. Og ved hjelp av dette var han med og startet utviklingene av de første virkelige klimamodellene [5], med transport

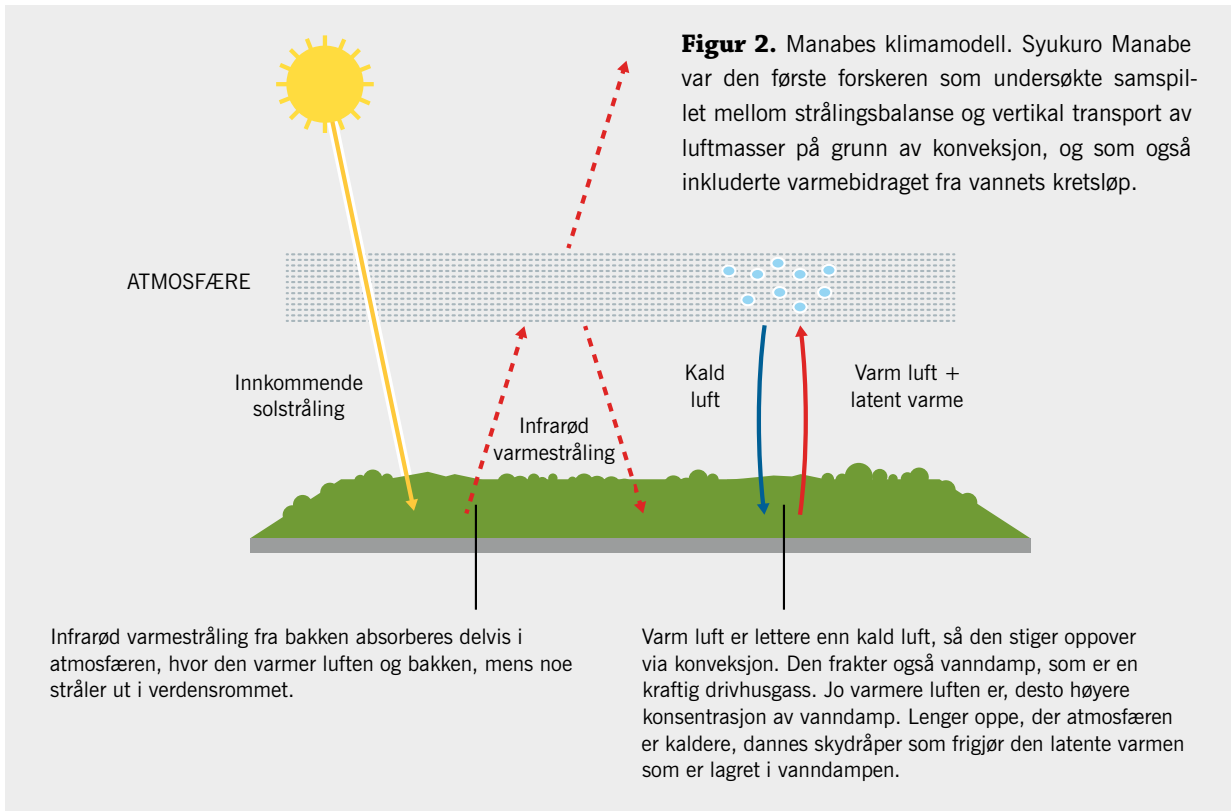
av luftmasser. Dette la grunnlaget for senere klimamodeller som i dag er globale modeller med høy oppløsning. Med disse modellene har vi oppnådd stor forståelse av jordas klimasystem, menneskeskapte klimaendringer, og mulige framtidige virkninger på jordas klima.

Kanskje like viktig som å bygge opp og forstå kompleksiteten i klimasystemet gjennom å modellere dem, er å se igjennom det kaoset av vær og observasjoner som finnes i både klimamodellene og virkeligheten, og finne klimasignaler. Temperaturen kan være både høyere og lavere på samme årstid, uten at det kan si oss om klimaet er i endring. Hvordan kan vi se klimaet gjennom det stadig skiftende været?

Klimasignaler

Her kommer Klaus Hasselmanns arbeid inn. I kaotiske systemer som jordas atmosfære, foregår det massevis av prosesser som endrer seg på svært korte tidsskalaer. Temperatur, nedbør, skydekke også videre endrer seg på minutter og sekunder. Samtidig finnes det også ting som endrer seg saktere, som vi kan skille ut. Årstider for eksempel. Forskjellen på vår og sommer ligger i temperatur, nedbør også videre, og selv om disse tingene endrer seg raskt, ligger det også en større årstidsendring under som vi kan utskille.

På samme måte kan vi også utskille et klimaendringssignal. Klaus Hasselmann presenterte en stokastisk tilnærming til slike systemer [6]. Videre



så han på hvordan man kunne sammenlikne observasjoner med resultater fra klimamodeller. Han viste hvor viktig det er å få forståelse for støykompenten eller variabiliteten i dataene, slik at man kan søke etter signalet på en klimaendring, ikke nødvendigvis der det er sterkest, men der støyen er svakest [7]. Slik fant han også fram til måter å finne fingeravtrykk både for klimaendringer generelt og menneskeskapt klimaendringer spesielt.

På denne måten har klimaforskere kommet fram til at «Det er uomtvistelig at menneskelig påvirkning har varmet jordas atmosfære, hav og land.» slik det står i den siste klimarapporten fra FNs klimapanel [8]. ■

Referanser

- [1] J. Tyndall. «I. The Bakerian Lecture. On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **151** (January 1861): s. 1–36. <https://doi.org/10.1098/rstl.1861.0001>.
- [2] S. Arrhenius. «XXXI. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground». *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* **41** (251), 1896: s. 237–276. <https://doi.org/10.1080/14786449608620846>.
- [3] G.S. Callendar. «The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **64** (275), 1938: s. 223–240. <https://doi.org/10.1002/qj.49706427503>.
- [4] S. Manabe og F Möller. «On the Radiative Equilibrium and Heat Balance of the Atmosphere». *Monthly Weather Review* **89** (12), 1961: s. 503–532. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1961\)089<0503:OTREAH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1961)089<0503:OTREAH>2.0.CO;2).
- [5] S. Manabe og R.T. Wetherald. «Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity». *Journal of the Atmospheric Sciences* **24** (3), 1967: s. 241–59. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1967\)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1967)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2).
- [6] K. Hasselmann. «Stochastic Climate Models Part I. Theory». *Tellus* **28** (6), 1976: 473–85. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1976.tb00696.x>.
- [7] K. Hasselmann. «On the Signal-to-Noise Problem in Atmospheric Response Studies». *Royal Meteorological Society* (1979), s. 251–259. https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_3030122.
- [8] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud og andre (red.) «Summary for Policymakers». In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Del 2:

Parisi og «spinn-glass»: Kompleksitet i et større perspektiv

Arne T. Skjeltnor Institutt for Energiteknikk og Fysisk inst., UiO

Kompliserte versus komplekse systemer og prosesser

For å forstå hva kompleksitet handler om, er det nyttig å skille mellom kompliserte- og komplekse systemer og prosesser. «Tradisjonell vitenskap» utmerker seg med enkle lover og likninger med forutsigelser om hva som kommer til å skje, men møter betydelige begrensninger og egner seg dårlig for komplekse systemer.


Et metaforisk eksempel på et komplisert system er en bil, sammensatt av tusenvis av deler som vekselvirker og som følger nøyaktig, enkle, kjente og uforanderlige årsak- og virkningsregler. Den kompliserte bilen kan altså være bra forstått ved bruk av vanlige tekniske analyser. En samling av biler som kjører nedover en motorvei, derimot, er et komplekst system. Sjåførene samhandler og justerer gjensidig sin oppførsel basert på forskjellige faktorer som vaner, følelser, oppfatninger og forventninger. Bortsett fra noen begrensninger pålagt av fysiske lover som gjelder for kjøretøy-bevegelser, kan trafikkflyt faktisk ikke forutsies med sikkerhet. Ingen sjåfør har full kontroll, og det er ingen enkel protokoll for å nå et reisemål til en bestemt tid.

For å forstå trafikk og bygge bedre motorveier, sette fartsgrenser, installere automatiske fartskontroller, osv. for å øke trafiksikkerheten er det nyttig å ha verktøy som kommer fram til empiriske kvantifiserte resultater og forutsigelser. Komplekse systemer består altså av mange forskjellige vekselvirkende deler og kan ha et stort antall komponenter og parametere som styres ved tilfeldigheter og der tilstandene må beskrives ved bruk av sannsynligheter. Sannsynlighetene i seg selv avhenger sensitivt av detaljene i systemet og må også beskrives i form av sannsynligheter!

Et tidlig varsel om kompleksitet og uforutsigbarhet kom fra universalgeniet Henri Poincaré allerede på 1880-tallet. I 1889 feiret kong Oscar II av Norge og Sverige sin sekstiårsdag. Som en

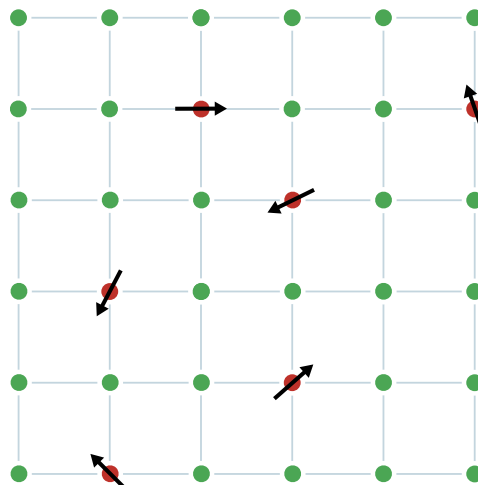
del av festlighetene ble det utlyst en konkurranse – i matematikk. Den fremadstormende franske matematikeren og fysikeren Henri Poincaré tok utfordringen, og skrev en artikkel som tok for seg det berømte trelegemeproblemet som går ut på å bestemme bevegelsen til tre himmellegemer som gjensidig påvirker hverandre med tyngdekraften. Mer presist, beskriv hvordan de beveger seg rundt hverandre, og gitt deres startposisjon og hastighet, forutsi deres posisjon og hastighet når som helst i fremtiden. Konseptuelt er problemet veldig enkelt. Newtons gravitasjonslov forteller oss nøyaktig hva vi kan forvente. Men teori fungerer ikke alltid like bra i praksis. Newton hadde løst problemet med to legemer da han beskrev gravitasjonsloven sin, men det var to århundrer før kong Oscars konkurranse. Tre legemer viste seg å være mye vanskeligere enn to.

Poincaré vant konkurransen og mottok prisen ved en storslått seremoni. Men kort tid etter ble det oppdaget en feil i begrunnelsen hans. Poincaré tok dette tungt og jobbet febrilsk og fikk tilsynelatende fjernet feilen, men han løste aldri problemet med tre legemer. Han hadde kommet til den uunnværlige konklusjonen at kaotisk bevegelse ville oppstå, som vi nå ville kalle fenomenet. Hverken Poincaré eller hans umiddelbare etterfølgere ga noen gang fenomenet et navn. Det ble ansett som mer en plage enn en studieretning.

Komplekse systemer og prosesser har blitt studert av fysikere over lang tid. Grunnlaget for nyere studier ble lagt i andre halvdel av 1800-tallet av James C. Maxwell, Ludwig Boltzmann og J. Willard Gibbs, som utviklet feltet statistisk mekanikk. Dette fagfeltet ble drevet fram av forståelsen av at det ikke var praktisk gjennomførbart å bare bruke Newtons lover, men måtte kombineres med statistikk for å beskrive bevegelser i gasser, væsker og ethvert system som inneholder et stort antall partikler. Store tall gir nye lover. 



Figur 1. Et eksempel på et spinn-glass er en metallisk legering av kobberatomer (grønn) blandet med et lite antall jernatomer (rødt) som har magnetiske spinn. Forskjellige vekselvirkninger mellom spinnene fører til et uordnet arrangement i spinnorienteringen. (Illustrasjon: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)



Heller enn å prøve å finne posisjon og bevegelse for enhver partikkel, brukes statistisk mekanikk til å behandle hver partikkels bevegelse som tilfeldig, for så videre å beregne de gjennomsnittlige fysiske egenskapene til systemet av partikler som en helhet. Temperatur, for eksempel, er den makroskopiske egenskapen til en gass, som kan beregnes som den gjennomsnittlige energien til hver enkel mikroskopisk gasspartikkel. Trykk er den makroskopiske egenskapen produsert av gjennomsnittskraften til et mangfold av mikroskopiske partikler, når de treffer og spretter mot en overflate.

Kompleksitet opptrer i systemer der en ørliten endring i hvordan systemet starter kan endre den videre oppførselen til hele systemet dramatisk, populært kalt «sommerfugleffekten». Uttrykket kommer visstnok fra den amerikanske meteorologen Edward Lorenz, som i et foredrag i 1960-årene angående muligheten av pålitelig langtidsvarsling av været, sa at «vingeslagene fra en sommerfugl i Brasil kan utløse en tornado i Texas».

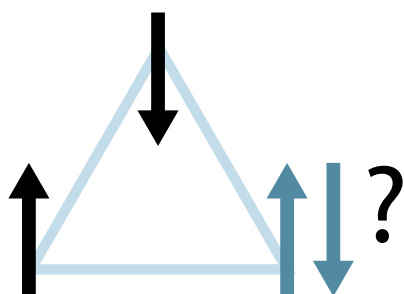
Eksempler på komplekse systemer er turbulens, økonomi, atmosfæren, jordskjelv, pandemier, og mange forskjellige dissipative strukturer [1], som fremkommer i energiforbrukende systemer.

Kompleksitet utforsket med spinn-glass

Giorgio Parisi er født i Roma i 1948, og tok doktorgraden i fysikk ved La Sapienza-universitetet i Roma i 1970. Siden har han arbeidet som forsker ved Laboratori Nazionali di Frascati, ved Columbia University i USA, og ved flere andre universiteter. Han er for tiden professor ved La Sapienza-universitet i Roma, og er president for Accademia dei Lincei, en av Europas eldste vitenskapsorganisasjoner.

Parisi har arbeidet innenfor store deler av fysikken, fra kondensert fasers fysikk til høyenergifysikk. Han er «prototyp» på en teoretisk fysiker med solid kompetanse i matematikk og som arbeider med rent abstrakte, enkle problemstillinger og som finner nytte for det på mange forskjellige områder. Hans hovedtema har vært innenfor komplekse systemer med enkle grunnregler, men som gir opphav til kompleks oppførsel. Et eksempel på et meget visuelt komplekst system, er hvordan en stor flokk med småfugler flyr. Hver for seg har fuglene en grunnleggende enkel oppførsel, men som fører til kompleks oppførsel i flokk.

Kompleksitet opptrer i mange former og i mange situasjoner. En overraskende kime til fundamental forståelse og beskrivelse av kompleksitet skulle vise seg å ligge i konseptuelt enkle, spesielle magnetiske materialer som går under betegnelsen spinn-glass. Innen magnetisme er spinn relatert til en kvantemekanisk egenskap til elektroner. Et spinn kan ha to motsatte retninger, omtrent som en snurrebass som kan rotere mot høyre eller mot venstre. Elektronene kan dermed modelleres som små magneter med to motsatte retninger på magnetiseringen. Et magnetisk materiale som jern kjennetegnes ved at flere elektroner i et jernatom spinner i samme retning og i sum gir et magnetisk moment. Når de magnetiske momentene på atomene peker i samme retning innen et jernstykke sies det å være ferromagnetisk. Spinnene kan altså samkjøre hverandre gjennom vekselvirkninger. Et spinn-glass er derimot et magnetisk materiale med en magnetisk tilstand preget av tilfeldigheter. Et eksempel er vist i Figur 1 som en metallisk legering av kobberatomer blandet med et lite antall magnetiske jernatomer. Når et spinn-glass avkjøles, vil det gå fra en



Figur 2. Eksempel på frustrasjon i en opp ned struktur av spinn. Når et spinn peker opp og det andre ned, kan det tredje ikke tilfredsstille begge på samme tid, fordi nabospinnet helst vil peke i en annen retning. Parisi fant en metode til å ha en optimal orientering. (Illustrasjon: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

paramagnetisk tilstand der spinnene fluktuierer i tilfeldige retninger til en tilstand under en kritisk temperatur T_f der spinnene fryses fast i tilfeldige retninger. T_f avhenger av konsentrasjonen av jernatomer i prøven.

Hvert jernatom opptrer altså som en liten magnet. Ifølge vanlig fysisk teori skulle en tro at alle jernatomene ville justere sine spinn orienteringer i samme retning. Jernatomer spredt gjennom kobber er i stedet frustrerte – noen har spinn som peker i én retning, mens andre peker i den motsatte.

I motsetning til i massivt jern – der spinnene stiller opp i samme retning i et regulært, krystallinsk gitter – er altså arrangementet i et spinn-glass tilfeldig og uordnet fordi vekselvirkningene varierer gjennom materialet og fordi hvert spinn kan være utsatt for konkurrerende krefter der nabospinn foretrekker å peke motsatt vei. La se på en slik situasjon fremstilt i Figur 2. Her er tre spinn like langt fra hverandre. Hvert spinn prøver å justere retningen motsatt til sine to naboer. Det er altså ingen konfigurasjon som tilfredsstiller alle tre preferansene og dette betegnes «frustrasjon». Resultatet blir en situasjon som fører til flere likevektstilstander som alle har omtrent samme energi. Disse likevektstilstandene kan ses som et stort antall daler med lignende dybde i et «energilandskap» assosiert med spinn-glasset.

I 1979 [2] kom Parisi med en enkel og genial løsning for å kartlegge dette landskapet. I stedet for bare å tillate to tilstander, opp og ned, tillot han i sin modell at jernatomene har et «uendelig» antall orienteringer i forhold til hverandre.

Begrepet «ordensparameter» er en viktig størrelse i mange områder av statistisk mekanikk. Ordensparameteren for en ferromagnet har en verdi 1 når alle spinnene peker i samme retning og 0 når de peker i tilfeldige retninger som for en paramagnet. Nettomagnetismen til et spinn-glass er nesten 0 for alle likevektstilstandene. Den

tradisjonelle bruken av en ordensparameter som i magnetisme har dermed liten nytte for å skille de ulike tilstandene for et spinn-glass. Parisi definerte altså en ny type «ordensparameter» som ikke er en enkelt verdi, som de som er definert i andre systemer, men i stedet en fordeling over mange verdier. Og han fant en genial matematisk forenkling, kjent som *replica symmetry breaking* og som kan oversettes til «kopimetoden med symmetribrudd». Den fundamentale sammenheng mellom fysiske lover og symmetrier er ett bærende prinsipp i moderne fysikk, innført av Emmy Noether i 1915 [3].

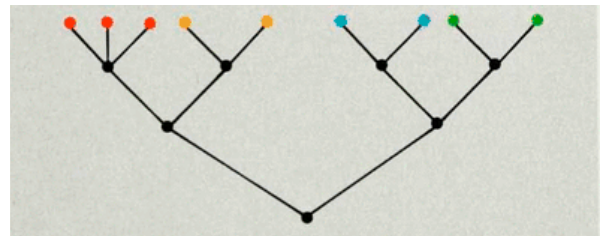
Vanligvis, for systemer der det er enkelt å bestemme grunntilstanden, kan man se på oscillasjoner nær grunntilstanden. Med den frosne eller fastlåste tilfeldige, uorden av spinnene i et spinn-glass, fører det til et system med forskjellige typer magnetiske koblinger mellom spinnene. Dette resulterer i mange forskjellige konfigurasjoner av spinn som har samme energi. Det er her kopimetoden kan benyttes med den såkalte midtelfelttilnærmingen, som er en metode der feltet på hvert enkelt spinn beregnes fra alle andre spinn og så midles det igjen over alle spinnene.

Med kopimetoden kan en forestille seg at en lager to kopier av et system og lar de to kopiene utvikle seg separat. Noen spinn vil utvikle seg identisk i de to systemene, men med tilstedeværelsen av frustrerte spinn som kan peke opp eller ned (Figur 2), kan kopien utvikle seg annerledes. Løsningen på dette komplekse systemet er i seg selv svært kompleks og det var mange eminente forskere som hadde flere innspill her på veien til Parisi's løsning.

Allerede i 1975 fremmet Sam Edwards og Philip Anderson (Anderson var nobelpristager i fysikk i 1977) en metode som regnet ut gjennomsnittet av konfigurasjonene til mange kopier av systemet som en termodynamisk beregning. Denne modellen ble videreført av David Sherrington og Scott Kirkpatrick til uendelig mange dimensjoner. Dette



Figur 3. Et «ultrametrisk» tre, representerer graden av likhet mellom spinn-glass tilstander, angitt ved fargepunktene, og som forklart i teksten. (Illustrasjon: *Physics Today* 42, Juli 1989, side 9)



trikset forenklet matematikken, men utvidelsen ga negativ entropi ved lave temperaturer, noe som skapte tvil om modellens gyldighet.

Så kom Jairo de Almeida og David Thouless (Thouless var nobelpristager i fysikk i 2016) på banen i 1978. De innså at problemet lå i antagelsen om symmetri i kopiene. Det er så mange tilstander med omtrent samme energi i spinn-glass og med så uklar symmetri at det er vanskelig å finne løsninger som konvergerer og gir konsistente resultater.

Parisi innså at alle disse kopiene var koblet sammen, på samme måte som etterkommere i et slektstre: De kom alle fra en enkelt tilstand med høyere energi. Den underliggende ideen er representert i et såkalt «ultrametrisk» tre vist i Figur 3. Hvert farget punkt representerer en tilstand i systemet. Alle tilstander med samme farge overlapper i samme grad. For å vurdere hvor like to tilstander er, teller en hvor mange noder som passer fra den ene tilstanden til den andre i treet. For eksempel er de røde tilstandene alle en node fra hverandre, og enhver gitt rød tilstand er tre noder fra enten gul tilstand og fem fra noen av de blå eller grønne tilstandene. For alle tre tilfeldige tilstander overlapper minst to av dem med samme antall noder. Dette fører til en ryddig ligning for fordeling av overlappinger.

Det matematiske formel-apparatet Parisi brukte, er en «tour de force» og er derfor altfor komplisert til å gjengis her, men går altså i korthet ut på å innføre symmetribrudd. Et tenkt eksempel på dette er en blyant som står og balanserer på spissen, som er en ustabil likevekt. Det er ingenting som indikerer hvilken vei den vil falle, men når den faller så velges allikevel en eller

annen retning og symmetrien blir brutt. Generelt innebærer det at små fluktasjoner som virker på et system som krysser et kritisk punkt, bestemmer systemets videre forløp, ved å bestemme hvilken gren av en forgreining som tas. Denne prosessen kalles dermed symmetribrudd, fordi slike overganger vanligvis bringer systemet fra en symmetrisk, men uordnet tilstand, til en eller flere andre tilstander.

Parisi fikk dermed på plass en ordensparameter for spinn-glass definert som en entydig fysisk størrelse: Det er en funksjon i intervallet 0–1 og relatert til sannsynlighetsfordelingen av overlappingen av magnetiseringen i forskjellige tilstander av systemet. Det kan vises at den sammenfaller med ordensparameteren som fremkommer ved bruk av den brutte replikasymmetri-tilnærmingen. Ordensparameteren er nøkkelen til å beregne mange egenskaper, som for eksempel å bestemme entropien til systemet og hvor faseovergangen vil skje.

Spinn-glass systemer er ikke-ergodiske

Det bemerkelsesverdige med spinn-glass var at det var enkelt å lage disse legeringene og det ble utført et utall av eksperimenter gjennom hele 1970-tallet. Mange av resultatene var «mystiske» og kunne ikke forklares ut fra tradisjonell statistisk mekanikk. Det gjaldt blant annet dynamiske egenskaper som fikk betegnelsen «aldring» og «hukommelse» som hadde sitt opphav i svært langsomme relaksasjonsprosesser.

Aldring betegnet en prosess med en langsom likevekt av spinnkonfigurasjonen ved en konstant temperatur i spinn-glass-fasen etter bråkjøling fra høy temperatur. Aldringen i spinnkonfigura-



Figur 4. Komplekse nettverk som en finner for eksempel i datanettverk, biologiske nettverk og sosiale nettverk. (Illustrasjon: OECD Global Science Forum Report on Applications of Complexity Science for Public Policy: New Tools for Finding Unanticipated Consequences and Unrealized Opportunities)

sjon blir også «husket» ved ytterligere avkjøling. Disse prosessene kunne dermed etter hvert forklares ved at de metastabile likevektstilstandene i spinn-glasset kan ses som at spinnene gjennomløper et stort antall «daler» i et energilandskap som beskrevet ovenfor. Spinn-glass representerer derfor et komplekst system der tilstandene må beskrives ved bruk av sannsynligheter. Sannsynlighetene i seg selv avhenger sensitivt av detaljene i systemet og må med andre ord også beskrives i form av sannsynligheter.

De mystiske, dynamiske oppførselene til spinn-glass nevnt ovenfor kan forklares ut fra en bemerkelsesverdig egenskap ved disse systemene – at de er «ikke-ergodiske». Et termodynamisk system er ergodisk når det, gitt en hvilken som helst likevektstilstand av systemet, til slutt gjennomsøker alle andre mulige likevektstilstander med samme energi. Et kjennetegn ved spinn-glass-systemer er at under frysetemperaturen T_f , er tilstandene fanget i et ikke-ergodisk sett av tilstander. Det innebærer at systemet kan fluktuere mellom flere tilstander, men kan ikke bevege seg til andre tilstander med tilsvarende energi. Systemet kan dermed ikke slippe unna dype minima i det hierarkisk uordnede energilandskapet. En får da et såkalt ultrametrisk energilandskap, der relaksasjoner foregår parallelt med ulik hastighet i forskjellige deler av spinn-glasset uten direkte kontakt.

For fysiske systemer, som litt jern i kobber, er frysetemperaturen T_f typisk så lav som 30 kelvin. Selve spinn-glass-legeringene har, så vidt vites, ingen kjente praktiske anvendelser så langt. De ikke-ergodiske tilstandene og de robuste energilandskapene er imidlertid ganske nyttige for å

forstå oppførselen til visse nevralt nettverk, samt mange problemer innen informatikkoptimalisering og genetikk.

Kompleksitet i et større perspektiv

Kompleksitet utforsket av Parisi med spinn-glass som modellsystem, har dermed revolusjonert måten man kan forstå og beskrive mange forskjellige og tilsynelatende helt tilfeldige fenomener på. Anvendelsene av Parisi-tilnærmingen har derfor nådd langt utover spinn-glass og brukes av forskere på et bredt spekter av komplekse felt, som for eksempel kunstig intelligenssystemer, nevralt nettverk, biologi, strukturelle glass, granulære medier og finansmarkeder. Den metaforiske verdien av spinn-glass-forskningen vil trolig bli viktig på mange komplekse områder i fremtiden.

Dette illustrerer kjernen i store oppdagelser i fysikk: De er basert på grunnforskning og har en iboende universalitet og nytte på områder som ikke var ventet. ■

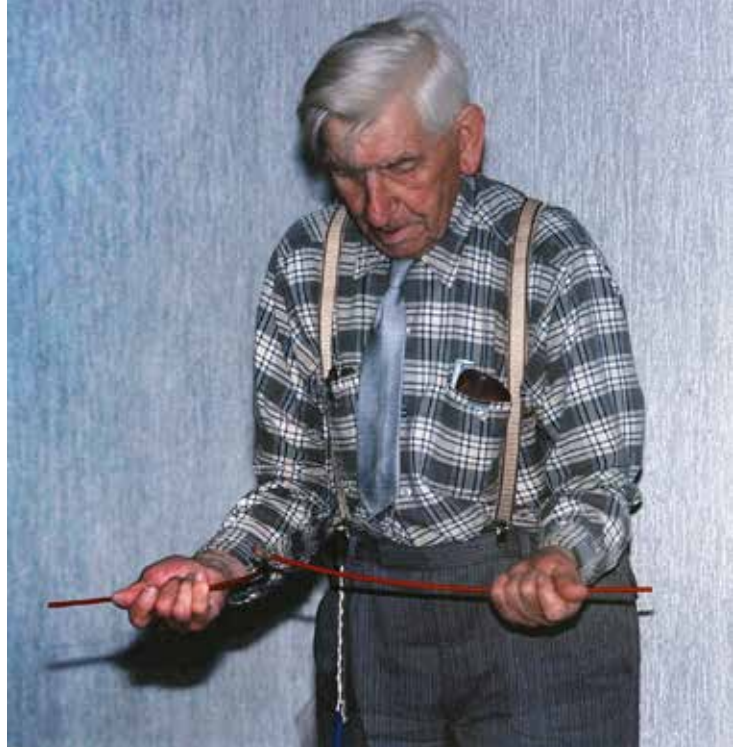
Referanser

- [1] N. Goldenfeld og L.P. Kadanoff. «Simple Lessons from Complexity». *Science* **284** (1999), Issue 5411, s. 87–89.
- [2] Giorgio Parisi originalartikkel: G. Parisi. «Infinite Number of Order Parameters for Spin-Glasses». *Phys. Rev. Lett.* **43** (1979) s. 1754–1756.
- [3] Emmy Noether og symmetribrudd: https://en.wikipedia.org/wiki/Noether%27s_theorem

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

Ønskevistfenomenet – del 2: Rapport fra en vitenskapelig studie

Arnt Inge Vistnes Emeritus, Fysisk institutt, UiO



Figur 1. Kvistgjenger i aksjon. Dette er Alv Vistnes, min farfar (også kalt «Vistemannen»). Her under aksjon i vårt prosjekt. Alv Vistnes var da 91 år gammel.

For å få inn vitenskapelig tenkemåte i befolkningen kan det være nyttig å berette om hvordan fysikk, logisk tenkning og vitenskapelige metoder kan brukes også på problemstillinger folk flest har mulighet for å kunne forstå. Det kan gi bedre kompetanse i samfunnet om hvordan vi kan finne ut hva vi kan stole på og ikke.

I del 1 av denne artikkelen fortalte vi litt om folketradisjonen knyttet til «jordstråling» og «vannårer». I del 2 skal vi fortelle om en grundig dobbelt blind undersøkelse av tradisjonene der mange kjente «kvistgjengere» deltok.

Innledning

Ifølge folketradisjonen finnes det mennesker som synes å ha en egen evne til å påvise «jordstråling» fra «vannårer» eller malmforekomster i bakken. Men er jordstråling en eller annen form for fysisk stråling? Og kan det hende at enkelte mennesker er langt mer følsomme for slik stråling enn andre? Vi gjennomførte en dobbelt blind studie for noen år siden som ikke har vært publisert før nå.

Forhistorien for prosjektet

Forhistorien for dette forskningsprosjektet er ganske sammensatt, men la oss forsøke å få fram det viktigste. Jeg startet opp ca. 1985 på et nytt spennende forskningsfelt. Det var publisert en artikkel som viste statistisk korrelasjon mellom kreftforekomst hos barn og det å bo nær en kraftledning. Kunne det være slik at svake lav-

frekvente elektriske og magnetiske felt kunne gi en skadelig effekt på kroppen? Forskning hadde allerede vist at dersom disse feltene var sterke nok, kunne de forårsake trigging av nerver og muskler, men da var feltene om lag 10 000 ganger sterkere enn det vi får nær kraftledninger. Men kunne det være skadelige effekter også ved de svakere feltene?

Vi var noen titalls forskere her i landet som gikk bredt ut i ulike undersøkelser. Vi beregnet felter, målte felter, utsatte planter, celler og dyr for felter og lette etter effekter. Vi var med på til dels store epidemiologiske undersøkelser, ofte knyttet til spesielle arbeidsmiljø. Vi var også spesielt interessert i såkalte «el-overfølsomme», for disse menneskene kunne jo muligens være særs følsomme for slike felter. Kanskje de kunne gi oss en nøkkel til en bedre forståelse av virkningen av svake elektromagnetiske felt på kroppen? Det er jo kjent at fugler har en form for «magnetoreception», at de kan føle det relativt svake jordmagnetfeltet. Da kunne det jo hende at mennesker også hadde mekanismer som ble påvirket av svake magnetfelt.

Det var på den tiden en hypotese om at jordstråling egentlig bare er inhomogeniteter i Jordens magnetfelt. Geologer bruker iblant følsomme magnetometre for å påvise malmforekomster i nærmeste jordlag. Kunne det hende at «el-overfølsomme» faktisk har en evne som på sett og vis svarer til følsomme magnetometre?

Jeg fikk en idé. Min farfar var Alv Vistnes, kjent som «Vistemannen» (Figur 1). Han mente at folk ble syke dersom de oppholdt seg mye på steder der det var mye «jordstråling». Han var slett ikke alene om å mene dette. Symptomene som ble tilskrevet «jordstråling» var ikke vesensforskjellige fra symptomer som tilskrives «el-overfølsomhet».

Tidligere erfaringer gjorde at jeg var skeptisk til hans ulike remedier for å «stanse jordstrålingen». Likevel syntes jeg det var interessant nok å gjøre en studie av kvistgjengere generelt som en liten del av forskningen om en eventuell biologisk effekt av svake elektromagnetiske felt på menneskekroppen.

Det første og avgjørende målet med studien var å undersøke om «kvistgjengere» er enige i hvor det er jordstråling eller ikke når de må jobbe helt uavhengig av hverandre, i en dobbelt blind studie. Dersom de greide det, kunne det være en mulighet for at de reagerer på fysiske stimuli, for eksempel magnetfelt.

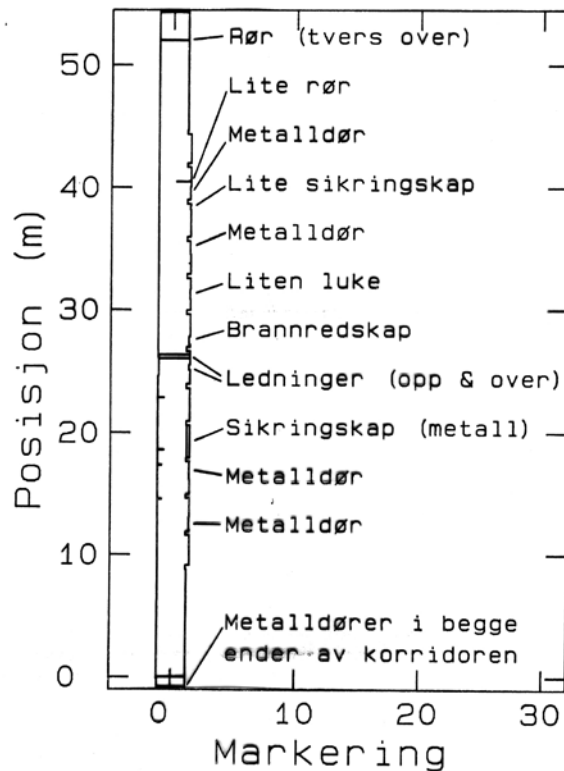
I så fall ville det åpne opp for en ny studie hvor vi gjorde alle tenkelige målinger for å se hva som var spesielt med disse «jordstrålingssonene», og om dette kunne ha sammenheng med hittil ukjente påvirkninger på kroppen. I så fall kunne det kanskje gi noen hint om mekanismer bak biologisk effekt av svake elektriske og magnetiske felt.

Gjennomføring

Grunnlaget for studien var karakteristiske trekk ved jordstråling slik de er beskrevet i litteraturen [1–3], og som jeg også hadde møtt i min kontakt med min farfar. Her er det viktigste:

Jordstråling opptrer i vertikale, plane soner og disse sonene er stabile over tid. Jordstrålingen går temmelig uhindret gjennom husvegger (uansett om det er treverk eller mur), og sonene er vel avgrenset fra omliggende områder. Sonene er bare i størrelsesorden centimeter til desimeter brede, men kan være opp til mange meter lange. Det er ingen «diffraksjon»: Sonene er like smale høyt oppe i et hus som langt nede. En rekke av disse karakteristiske trekkene skriker av manglende fysikkforståelse, men det er likevel disse karakteristiske trekkene vi måtte legge til grunn i studien.

Det var viktig å få med så mange og så kjente kvistgjengere som mulig. Siden jeg hadde litt kontakt med miljøet allerede, og det fantes en



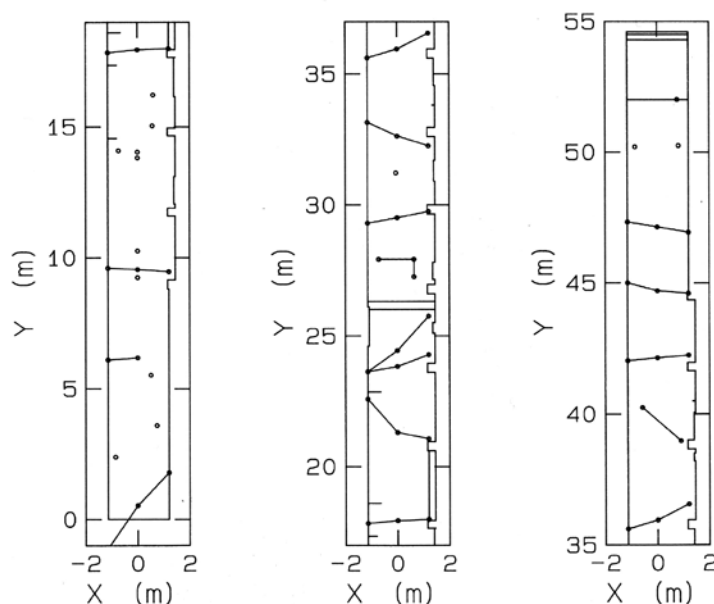
Figur 2. Detaljer synlige langs den lange korridoren der kvistgjengene skulle påvise jordstrålingssoner.

«bransjeforening», Forening for naturlige søkemotoder, var det relativt lett å få med seg «kvalifiserte» folk. Forsøkspersonene kom fra mange ulike steder i Sør-Norge, og de betalte reisen sin selv og fikk ikke økonomisk vederlag for å stille opp. At fremmøtet likevel var så stort, tyder på at de mente studien var viktig. Vi fikk med alle kvistgjengene sør for Dovre jeg hadde oversikt over på den tiden, sånn som Walter Kraus, Nils Fårlund, Sverre Øksne, Jarl Jørstad, Johan Stivimoen, Per Bjørnstad, Claes Nyegaard, Gunnar Arnesen og Alv Vistnes (min farfar) og så videre. Alt i alt var det 25 personer. Det var tre kvinner blant disse.

Hver forsøksperson fylte ut et fem siders spørreskjema der de ga en kommentar til eksperimentet de var med på, hva slags «ønskekvist» de brukte, egne erfaringer som kvistgjenger, deres erfaring med mulig skjerming for jordstråling, deres egen oppfatning om hva jordstråling kunne være. I tillegg ble det åpnet opp for en lengre mer generell kommentar for dem som ønsket det. Vi fikk tilsendt mange A4-sider med mer detaljer om deres oppfatninger.

Opplysninger av interesse: 18 brukte ønskekvist, 6 søkevinkel og 1 pendel. Jordstrålingssonenes «tykkelse» mente to personer var kun 1 mm, tre personer 3 cm, åtte 10 cm og tre personer mente sonene var om lag 30 cm «tykke» (bredde på tvers av sonene). Og viktigst: 18 personer mente de

Figur 3. Eksempel på registrerte jordstrålingssoner for forsøksperson med kode 19. Hver liten sirkel hadde personen markert funn med en gul tapebit. De funnene som han mente hørte til samme sone er forbundet med streker. Korridoren er stykket opp i tre omtrent like lange biter for å få bedre lesbarhet. Denne personen fulgte ikke helt anvisningene vi hadde gitt på forhånd, ved at vi først og fremst ville ha markeringer langs midtstripen.



fant de samme sonene som andre kvistgjengere, to svarte delvis, og to svarte nei.

En viktig detalj er at ingen kritiserte forsøksoppsettet og valg av sted, men noen klaget på at de etter hvert ble slitne av søket. Sterk konsentrasjon over tid gir jo ofte en slik reaksjon.

Studien skulle være dobbelt blind. Jeg ønsket derfor at forsøkspersonene skulle jobbe helt alene, ikke skulle kunne se på hverandre og at det var svært vanskelig for dem å formidle til hverandre hva de hadde funnet. Av den grunn ble det, med ett unntak, kun en kvistgjenger per dag.

En lang, ensformig kjellerkorridor i Kjemi-bygget på Blindern ble valgt, blant annet fordi det var få mennesker som passerte gjennom den hver dag slik at søket kunne foregå uten mye forstyrrelser. Forsøkspersonen fikk med seg et Brett med ferdig klippede gule tapebiter som de ble bedt om å klistre på gulvet der de mente det var en vannåre. Første prioritet var å markere funnene langs midtlinjen i korridoren (den var markert med blå tapebiter på gulvet). Hadde forsøkspersonen tid og krefter til også å angi retningen på jordstrålingssonen, skulle de i tillegg sette gul tapebit også på gulvet nær veggen, det vil si tre markeringer for hver sone. Korridoren var 54 meter lang og 2,35 meter bred (se Figur 2).

Forsøkspersonene fikk nøye beskjed om reglene, og instruksjon om hvor de kunne finne meg når de avsluttet søket sitt. Jeg selv holdt meg på kontoret mens forsøkspersonene jobbet, og da de var ferdige gikk vi sammen gjennom korridoren slik at jeg fikk klarlagt i detalj hvordan de hadde brukt tapebitene for å markere sonene de hadde funnet. Etter at forsøkspersonen hadde forlatt Blindern

gikk jeg gjennom alle funnene med målebånd og registrerte plasseringene til alle de gule tapebitene og hvilken jordstrålingssone de hørte til. Notatene ble umiddelbart låst ned og de gule tapebitene omhyggelig fjernet. Måledataene ble med vilje ikke analysert på noe vis før alle var ferdige.

Kvistgjengerne gjennomførte sine søk i perioden februar–september 1987, med topp aktivitet i juni og august.

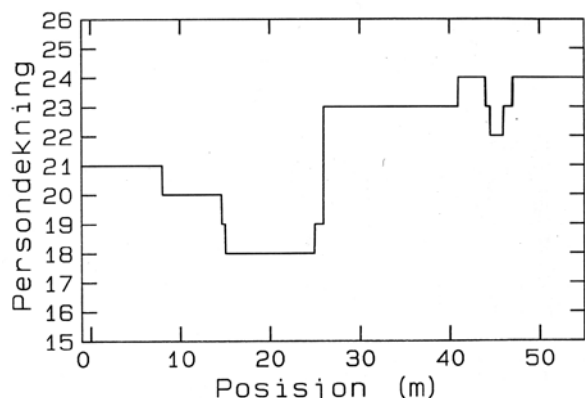
Resultater

Resultatene for hver enkelt forsøksperson ble plottet inn i et kart av korridoren. Ett eksempel er gitt i Figur 3. En fullstendig oversikt er tilgjengelig på www.norskfysisk.no/filer/FFV/kvistgjenger.pdf.

Det var stor variasjon i antall soner som ble påvist av de ulike kvistgjengerne. Minst antall var 2 og størst 183 soner. I den detaljerte analysen av resultatene valgte vi å se bort fra disse to ekstremene. De resterende 23 personene fant mellom 5 og 42 soner.

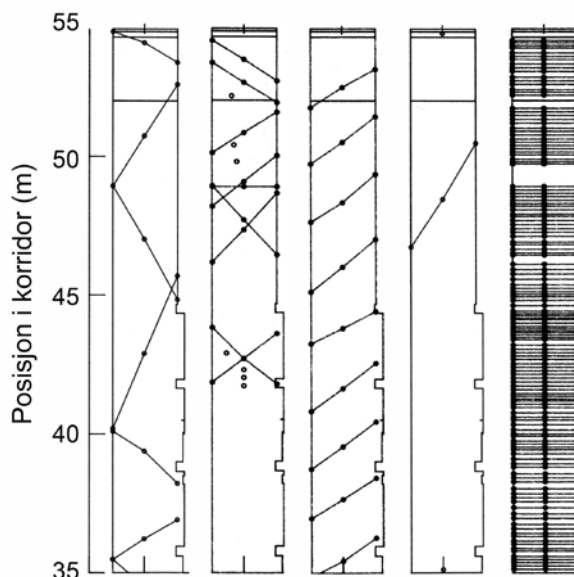
Ikke alle rakk å søke gjennom hele korridoren. Figur 4 viser hvor mange kvistgjengere som dekket ulike deler av korridoren.

Det var ikke bare stor variasjon i antall soner de ulike personene påviste. Det var også stor variasjon i mønsteret sonene dannet. Noen fant at sonene var spredt ut, andre at de opptrådte som par eller klumpet seg i bestemte områder. Det var også stor variasjon i retning på sonene i de tilfellene at forsøkspersonene hadde angitt retninger. I Figur 5 har vi gjengitt fem ulike resultater for siste tredjedel av korridoren (men her har vi også inkludert responsen hos den personen som fant 183 soner totalt). Hensikten med figuren er å vise



Figur 4. Antall personer som aktivt søkte etter soner i de ulike deler av korridoren.

> **Figur 5.** Fem eksempler på påviste soner for fem ulike kvistgjengere i den siste tredjedel av korridoren. Eksemplet til høyre var ekstremt og ble utelatt fra den mer detaljerte analysen.



at det har vært krevende å finne en god måte å analysere resultatene på!

Jeg må innrømme at jeg på forhånd hadde et svakt håp om at det kom til å bli et relativt klart samsvar mellom registreringer til flere kvistgjengere – ikke nødvendigvis for alle, men for en undergruppe av spesielt dyktige kvistgjengere i det minste. Det var forutsetningen for at vi kunne gå videre i prosjektet og måle ulike felter i de aktuelle områdene i et forsøk på å finne en mulig kilde til biologisk effekt. Slik gikk det ikke.

Vi har gjennomført en rekke ulike analyser for å finne mulige korrelasjoner mellom enkeltpersoner eller grupper av personer. De fleste analysene er basert på histogrammer der vi har variert på intervallbredder og nullpunkt. Vi har også forsøkt å erstatte punktmarkeringer med gaussiske kurver av ulik bredde for å se om det da framkommer noe mer av interesse. Vi har også vurdert om det er en opplagt korrelasjon mellom retningene på jordstrålingssonene for de personene som registrerte retninger.

Figur 6 viser et eksempel på et histogram som viser antall soner påvist innenfor 30 cm intervaller langs hele korridoren. Kun skjæringspunkt mellom soner og midtlinjen langs korridoren er benyttet i analysen. Vi ser topper og bunner, og man kan være fristet til å tro at toppene virkelig viser områder i korridoren hvor det er relativt stor enighet i at det er en jordstrålingsone. Er for eksempel toppen ved posisjonen ca. 28 m et tegn nettopp på en enighet om at her er det virkelig en jordstrålingsone? Eller er topper som dette bare statistiske variasjoner uten noe reelt bak? Hvordan bør man konkludere?

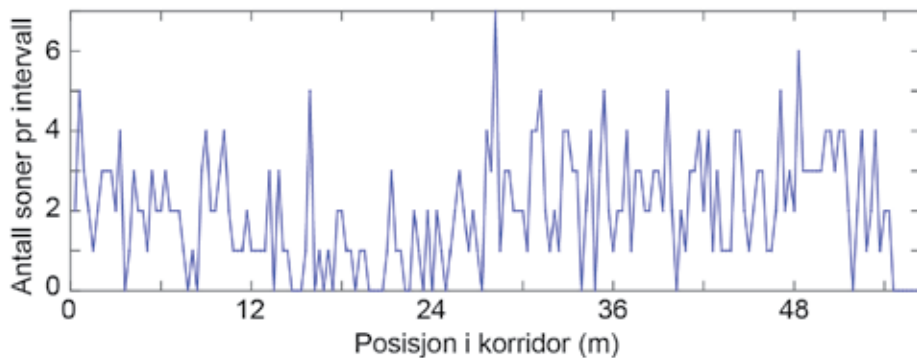
Videre analyser

Det er naturlig å ta utgangspunkt i kvistgjengernes egne erfaringer når vi skal analysere resultatene. De viktigste detaljene i denne sammenheng er at 15 av de 25 mente at jordstrålingssonene kunne bestemmes med en nøyaktighet på 10 cm eller bedre. Det betyr at dersom vi forskyver våre 30 cm intervaller 10 cm og så 10 cm til, bør reelle topper være like kraftige i minst to av de tre analysene. Det viste seg å ikke holde stikk. Ingen av de mest markante toppene beholdt sin dominans i to slike analyser.

Den neste interessante detaljen er den at 18 av de 25 forsøkspersonene mente at de fant de samme sonene som andre kvistgjengere. Dette var nok erfaringer basert på ikke-dobbelt blinde forsøk. Dersom denne erfaringen hadde rot i reelle felter, skulle man tro at de største toppene i histogrammene burde ha verdier på om lag 75 % av antall personer som aktivt søkte etter soner i de ulike deler av korridoren. Tar vi utgangspunkt i Figur 4 burde vi hatt histogramtopper på bortimot 18, spesielt i området fra ca 27–54 m i korridoren. Analysen vår viser topper på maksimum 7–8. Det tyder på at resultatet ved dobbelt blindt opplegg er svært forskjellig fra situasjoner der folk ser på andre som er i gang med sine søk. Oppfatningen om at jordstråling er noe reelt blir da kraftig svekket.

Den siste analysen vi har foretatt går i samme retning. Dersom vi tar utgangspunkt i at kvistgjengernes utslag er fullstendig tilfeldige, og at de ikke har sammenheng med noen reell «jordstråling», bør vi kunne bruke vanlig Poisson-statistikk og få omtrent samme karakteristiske fordeling som det vi observerer.

Det ble totalt påvist 368 soner langs midtlinjen ▶



Figur 6. Histogram som viser antall soner påvist innen 30 cm intervaller, her med nullpunkt 20 cm fra begynnelsen av korridoren.

(når funnene til den mest ekstreme forsøkspersonen var tatt ut). Det var 185 30 cm-intervaller langs korridoren. Teller vi opp hvor mange intervaller som har 0, 1, 2, ..., 6, 7 funn innen intervallet, og sammenligner med Poisson-statistikk, får vi resultatet vist i Tabell 1.

Vi ser at våre eksperimentelle resultater ligger svært nær de teoretiske for ren tilfeldighet. Siden ikke alle kvistgjengerne dekket hele korridoren, vil vi måtte forvente at det ble litt høyere antall treff i enkelte intervaller eksperimentelt enn det Poisson-statistikken tilsier, fordi den er basert på helt lik sannsynlighet for treff i alle intervallene i korridoren.

Vi testet ut statistikken også når vi forflyttet nullpunktet for intervallene. Tallene varierer da litt, men er hele tiden nær opp til Poisson-statistikken.

Vi har også forsøkt å sammenholde resultater fra utvalgte mindre grupper av kvistgjengere for å se om vi kunne finne mer overbevisende samsvar innbyrdes i den lille gruppen, men heller ikke det har ført fram til en korrelasjon mellom funnene.

Konklusjon

Basert på totalmaterialet vi har tilgjengelig er det da vanskelig å komme bort fra følgende konklusjon: Hypotesen om at det finnes reell «jordstråling» som kvistgjengerne kan detektere ved sine hjelpemidler (ønskekvist, søkevinkel, pendel), må forkastes. Resultatene tyder på at deres funn under dobbelt blinde forhold, er fullstendig tilfeldige.

Legg merke til at vi ikke konkluderer med at «jordstråling» ikke finnes. Det ville vært et ikke-vitenskapelig utsagn, for hvordan skulle et slikt

utsagn kunne falsifiseres? Vi har kun falsifisert en hypotese om en mulig sammenheng mellom kvistgjengernes funn og en hypotetisk jordstråling.

Foreløpige resultater ble lagt fram muntlig for interesserte i en forelesning i Fysikkbygget ved UiO 27. mai 1988. På den tiden hadde vi ennå ikke foretatt en systematisk analyse basert på Poisson-statistikk, og vi kunne da ikke konkludere så skarpt som vi gjør nå. Likevel var resultatene såpass entydige at vi innså at prosjektet ikke kunne bidra til å finne nye mekanismer for biologisk effekt av svake elektromagnetiske felt. Den gang anså vi resultatene som så lite viktige at vi droppet å lage en skriftlig rapport for hele prosjektet. I en helt annen setting er imidlertid resultatene interessante, og det er grunnen til at vi nå endelig gir en skriftlig fremstilling.

Sammenligning med annen undersøkelse

Omtrent samtidig med at vi gjorde våre undersøkelser her i Oslo, pågikk det et liknende eksperiment i Tyskland uten at vi kjente til dette [4]. De ønsket også å kjøre dobbelt blindt, og bygde en 10 m lang rett, innkapslet gangvei uten vinduer av tre, og fikk mange kvistgjengere til å gå i denne gangveien og angi hvor de mente det var jordstråling. Denne gangveien var plassert på hjul, og man kunne endre på posisjonen til hele gangveien fra ett forsøk til det neste for å sjekke om forsøkspersonen fikk utslag på samme sted i forhold til terrenget, selv om gangveien var flyttet på.

I utgangspunktet høres opplegget deres meget bra ut, men ved litt ettertanke ser man svakheter. Det ble ingen virkelig dobbelt blindt forsøk, fordi

Tabell 1. Resultater fra eksperimentet.

Antall treff i intervallet	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Eksperimentelt	26	44	48	35	20	6	1	1	0
Ren Poisson-statistikk	25	50	50	33	17	7	2,2	0,6	0,16



Figur 7. 3 av 25 deltakerne på vårt forskningsprosjekt, her på en samling jeg mener var arrangert av Foreningen for naturlige søkemetoder. Fra venstre til høyre: Per Bjørnstad, Alv Vistnes og Nils Fårlund.

forsøkspersonene måtte geleides inn i gangveien, og her ligger det muligheter for ikke-verbal informasjonsoverføring.

Resultatene fra de tyske forsøkene var likevel langt på vei identiske med våre. Det var ingen samsvar mellom utslagene til en forsøksperson og utslagene til en annen. Dette var hovedfunnet! Derimot fant de at omtrent 1/10 av forsøkspersonene fikk noen utslag på samme sted (i forhold til bakken) når de sammenlignet funnene til en og samme kvistgjenger ved to ulike søk – selv om gangveien var flyttet mellom de to søkene. Basert på denne detaljen, konkluderte studien med at de nå hadde vitenskapelig bevist at jordstråling må være et reelt fysisk fenomen [4].

Selv er jeg ikke overbevist over deres forskningsprosjekt. For det første er jeg ikke sikker på at det var 100 % dobbelt blindt. For det andre synes jeg statistikken de bruker er kritikkverdig og ikke tar utgangspunkt i en og samme troverdig modell for utstrekningen av jordstrålingsoner (dersom de er reelle). De synes å bruke ulik modell for hvert enkelt datasett.

Resultatene deres er såvidt jeg kjenner til bare publisert i en bok utgitt på eget forlag, og ut fra hva vi leser i boka har prosjektet blitt kritisert allerede før boka (deres rapport) ble ferdig skrevet. Jeg tar ikke resultatene deres som bevis på at «jordstrålingsoner eksisterer».

Til slutt enda en kommentar:

Det er fort gjort å latterliggjøre folk som «tror på jordstråling» eller liknende. Riktignok synes jeg at enkelte hadde oppfatninger som jeg mente var ulogiske og som brøt kraftig med mine egne tanker.

Det var likevel helstøpte, ærlige mennesker jeg møtte, så langt jeg kunne bedømme, og jeg oppdaget aldri noen som bevisst jukset eller oppførte seg etisk klanderverdig. Flere av kvistgjengerne hadde høyere utdanning, men bare et par hadde litt forskererfaring (innen andre fagfelt).

Jeg hadde, og har fortsatt, respekt for alle de 25 som deltok i vår litt omfattende studie, men jeg må innrømme at jeg er litt mer blandet i min bedømming av personen som overhodet ikke var villig til å ta inn over seg at han kanskje hadde tatt feil med hensyn til kobberplatens evne til å skjerme for jordstråling (nevnt i del 1 av denne artikkelen).

Epilog

Vårt prosjekt viste hvor viktig det er å bruke dobbelt blind studier når man studerer mulige virkninger på mennesker. Det er her naturlig å trekke inn et litt beslektet tema: el-overfølsomhet. Det er en lidelse som er meget utbredt i dagens samfunn. Som vi har sett i vår studie av «jordstråling» er dobbelt blind studier alfa og omega når man skal bedømme mulige reelle fysiske årsaker til påvirkninger på mennesker. Pussig nok er det svært få slike studier innen el-overfølsomhet. Det gir rom for ettertanke. ■

Referanser

- [1] T. Winje. *Ønskekvisten. Søking med kvist og pendel*. J.W. Cappelen forlag (1983). 103 sider.
- [2] C. Bird. *The divining hand. The 500-year-old mystery of dowsing*. E.P. Dutton, New York (1979). 340 sider.
- [3] K. Osswald og andre. *Zur Klärung der Wünschelrutenfrage. Heft 13*. Von R. Oldenbourg verlag (1930). 72 sider.
- [4] H.L. König og H.-D. Betz: «Erdstrahlen? Der Wünschelruten - Report. Wissenschaftlicher Untersuchungsbericht». Eigenverlag H.L. König og H.-D. Betz, München (1989). 270 sider.



Chris Hall

(1953–2021)

Det er med tungt hjerte at vi meddeler at vår kjære kollega, professor Chris Hall, gikk bort den 9. august 2021. Han ble født 31. mai 1953 i Bury i England hvor han vokste opp. Etter bachelorstudier ved Universitetet i Edinburgh i 1980, hvor han også møtte sin første kone, jobbet Chris i British Aerospace og som selvstendig næringsdrivende innen programutvikling i noen år. Han kom til Norge og Tromsø i 1983 sammen med sin kone, som hadde fått jobb ved EISCAT-anlegget i Tromsø. I 1984 ble han engasjert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) i driften av PRE-radaren og ulike programmeringsoppgaver ved Nordlysobservatoriet. I 1988 fullførte Chris sin cand.scient.-grad ved Universitetet i Tromsø og han oppnådde graden dr.philos. fra samme sted i 1990.

I forbindelse med oppbyggingen av Universitetsstudiene på Svalbard var Chris kurskoordinator der i 1993, et opphold som nok vekket hans kjærlighet til Svalbard. Fra 1995 jobbet han som forsker ved Nordlysobservatoriet. Fra 2001 til 2013 var han nestleder ved Tromsø Geofysiske Observatorium, for så å ta over observatorielederrollen som han hadde frem til sin død.

Som geofysiker har Chris hovedsakelig jobbet med ionosfærefysikk og prosesser i den midlere

atmosfære og utforsket disse ved hjelp av radarsystemer som EISCAT, PRE-radaren, meteorradarer og ionosonder. Chris Hall etterlater seg et imponerende forskningsarbeid med mer enn 150 publiserte arbeider hvorav ca. 90 som første-forfatter. Hans arbeid føyde seg naturlig inn i en rik internasjonal forskningstradisjon innen ionosfærefysikk, og faktisk var en av pionerene innen fagfeltet, doktor W.R. Piggott fra Storbritannia, førsteopponent ved hans doktordisputas.

Gjennom sitt virke på Nordlysobservatoriet traff Chris etter hvert Marit som han fikk sønnen Eric sammen med. Chris og Marit giftet seg i 2015. Chris etterlater seg også to barn fra sitt første ekteskap, Robert og Michael.

Helt til siste stund snakket Chris om sitt brennende ønske om å komme tilbake og fortsette arbeidet ved Tromsø Geofysiske Observatorium og ikke minst arbeidet med og reiser til hans hjertebarn SOUSY-radaren på Svalbard. Chris blir dypt savnet blant sine kollegaer her hjemme så vel som fra sitt store kontaktnettverk over hele verden. Vi lyser fred over hans minne.

*Magnar G. Johnsen, Eivind Thrane
og Asgeir Brekke*



Finn Ingebretsen

(1937–2021)

Vår gode kollega Finn Ingebretsen døde 10. september, i en alder av 83 år. Han var et multitalent. Som fysiker behersket han alt i faget – teknisk laboratoriearbeid, eksperimenter, databehandling og teoretisk analyse. Som musiker behersket han både teori og utøvelse. Som person var han beskjeden, klok og tillitsskapende, og fikk mennesker til å fungere sammen.

Finn Ingebretsen var i hele sin yrkeskarriere knyttet til Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo (UiO), først som vitenskapelig assistent og deretter som laboratorieingeniør og førsteamanuensis, før han ble professor i 1992. Det var kjernefysikk som ble hans forskningsfelt, helt fra cand.real. eksamen i 1964. De første årene gjorde han eksperimenter ved den gamle Van de Graaff-akseleratoren til UiO og tandemakseleratoren til Niels Bohr Instituttet i Risø. Da Van de Graaff-akseleratoren i Oslo ble erstattet med en syklotron i 1979, spilte han en sentral rolle i oppbyggingen av laboratoriet omkring syklotronen.

Han hadde tidlig et lengre forskningsopphold ved Chalk River National Laboratories i Canada (1967-1969). Her studerte han vinkelkorrelasjoner og levetider for gammastråling fra eksiterte atomkjerner sammen med verdensledende eksperter som A.J. Ferguson. Han satte selv spor etter seg her og føyde seg inn i rekken av ledende eksperter på området. Arbeidene fra oppholdet i Chalk River sammenfattet han i sin doktoravhandling fra 1972.

Finn var tidlig ute med å erverve seg digital kompetanse. Han var en ener i programmering og behersket alt fra lav-nivå maskinkoding til avanserte fysikkberegninger. Og han var blant de første til å benytte datamaskiner til direkte registrering av data fra eksperimenter. Slik bidro han til å forlenge Van de Graaff-ens relevans langt ut over dens tilmålte levetid. Siden etablerte han dataprogrammer til hjelp for det administrative

arbeidet ved instituttet og var sterkt medvirkende til å bringe hele instituttet «on line».

Han mente at vitenskapelig forskning skal komme samfunnet som helhet til nytte, og han engasjerte seg bredt i spørsmål som angikk stråling, miljø og energi. Han tok opp forskning og undervisning på området og skrev sammen med kolleger bøkene «Stråling og helse» og «Fysikk og energiresurser». På det praktiske plan deltok han i utvikling og kommersialisering av solenergi gjennom firmaet SOLNOR.

Finn Ingebretsen ble betrodd mange viktige oppgaver og verv både innenfor og utenfor universitetet. Han oppsøkte aldri vervene, det var de som søkte ham, ikke bare på grunn av hans allsidige kompetanse, men også på grunn av hans gode menneskelige egenskaper. Ved Fysisk institutt var han i flere år gruppeleder for kjerne- og energifysikk og siden også instituttleder (1984–1988). Han var medlem av Fakultetsrådet i flere perioder og leder av Fakultetets IT-komité. Han var også medlem av Det akademiske kollegium og universitetets EDB-råd og -styre. Innenfor forskningsrådssystemet (NAVF) har han vært medlem av Rådet for naturvitenskapelig forskning, leder for Rådets fysikkfaggruppe og medlem av både CERN-komiteen og EISCAT's styre. Han var også i en årrekke medlem av Olje- og energidepartementets Rådgivende komité for energiforskning (REF). Ut over det nasjonale var han medlem og også en periode leder av Nordisk komité for akseleratorbasert forskning (NORDAC).

Finn Ingebretsen var æresmedlem i Norsk Fysisk Selskap. Sammen med sin kollega Øivin Holter var han redaktør for selskapets tidsskrift *Fra Fysikkens Verden* i over 20 år (1987–2007). I samarbeid med redaksjonssekretæren og kollegaen Karl Måseide gjennomførte de en viktig modernisering og digital omlegging av tidsskriftet. Fra redaktørplass uttrykte de friske synspunkter på norsk forskning og forskningspolitikk.

Til Finns allsidighet hørte hans musikalske talent, som også fysikkmiljøet fikk glede av. Han introduserte faste musikkinnslag med eksterne og interne utøvere på instituttets felleskollokvier. Selv bidro han på flere instrumenter, og ikke minst med sitt eminente trompetspill. Og på instituttets årlige Kringlefest var han en selvskreven pianist.

Vi vil savne Finn med hans lune og tillitsskapende vesen. Vi hedrer hans gode minne.

*På vegne av mange kolleger,
Magne Guttormsen, Eivind Osnes,
John Rekstad og Bernhard Skaali*

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

ISSN-0015-9247

Styret i Norsk Fysisk Selskap

President

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

Visepresident

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

Styremedlemmer

Forsker Annett Thøgersen, SINTEF Oslo, kondenserte fasers fysikk og atomfysikk
Førsteamanuensis Magnus Borstad Lilledahl, NTNU, biofysikk
Postdoktor Audun Theodorsen, UiT, atmosfære-, rom- og plasmafysikk
Professor Håvard Helstrup, HiB, subatomær fysikk og astrofysikk
Professor Jon Samseth, OsloMet, industri- og energifysikk
Professor Astrid Aksnes, NTNU, optikk
Lektor Kaja Nordby, Kongsbakken vgs., Norsk Fysikklærerforening

Vara

Førsteamanuensis Arne Auen Grimenes, Fakultet for realfag og teknologi, NMBU

Adresse

Norsk Fysisk Selskap
Institutt for fysikk, NTNU
7491 Trondheim
Internettadresse: www.norskfysisk.no

Sekretær: Haakon Thømt Simensen
E-post: nfs.styret@gmail.com
Bankgiro: 7878.06.03258
Org.nr.: 940 340 829

Bedriftsmedlemmer

Vi takker for støtten fra
våre bedriftsmedlemmer:



UiO : Universitetet i Oslo

UiT / NORGES ARKTISKE
UNIVERSITET