

Kallluftsutbrott i Arktis · Nobelpriset · Ny sektion

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 4 • DEC 2024



**Så öppnar
du julens
flaskor
med stil**

Svenska Fysikersamfundet

Fysikaktuellt ges ut av Svenska Fysikersamfundet som har till uppgift att främja undervisning och forskning inom fysiken och dess tillämpningar, att föra fysikens talan i kontakter med myndigheter och utbildningsansvariga instanser, att vara kontaktorgan mellan fysiker å ena sidan och näringsliv, massmedia och samhälle å andra sidan, samt att främja internationell samverkan inom fysiken.

Ordförande: Jonathan Weidow,
jonathan.weidow@chalmers.se

Sekreterare: Joakim Cederkäll,
joakim.cederkall@nuclear.lu.se

Skattmästare: Lage Hedin,
lage.hedin@physics.uu.se

Adress: Svenska Fysikersamfundet,
Institutionen för fysik och astronomi,
Uppsala universitet,
Box 516, 751 20 Uppsala

Adress för recensionsexemplar av böcker:
C. Kjellstrand c/o Blenda Journalistik
Rörsjögatan 26
211 37 Malmö

Bankgiro: 5402-5499

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

För medlemsfrågor, kontakta Lage Hedin, 076-231 01 37
eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Sektioner

Inom Fysikersamfundet finns ett antal sektioner som bland annat ordnar möten och konferenser, se www.fysikersamfundet.se för mer information.

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos.
Redaktör är Anders Kastberg.

Fysikaktuellt

Vår medlemstidning utkommer med fyra nummer per år, och distribueras även till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.

Redaktion: Christina Kjellstrand, Måns Henningson, Mats Larsson, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson, Asta Pellinen Wannberg och Elisabeth Rachlew.

Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.

Kontakta redaktionen via:
fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

Manusstopp och deadline för annonsbokning:
för Fysikaktuellt 1/2025 är 13 januari 2025.

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 1 000 individuella medlemmar, stödjande medlemmar (företag och organisationer) och stödjande institutioner. Årsavgiften är 400 kr, dock 250 kr för pensionärer och forskarstuderande, samt 100 kr för grundutbildningsstudenter. Stödjande medlemskap debiteras 4 000 kr per år.

Bli medlem genom ansökan på:
www.fysikersamfundet.se/bli-medlem/ eller med qr-koden.



Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- KOSMOS
- 10 % rabatt på böcker os Fri Tanke förlag.
Ange koden "fysikersamfundet" i kassan på fritanke.se.
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg.
Erbjudandet gäller 10 nr (20 % rabatt).
Länk till beställningssida:
<https://order.flowy.se/fof/fof/4140>

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2024



OMSLAGSBILDEN: Att sabra är inte det enda roliga sättet att öppna flaskor på, till exempel kan man utnyttja allmänna gaslagen. Läs mer på sidan 12.

Foto: Johan Mauritsson. Här ovan syns originalet.
Bilderna på framsidan har delvis kolorerats av Christina Kjellstrand, och bakgrunden har förlängts något i sidled med hjälp av generativ AI.

Stödjande medlemmar

- Gleerups Utbildning AB
www.gleerups.se
- Scanditronix Magnet AB
www.scanditronix-magnet.se
- Myfab, www.myfab.se

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för fysik
- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för rymd och geovetenskap
- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap – MC2
- Göteborgs universitet
– Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad
– IDE-sektionen
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Kungliga tekniska högskolan
– Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan
– Institutionen för tillämpad fysik
- Linköpings universitet – Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Linköpings universitet – Institutionen för naturvetenskap och teknik (ITN)
- Linnéuniversitetet – Institutionen för fysik och elektroteknik
- Luleå tekniska universitet
– Institutionen för teknikvetenskap och matematik
- Luleå tekniska universitet – Institutionen för system och rymdteknik
- Lunds universitet
– Fysiska institutionen
- Mälardalens universitet
– Avd för matematik och fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet
– Institutionen för fysik och astronomi
- Umeå Universitet
– Institutionen för fysik

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 **SIGNERAT**
Jonathan Weidow
- 4 **AKTUELLT**
- 6 **NOBELPRISET 2024**
De byggde artificiella
neuronnät med
fysikmetoder
- 10 **HUR UTSES NOBELPRISET
I FYSIK?**
- 12 **GOD FYSIK**
Fysik för festliga drycker
- 14 **100 ÅR AV
PARTIKELACCELERATION**
- 16 **CEASAR**
Experiment i ett
flygande laboratorium
- 19 **IYPT TILL SVERIGE**
- 20 **AVHANDLINGEN**
När motsatt laddade
joner möter varandra
- 22 **INTERVJU**
Mathias Poline
- 24 **KOSMOS FYLLER 100**
- 26 **JUICE**
På jakt efter kunskap
i Jupiters mån-oceaner
- 28 **JUBILERANDE BETRAKTELSE
OM VÄRMENS DRIVKRAFT**
- 29 **RECENSION**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Hår och paketsnören



FOTO: IRF/ESA

Den europeiska rymdfarkosten JUICE är på väg till Jupiter. Ombord finns bland annat instrumentet RPWI som ska studera de isiga haven på de Galileiska månarna.

Läs mer på sidan 26

Ditt engagemang gör skillnad för samfundet!

Min första kontakt med Svenska Fysikersamfundet skedde år 2010 då jag tillsammans med 30-talet andra fysiker ägnade en lördag på Hvitfeldtska gymnasiet för att rätta uttagningsprovet till Wallenbergs fysikpris. Lokalerna var kända, det var på Hvitfeldtska jag gjorde min praktik för att parallellt med mina doktorandstudier kunna skaffa en ämneslärarexamen. Som doktorand hade jag nämligen upptäckt att det var minst lika roligt att undervisa i fysik som att forska och då passade det utmärkt att kunna göra lärarpraktik på Hvitfeldtska på dagarna för att sedan cykla den korta biten till Chalmers för att göra experiment på kvällarna.

Några år senare bestämdes det att Fysikcentrum i Göteborg skulle stå som värd för en finalvecka i just Wallenbergs fysikpris varpå jag blev involverad i att ta fram ett program för deltagarna, något jag har gjort ända sedan dess. Arrangemanget har blivit en stor succé. Det är många deltagare som har uppgett att det var tävlingen och kringaktiviteterna som har lett till att de efter studenten har valt att studera fysik på universitetsnivå. Att Sverige har fått många framskjutande placeringar i internationella fysikolympiader är en fin bonus.

Det ena ledde till det andra och år 2016 blev jag invald i Svenska Fysikersamfundets styrelse och jag blev därefter tillfrågad om att ta över efter Anne-Sofie Mårtensson som ordförande från 2019. Detta kändes både skrämmande och hedrande på en och samma gång. Anne-Sofie hade lett styrelsearbetet med en sådan bravur. Nu i efterhand är jag väldigt glad över att jag tackade ja. Att få arbeta nära kompetenta och positiva svenska fysiker har varit mycket stimulerande och utvecklande. Uppdraget har inneburit en möjlighet att bli delaktig i andra delar av samfundets verksamheter såsom *Fysikaktuellt*, *Kosmos*, Fysikdagarna, Oseenmedaljen,



FOTO: ANNA-LENA LUNDQVIST, CHALMERS

Lise Meitner-dagarna och mycket annat. Det centrala i dessa verksamheter är att de bygger på ett stort engagemang av samfundets medlemmar och en aktiv styrelse. Det är genom medlemmarnas intresse att bidra som samfundet kan verka och utvecklas!

Från årsskiftet kommer Michael Odelius från Stockholms universitet att leda en ny styrelse. Det är ett utmärkt val av ordförande. Under Michaels ledning arrangerades Fysikdagarna mycket framgångsrikt 2023 av Stockholms universitet tillsammans med KTH. Jag uppmanar dig som medlem att hjälpa Michael och den nya styrelsen med att utveckla samfundet. Fråga dig själv vad du anser att samfundet bör göra och hur du kan bidra.

Jag vill avsluta med att tacka för förtroendet för att ha fått leda Svenska Fysikersamfundet under sex år. På återseende!

JONATHAN WEIDOW
Chalmers



Ny tradition i Lund

■ På UC Berkeley i Kalifornien har de flera Nobelpristagare, och de har en fin tradition. Eftersom parkeringssituationen är utmanande och dyr är traditionen att Nobelpristagare får en egen parkeringsplats.

Nu när Lunds universitet har fått sitt första Nobelpris är det förstås läge att skapa en liknande tradition. Men för att inte uppmuntra onödiga koldioxidutsläpp känns det självklart att Lunds Nobelpristagare får en egen cykelparkering. Anne L'Huilliers cykelparkering invigdes på dagen ett år efter att Nobelpriset annonserades 2023.

HD tar upp meteoritfallet

■ Högsta domstolen kommer att ta upp fallet där en fastighetsägare och två geologer tvistar om vem som har rätt till en meteorit. *Fysikaktuell* har tidigare skrivit om fallet, senast i nr 2/2024.

Rättelse

■ I valberedningens förslag till ny styrelse i *Fysikaktuell* nr 3/24 angav vi fel mandatperiod. Rätt ska vara att den nya styrelsen väljs för perioden 2025–2027

Kritik mot föreslaget meriteringssystem

■ Fysikersamfundets undervisningssektion och lektorsgrupp har i ett gemensamt remissvar kritiserat några punkter i det förslag gällande meriteringssystem för lärare (U2024/01380) som Skolverket presenterat.

– Det måste vara lika värdefullt med extra ämnesstudier innan man tar ut sin lärarexamen som om man fortsatt studera efter sin examen, menar undervisningssektionens ordförande Hans Jakobsson. Men så är det inte i Skolverkets förslag, här förutsätts alla först utbilda sig till lärare och sedan läsa vidare. I grunden är det bra att meritering till det som nu kallas förstelärare styrs upp, men utformningen är inte genomtänkt.

I remissvaret tar föreningarna även upp att det inte nämns något om undervisningsskicklighet i förslaget och att visad sådan borde vara den viktigaste meriteringen. Dessutom är föreningarna tveksamma till nyttan med den föreslagna

obligatoriska skolverkskursen på 7,5 hp – det finns en risk att en sådan endast blir en formalitet.

– Vi är också emot att lektorsbehörigheten förs in i meriteringssystemet på det sätt som föreslås och att själva lektorsbegreppet plockas bort och ersätts av meriteringsnivå 3, säger Fredrik Olsson i lektorsgruppen. För en lärare som disputerat i ett ämne innebär förslaget att det blir avsevärt mycket krångligare att nå nivå 3 än dagens lektorsbehörighet. Det blir därför betydligt mindre attraktivt för forskarutbildade att bli lärare framöver. Det är olyckligt eftersom lektorer med särskilda kunskaper i fysik bidrar till att utveckla undervisningen på ett sätt som gynnar skolan och vi ser gärna att fler forskarutbildade i ämnen söker sig till gymnasieskolan.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
Göteborgs universitet

Lärare fick prova på tävlingsexperiment

■ Den 29 oktober arrangerades lärarfortbildningen Ämnets dag på Göteborgs universitet för ämneslärare i högstadies- och gymnasieskolan. För andra året i rad stod en workshop på schemat där fysiklärare och fysiklärarstudenter fick prova på tävlingsexperiment från finaltävlingen i Wallenbergs fysikpris och den europeiska fysikolympiaden (EuPhO).

Lärarna fick bland annat mäta Plancks konstant med hjälp av lysdioder, undersöka kapillärkrafterna i en disktrasa, använda en fettfläcksfotometer för att jämföra ljusstyrkan hos olika ljuskällor samt försöka lista ut innehållet i en ”optisk svart låda” med hjälp av en laser.

Syftet med workshopen var att sprida information om Wallenbergs fysikpris och den europeiska fysikolympiaden och



FOTO: OSKAR VALLHAGEN

Fysiklärare fick prova experiment från finalen i Wallenbergs fysikpris och EuPhO.

framförallt belysa hur experiment från dessa tävlingar kan användas för att stärka fysikundervisningen i skolan.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON,
FREDRIK OLSSON, JULIA JÄRLEBARK
OCH OSKAR VALLHAGEN



EISCAT:s 32-meters
parabolantenn i Kiruna.

En epok har gått till skroten

■ Söndagen den 13 oktober 2024 revs Kirunas välkända landmärke en mil utanför staden: 32-meters parabolantennen för EISCAT:s trestatiska radarsystem, där de två andra stationerna finns i Tromsø, Norge och Sodankylä, Finland. Antennen invigdes den 26 augusti 1981 av Carl XVI Gustaf. Anläggningen har bidragit till flera tusen vetenskapliga artiklar om norrsken, stimulerade plasmats beteenden, övre atmosfärens fenomen, rymdskrot och stoft i solsystemet – totalt sett ett mycket framgångsrikt och billigt rymdprojekt.

Jag känner ett stort vemod, då jag började min rymdbana som doktorand vid EISCAT:s start, var den trogen under hela min karriär och till och med lyckades introducera den sistnämnda tillämpningen ovan som ett nytt forskningsområde för instrumentet. Den trestatiska funktionen var då unik i världen och gjorde det möjligt att bestämma inkommande rymdpartiklars banor och ursprung. Till min uppmuntran såg jag i 30 års tid den vackra parabolen varje morgon hemifrån sovrumsfönstret.

Radarn kommer att ersättas med det nya EISCAT_3D-systemet som presenterades i *Fysikaktuell* nr 1/2023.

ASTA PELLINEN-WANNBERG
Prof. em. i fysik, Umeå universitet

Nominera till Oseenmedaljen!

■ Samfundets stödjande institutioner inbjuds härmed att nominera en avhandling som framlades under 2024. Förslagen skall vara inkomna senast den **31 januari 2025**.

Vinnare tilldelas Oseenmedaljen, ett diplom och en prissumma på 100 000 kr (prispengarna är från Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond). Avhandlingen och pristagaren presenteras dessutom i *Fysikaktuell*.

Samfundets stödjande institutioner kan nominera vardera ett bidrag. Nomineringar skickas till: Oseenmedaljen@fysikersamfundet.se.

En kort motivering (1–2 sidor) och en länk till avhandlingen ska skickas med nomineringen.

Fortbildning för lärare Vårterminen 2025

Sen anmälan öppnar 13 december!

DISTANSKURSER

Scratchprogrammering för lärare (LFY022)

Programmering i Python och AI (LFY031)

Fysik med didaktiskt perspektiv B:

Ellära & Vågrörelselära (FYF132)

KVÄLLSKURSER

Månen (ASF915)

Astrobiologi (ASF020)

Programmering med Python (FYD095)

C#-programmering I (FYD421)

Livsbedingungen i universum (ASF904)

BEHÖRIGHETSGIVANDE KURSER DAGTID

Teknik 1: Teknikämnet i skolan

& miljöteknik (LGTK12)

Teknik 2: Hållbar utveckling

& tekniska system (LGTK22)

Fysik 1: Miljöfysik & termodynamik (LGFY11)

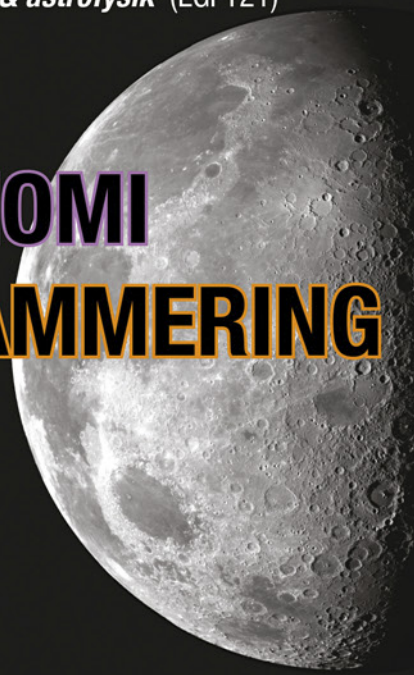
Fysik 2: Vågrörelselära & astrofysik (LGFY21)

FYSIK

ASTRONOMI

PROGRAMMERING

TEKNIK





De byggde artificiella neuronnät med fysikmetoder

Nobelpriset i fysik 2024 tilldelas John J. Hopfield, Princeton University, NJ, USA och Geoffrey E. Hinton, University of Toronto, Kanada, för "grundläggande upptäckter och uppfinningar som möjliggör maskininlärning med artificiella neuronnätverk.

Maskininlärning baserad på artificiella neuronnät har sett en explosionsartad utveckling under de senaste 15–20 åren, med många tillämpningar inom både forskning och det dagliga livet. Årets pristagare, John J. Hopfield och Geoffrey Hinton, har använt begrepp och verktyg från fysiken för att skapa metoder som ligger till grund för denna utveckling.

Historisk bakgrund

Maskininlärning har sina rötter på 1940-talet. Då kom de första elektronikbaserade datorerna, vilka var avsedda att utföra beräkningar som var besvärliga och tidsödande för människan. Mycket snart ställde man sig frågan om datorer också kunde användas för något som vi däggdjur är mycket bra på, nämligen mönsterigenkänning.

Först ut var matematiker och dataloger som utvecklade program baserade på logiska regler. Parallellt med detta började tankar om att se hur biologiska system löser mönsterigenkänningsproblem att ta fart. Redan 1943 hade neurovetaren Warren McCulloch och logikern Walter Pitts föreslagit att neuroner i hjärnan samverkar i grupp; en neuron bildade i deras modell en viktad summa av inkommande signaler från andra neuroner som styrde en binär utgående signal. Deras arbete blev en startpunkt för senare forskning inom såväl biologiska som artificiella neuronnät.

Ett annat tidigt och för fältet viktigt arbete gjordes av beteendevetaren Donald Hebb. Som en mekanism för minnesinlärning föreslog han år 1949 att samtidig och upprepad aktivering av två neuroner i kontakt med varandra leder till

en förstärkning av synapsen dem emellan (figur 1).

Under 1950- och 1960-talen följde en rad studier av nätverk med förenklade neuroner av det slag som McCulloch och Pitts föreslagit. Både återkopplade och enkleriktade nätverk undersöktes. Ett uppmärksammat nätverk av den senare sorten skapades av beteendevetaren Frank Rosenblatt under åren 1957–62, för bildigenkänning. Nätverket bestod effektivt sett av ett lager av in-enheter kopplade till ett lager av ut-enheter. Rosenblatt utvecklade en metod för bestämning av kopplingarna ("synapserna") mellan de två lagren, och arbetet fick stor uppmärksamhet. Dock hade detta nätverk, kallat perceptronen, begränsningar när det gällde icke-linjära problem, med "antingen eller"-problemet (XOR) som ett enkelt exempel på vad det inte klarade av. Dessa begränsningar kan kringgås genom att skjuta in gömda lager mellan in- och ut-lagren, vilket idag är standard. På 1960-talet fanns ingen algoritm för bestämning av kopplingarna hos nätverk med ett eller flera gömda lager (figur 2).

En annan utvecklingslinje tog inspiration från fysiken; system av binära "neuroner" förde tankarna till spinnmodeller för magnetiska system, såsom Isingmodellen (läs mer om spinn och Isingmodellen i *Fysikaktuellt* nr 1/2021). Detta ledde till studier av återkopplade nätverk. Kanske kunde minnen ses som kollektiva fenomen liknande

Årets pristagare



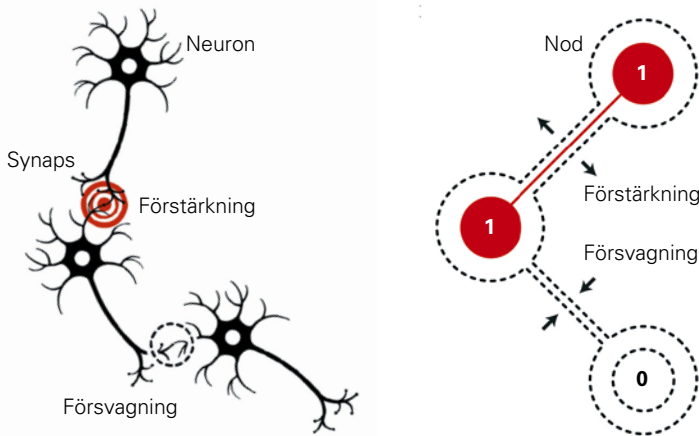
John J. Hopfield

Född 1933 i Chicago, USA. Fil.dr. 1958 vid Cornell University, New York, USA. Professor emeritus vid Princeton University, New Jersey, USA.



Geoffrey E. Hinton

Född 1947 i London, England. Fil.dr. 1978 vid University of Edinburgh, Skottland. Professor emeritus vid University of Toronto, Kanada.



FIGUR 1 Neuronerna i hjärnan (vänster) skickar signaler genom synapser. Vid inlärning förstärks kopplingarna mellan vissa neuroner, medan andra försvagas. Artificiella neuronnät (höger) är uppbyggda av noder som kodas med ett värde och kopplas till varandra. När nätverket tränas görs kopplingarna starkare mellan noder som är aktiva samtidigt, och annars svagare.

domäner i magnetiska system. Tidigt ute med sådana tankar var matematikern Neville Temperley, i ett arbete från 1954. Angreppssättet vidareutvecklades sedan under de efterföljande dryga 20 åren av bland andra fysikern William Little.

Hopfield och energilandskapet

Genombrottet fick vänta till 1982 när den teoretiska fysikern John J. Hopfield publicerade en dynamisk modell för ett associativt minne baserad på ett enkelt återkopplat nätverk. Hopfield inledde sin forskarkarriär inom den kondenserade materiens fysik, men hade redan under 1970-talet hunnit bli ett stort namn inom biologisk fysik, efter banbrytande arbeten om elektronöverföring mellan biomolekyler och felkorrektur i biokemiska reaktioner (*kinetic proofreading*).

Hopfield knöt med sitt nätverk ihop flera olika idéer till en fungerande beräkningsenhet baserad på generella principer, för sparande och återskapande av mönster. Med ett *mönster* menas här ett visst tillstånd hos nätverket. För ett nätverk med N binära enheter s_i (0 eller 1) är mönstren strängar av totalt N nollor och ettor. Kopplingarna mellan enheterna, w_{ij} , bestämdes baserat på Hebb's ovan nämnda mekanism för minnesinlärning. Kopplingarna antogs vara symmetriska ($w_{ij} = w_{ji}$). Dynamiken var asynkron, med uppdateringar av individuella enheter vid slumpmässiga tider enligt en tröskelregel.

Det nya värdet för en enhet s_i bestämdes av en viktad summa över alla andra noder i nätverket,

$$h_i = \sum_{j \neq i} w_{ij} s_j, \quad (1)$$

och sattes till $s_i = 1$ om $h_i > 0$, och $s_i = 0$ annars (med tröskelvärde satt till 0). Antagandet om symmetriska kopplingar var inte biologiskt grundat, utan infördes för att garantera stabil dynamik. Stationära tillstånd hos nätverket identifierades som minnen, fördelade över de N enheterna i en icke-lokal lagring.

En central komponent i Hopfields beskrivning var att nätverket, tack vare kopplingarnas symmetri, kunde tilldelas en energi E , given av

$$E = -\sum_{i < j} w_{ij} s_i s_j, \quad (2)$$

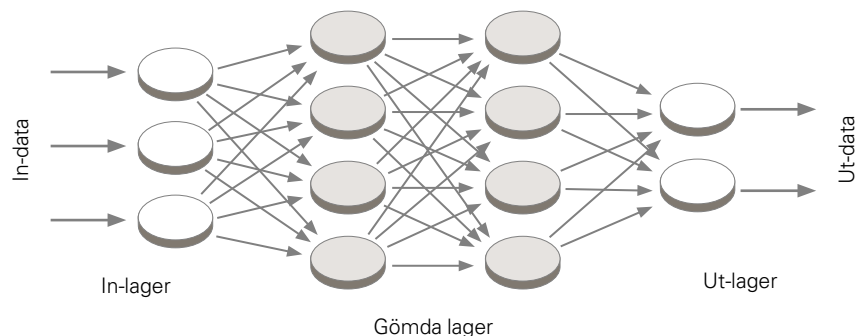
Denna energi är en monotont avtagande funktion av tiden, vilket innebär att lokala

energiminima utgör stationära tillstånd, det vill säga minnen.

Metaforiskt kan därmed nätverkets dynamik beskrivas med hjälp av ett energilandskap, vars dalar hårbärgerar sparade mönster, eller minnen. Om nätverket startas från ett initialt tillstånd motsvarande ett förvrängt mönster, så kommer dynamiken att driva systemet mot lägre energi, till en närbelägen dal. På detta vis kan ett förvrängt mönster korrigeras; ett ofullständigt minne kan återskapas (figur 3, se nästa sida).

Hopfieldnätverkets ekvationer 1 och 2 ovan känns båda igen från modeller för magnetism. Storheten h_i i ekvation 1 motsvarar molekyllära fält i beskrivningen av hur atomära magnetiska moment är ordnade i fasta material. Ekvation 2 används för att beräkna energin hos magnetiska system (i frånvaro av ett yttre fält). I Ising-modellen för ferromagnetism delar alla w_{ij} ett gemensamt positivt värde. I Hopfieldnätverket är kopplingarna däremot heterogena och de behöver inte vara positiva, vilket motsvarar ett så kallat spinnnglas inom magnetiska material.

En berättigad fråga var i vilken grad egenskaperna hos Hopfields nätverk med dess binära enheter var robusta för ändringar i modelldetaljer. I ett uppföljningsarbete visade Hopfield att de binära enheterna, med bibehållen funktion hos nätverket, kunde ersättas med analoga sådana (med värden mellan 0 och 1). Den analoga modellen använde kontinuerlig tid, och en dynamik given av differentialekvationer för en elektrisk krets. Hopfield visade sedan också att denna analoga modell kunde användas för att ►



FIGUR 2 Enkelriktat nätverk med två lager av gömda noder mellan in- och ut-lagren.

► lösa diskreta optimeringsproblem. Detta var ett tidigt exempel på att använda dynamiska system för att finna lösningar till sådana problem. Ett senare exempel av samma slag är kvantbaserad optimering genom metoden *quantum annealing*.

Hopfields skapande och utforskningar av detta nätverk blev en milstolpe i vår förståelse av hur artificiella neuronnät kan utföra kollektiva beräkningar. Arbetet fick stor uppmärksamhet inom många olika ämnen (fysik, datalogi, med mera), och inom såväl artificiella neuronnät som neurovetenskap.

Hinton och Boltzmannmaskinen

Den nära kopplingen mellan spinnglas och Hopfieldnätverket (ekvation 2) väckte många statistiska fysikers intresse. Det visade sig snart att beräkningsmetoder för spinnglas, utvecklade av bland andra fysikern Giorgio Parisi (Nobelpris 2021), kunde användas för att till stor del analytiskt förstå viktiga egenskaper hos Hopfieldnätverket, till exempel antalet mönster som kan lagras.

Hopfields arbete följdes snart av en annan viktig upptäckt gjord av beteendevetaren och datalogen Geoffrey Hinton samt fysikern Terrence Sejnowski. De

skapade under åren 1983–85 en stokastisk version av Hopfieldnätverket, vilken var baserad på statistisk fysik och fick namnet Boltzmannmaskinen. Här låg fokus på statistiska fördelningar av mönster snarare än individuella mönster. Varje tillstånd hos nätverket tilldelades en sannolikhet given av statistiska fysikens Boltzmannfördelning, det vill säga

$$P(s_1, \dots, s_N) \propto e^{-E/T}, \quad (3)$$

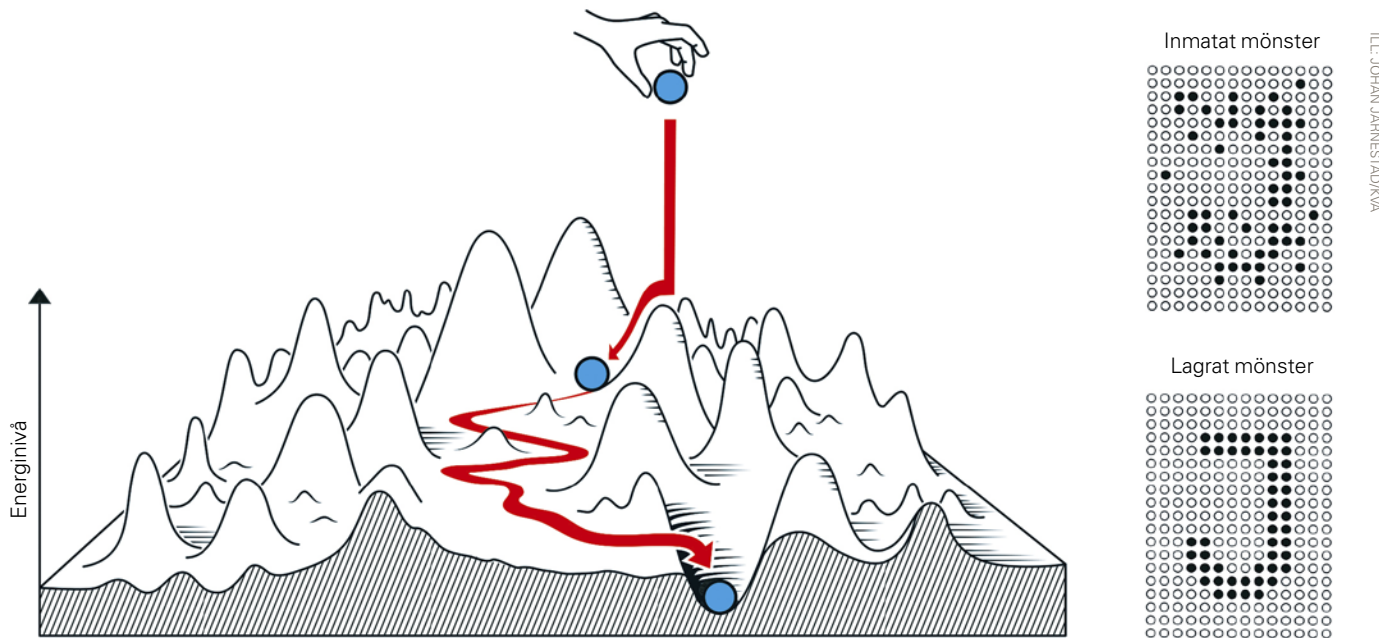
där E var den av Hopfield införda energin och T var en fiktiv temperatur. Sampling från denna tillståndsfördelning kan utföras med Monte Carlo-metoder, till exempel Gibbs-sampling.

Den grundläggande strukturen var densamma som för Hopfieldnätverket, men de binära enheterna delades upp i två grupper, synliga och gömda. För givna kopplingar, ger Boltzmannmaskinen en viss statistisk fördelning av synliga mönster. Målet är att bestämma nätverkets kopplingar så att denna fördelning så långt möjligt liknar fördelningen av en given uppsättning av synliga träningsmönster. De gömda noderna inkluderas för att nätverket ska kunna lära sig mer allmänna statistiska fördelningar än vad som är möjligt utan dessa (figur 4).

För inlärningen av Boltzmannmaskinens kopplingar skapade Hinton och Sejnowski en gradient-baserad optimeringsalgoritm. Denna har förvånansvärt enkel struktur, men varje steg kräver tidsödande termodynamiska jämviktssimuleringar av två olika ensembler.

Initialt användes Boltzmannmaskinen i mycket begränsad omfattning, på grund av de tunga beräkningar som krävdes. En nedbantad version med färre kopplingar som kallas den begränsade Boltzmannmaskinen har dock utvecklats till ett viktigt verktyg.

På 1980-talet gjordes också viktiga framsteg inom enkelriktade nätverk. Det kanske största genombrottet stod Hinton för tillsammans med beteendevetaren David Rumelhart och datalogen Ronald Williams, när de 1986 lyckades träna nätverk som, till skillnad från Rosenblatts perceptron, innehöll gömda lager mellan in- och utlagren. Deras metod var gradient-baserad. För beräkningen av de nödvändiga derivatorna med avseende på nätverkets kopplingar återupptäckte de ett schema som tidigare hade använts för andra problem. Med denna metod, kallad *backpropagation*, lyckades de träna nätverk med gömda lager för uppgifter som



FIGUR 3 John Hopfields associativa minne lagrar information på ett sätt som kan jämföras med att forma ett landskap. När nätverket tränas bildar det en dal i ett tänkt energilandskap för varje sparad mönster.

När det tränade nätverket sedan matas med ett förvrängt eller ofullständigt mönster kan det liknas vid att släppa en boll på en sluttning. Bollen/nätverket söker sig mot en plats med lägre energi, och hittar på så sätt det närmaste sparade mönstret.

hade bevisats olösbare med en enkel perceptronstruktur, utan gömda lager. Viktig för framtiden var också författarnas identifikation av det gömda lagrets förmåga att koda för distinkta egenskaper hos inkommande signaler.

Mot djupa och täta nätverk

Implementeringen av flerlagriga nätverk med *backpropagation*-inlärning påbörjades snart, och kring 1990 kom flera framgångsrika tillämpningar igång, såsom mönsterigenkänning i bilder, språk och kliniska data. En viktig roll spelade så kallade faltningsnätverk (*convolutional neural networks*). Denna typ av nätverk byggde på idéer från datalogen Kunihiko Fukushima, som i sin tur inspirerades av arbeten av neurofysiologerna David Hubel och Torsten Wiesel (Nobelpreis i fysiologi eller medicin 1981).

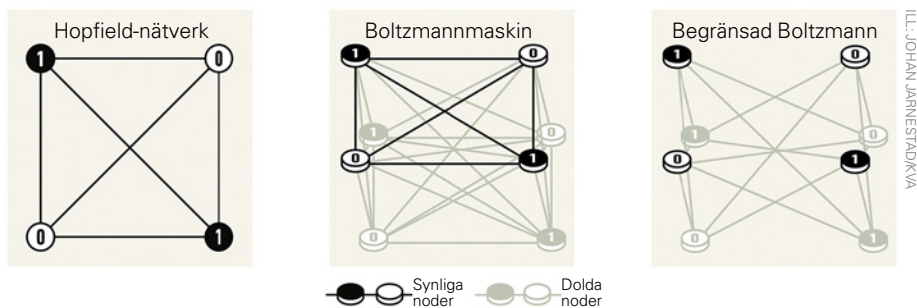
Datalogerna Yann LeCun och Yoshua Bengio utvecklade faltningsnätverk med *backpropagation*-inlärning till ett kraftfullt verktyg. I mitten av 1990-talet började LeCuns metoder användas av amerikanska banker för klassifikation av handskrivna siffror på checkar.

De flerlagriga nätverk som kunde tränas och användas under 1990-talet, såsom faltningsnätverk, hade dock det gemensamt att kopplingarna mellan intelligenta lager var relativt få. Att träna generella djupa nätverk med hög konnektivitet mellan lagren sågs kring millenieskiftet fortfarande som en stor utmaning, och många inom fältet hade gett upp. Dock inte Hinton, som blev en ledargestalt i det genombrott som kom kring 2005, med den ovan nämnda begränsade Boltzmannmaskinen som ett viktigt verktyg.

Den begränsade Boltzmannmaskinen saknar kopplingar mellan enheter av samma sort; alla kopplingar är mellan en synlig och en gömd enhet. För detta fall utvecklade Hinton en effektiv inlärningsalgoritm som inte krävde tidsödande termodynamiska simuleringar. Att träna nätverket gick därmed mycket fortare än för den allmänna Boltzmannmaskinen.

Hinton utvecklade sedan en procedur för förträning av djupa nätverk baserad på den begränsade Boltzmannmaskinen. Den senare användes här till att lager för

Olika sorters nätverk



FIGUR 4 Hopfields associativa minne är uppbyggt så att alla noder är kopplade till alla övriga. Information matas in och läses från alla noder. Hinton's Boltzmannmaskin sätts med fördel upp i två lager, där information matas in och läses på de synliga noderna. I en begränsad Boltzmannmaskin finns inga kopplingar mellan noder i samma lager.

lager förträna djupa nätverk. Efter denna förträning, som sker utan märkta träningsdata, visade det sig att en global finjustering av nätverkets kopplingar kunde utföras med *backpropagation*-metoden och märkta träningsdata. Förträningen identifierade strukturer i data, och att därefter etikettera strukturerna med *backpropagation*-metoden visade sig vara en relativt lätt uppgift.

Genom att länka ihop lager som förträns på detta sätt, lyckades Hinton tillsammans med yngre medarbetare år 2006 att implementera exempel på djupa och täta nätverk, vilket var en milstolpe på vägen mot dagens kraftfulla metoder. Det har sedan dess blivit möjligt att med andra metoder än denna förträningsprocedur nå samma prestanda för djupa och täta nätverk.

Tillämpningar

Mycket av diskussionen ovan handlar om hur fysiken bidragit med idéer och verktyg i utvecklingen av artificiella neuronnät. Omvänt spelar artificiella neuronnät en allt viktigare roll som ett verktyg för modellering och dataanalys inom nästan all fysik.

I en del tillämpningar används artificiella neuronnät som en "copycat" för fysikmodellen ifråga. Denna metod har framgångsrikt tillämpats på exempelvis kvantmekaniska mångkropparsproblem. Här tränas artificiella neuronnät att reproducera energier och krafter i *ab initio* modeller, och kan sedan användas för att

snabba upp beräkningar av fasstabiliteter och dynamik hos nya material. Dessa metoder har också använts för att studera fasövergångar och vattens termodynamiska egenskaper.

Artificiella neuronnät är ett väletablerat verktyg för dataanalys i partikel- och astrofysik. Ett exempel på tillämpning är dataanalys relaterad till upptäckten och studier av Higgspartikeln. En annan tillämpning gick ut på att reducera bruset i mätningar av gravitationsvågor från kolliderande svarta hål.

Det mest spektakulära vetenskapliga genombrottet som så här långt gjorts med artificiella neuronnät-baserade metoder, och som belönades med årets Nobelpreis i kemi, är AlphaFold-verktyget för prediktion av proteiners tredimensionella strukturer, givet deras aminosyrasekvenser.

Ett område där verktyg baserade på artificiella neuronnät spelar en viktig och växande roll är hälsovård, med analys av medicinska bilder som ett exempel.

Med sina banbrytande forskningsresultat har Hopfield och Hinton lagt grunden för nya sätt att använda datorer i de utmaningar som samhället står inför. Vi har fått en kraftfull verktygslåda att användas för det goda. Båda pristagarna är naturligtvis angelägna om att redskapen endast används på ett sådant sätt.

ANDERS IRBÄCK

Professor, Lunds universitet

CARSTEN PETERSON

Professor, Lunds universitet



Hur utses Nobelpriset i fysik?

Varje år kan man läsa om årets **Nobelpris i fysik** i *Fysikaktuellt*. Men hur går det egentligen till när man ska bestämma vem som får Nobelpriset i fysik?

Allt går naturligtvis tillbaka till Alfred Nobels testamente, som han skrev i Paris och som är daterat till 27 november 1895. Den del av testamentet som behandlar det som senare kom att kallas Nobelprisen är kortfattad och innehåller bara begränsad vägledning. Innan Nobel räknar upp de fem prisområdena (fysik, kemi, medicin eller fysiologi, litteratur, fred) anger han ett slags "paraplykriterium": "kapitalet, af utredningsmännen realiserade till säkra värdepapper, skall utgöra en fond, hvars ränta årligen utdelas som prisbelöning åt dem, som under det förlupne året hafva gjort menskligheten den största nytta". För fysik specificeras sedan att priset ska tilldelas "den som inom fysikens område gjort den viktigaste upptäckt eller uppfinning". Slutligen pekar Nobel ut de institutioner som ska utdela

priset. För fysik och kemi gäller "Svenska vetenskapsakademien", det vill säga Kungliga Vetenskapsakademien (KVA).

Nobel var alltså mycket kortfattad och någon redan existerande mottagare av hans enorma förmögenhet fanns inte. Den dramatiska kampen att säkra förmögenheten beskrivs i Ingrid Carlbergs Nobel-biografi *Nobel: den gåtfulle Alfred, hans värld och hans pris*. Historien är spännande som den bästa deckare, men inte något som finns plats för i denna korta artikel. Det hela slutade i alla fall år 1900 med att Nobelstiftelsen bildades och dess grundstadgar fastställdes.

Nu fanns allt på plats för den första prisbelöningen, som i fysikens fall gick till Wilhelm Röntgen 1901, en verklig rivstart.

PRISBELÖNINGEN AV FYSIK (och kemi) vilar på tre ben. Det första benet är nomineringarna. Tusentals brev skickas numera till universitet och forskare inom fysik runt om i världen med en inbjudan att nominera den eller de som de anser mest värd ett Nobelpris. I prisets barndom rörde det sig om ett dussintal personer som blev nominerade, upp till ett hundratal personer diskuterades numera som priskandidater.

Det andra benet är de utredningar som KVA:s Nobelkommitté gör på basis av nomineringarna. Fram till 1960-talet skrevs utredningarna av någon av Nobelkommitténs fem ledamöter. Numera anlitas ofta också externa svenska och internationella experter att skriva konfidentiella utredningar.

Det sista benet är den rapport som Nobelkommittén skriver och skickar till KVA. Rapporten avslutas med ett konkret

prisförslag. Slutligen samlas KVA:s ledamöter till en beslutande sammankomst där det slutliga beslutet tas, ett beslut som inte kan överklagas och som offentliggörs efter sammankomsten.

PROCEDUREN ATT UTSE fysikpristagare har ändrat sig endast marginellt sedan 1901. Alla generationer Nobelkommittéer har haft att kämpa med att försöka tolka Nobels kortfattade text.

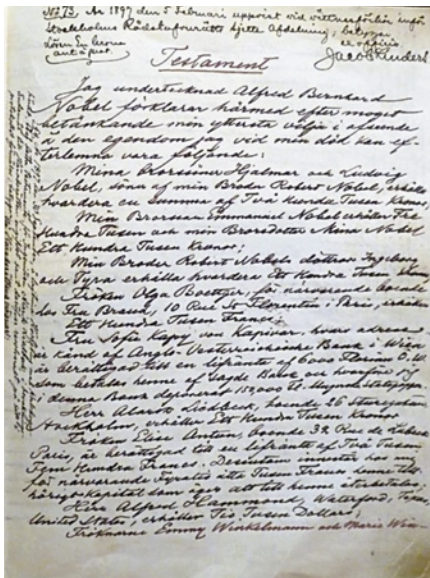
Den mest genomgripande ändringen av grundstadgan gjordes 1974. Då ändrade Nobelstiftelsen reglerna för Nobelarkivet (som innehåller nomineringar, utredningar, rapporter till KVA) från att för all framtid förbli hemliga till att 50 år efter prisbelöningen inte längre vara hemliga, under förutsättning att ingen av pristagarna längre är i livet. Det betyder inte att arkivet är öppet för alla, snarare tvärtom. Det är öppet för ledamöter av KVA och, efter ansökan, för vetenskapshistoriker. Arkivet är inte digitaliserat och historiker som inte har svenska som modersmål har därmed problem. Mycket av materialet är på svenska, och kopior får inte göras utan allt måste läsas på plats. I *Fysikaktuellt* nr 4/2023 kan man läsa historien om hur Lise Meitner aldrig prisbelönades, trots att hon var nominerad flera gånger i både fysik och kemi. Utan regeländringen 1974 hade den artikeln aldrig kunnat skrivas.

MATS LARSSON

Professor, Fysikum, Stockholms universitet

Läs mer

Hela Nobels testamente finns på www.nobelprize.org/alfred-nobel/alfred-nobels-testamente



Alfred Nobels testamente.



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2025

KVALIFICERINGSTÄVLING

23 januari på din skola

Tävlingen sker individuellt, men priser delas också ut till bästa skollag. Varje skolas tre bästa deltagare utgör skolans lag. Priser:

1:a pris $3 \times 4\,000$ kr	4:e pris $3 \times 2\,000$ kr
2:a pris $3 \times 3\,000$ kr	5:e pris $3 \times 1\,500$ kr
3:e pris $3 \times 2\,500$ kr	6:e - 10:e pris $3 \times 1\,000$ kr

Anmäl dig till din fysiklärare!

Läs mer om tävlingen på
[www.fysikersamfundet.se/
wallenbergs-fysikpris](http://www.fysikersamfundet.se/wallenbergs-fysikpris)

FYSIKVECKA, FINALTÄVLING & EuPhO

De 18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 16–21 mars 2025 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn 25–27 april 2025.

De fem bästa i kvalificeringstävlingen erbjuds delta i Europeiska fysikolympiaden (EuPhO) som arrangeras i Sofia 13–17 juni.

Arrangör: Svenska Fysikersamfundet

Sponsor: Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

17–25 juli 2025 i Paris, Frankrike

De fem bästa i finaltävlingen får göra en oförglömlig resa och representera Sverige vid den internationella fysikolympiaden.

Nästan 400 ungdomar från ungefär åttio länder tävlar i fysik under två dagar. Resten av veckan är fylld med utflykter, föredrag och möten med fysikintresserade från hela världen.

Kanske blir det du som får åka!



GOD FYSIK

Fysik för festliga drycker

Att man kan sabrera champagneflaskor känner nog de flesta till, men med lite fysik finns det fler roliga sätt att **öppna flaskor** på.

En måltid kan vara så mycket mer än intagandet av olika makronutrient. I klassikern *Smakens fysiologi* beskrev Brillat-Savarin måltiden som ett samtal och gastronomin som meditation. Mat och dryck är viktiga komponenter i måltiden, men sällskap, servering och miljö bidrar alla till att skapa minnesvärda stunder, något vi kan instämma i även 200 år senare.

Det är inte alltid vi har tid till att förbereda och laga långa, planerade middagar, och som kockar regissera måltiden – men kanske nu när juledigheten närmar sig? Med lite fysik vid bordet kan vi skapa minnesvärda stunder och riktiga snackisar som inte behöver ta alltför lång tid att förbereda och som säkert hade tilltalat Brillat-Savarin. God Fysik fokuserar den här julen på några små trick vid middagsbordet som kommer att få era gäster att komma ihåg julkmiddagen 2024.

DET ÄR TREVLIGT ATT inleda middagen på franskt manér med något bubbligt i glaset. Champagne är en given komponent i en fransk julkmiddag och något som vi kan ta till oss här i norr. Feststämningen höjs direkt vid ljudet av en poppad kork.

Vi har tidigare skrivit om hur långt man kan skjuta en champagnekork (*Fysikaktuellt* nr 4/2020) och glaset och bubblorna beskrevs i *Fysikaktuellt*

nr 4/2023. Till skillnad från stilla viner är trycket i en flaska mousserande vin väldigt högt, och det lockar till spännande metoder att öppna flaskorna. En klassisk variant när det gäller att öppna champagne är sabrering. Ta av folien runt korken och lossa metallgrimman (alltid 6 halva varv) innan du med din sabel följer flaskhalsen mot korken med en bestämd rörelse. När sabeln når läppen på flaskan går halsen av och korken flyger iväg. Trycket i flaskan gör att det lilla glassplitter som bildas inte kan ta sig in i flaskan utan istället flyger iväg. Processen går väldigt fort. För att illustrera vad som händer filmade vi öppnandet med en höghastighetskamera (20000 bilder per sekund). Figur 1 visar en stillbild, och om du scannar qr-koden hittar du hela filmen.



EN SABEL ATT SABRERA MED är ett bra julkappstips. Ett annat är att ge en riktigt bra vinöppnare till så många bekanta som möjligt, så att man slipper stå där i köket med någon av de värdelösa attrapper som har hittats på (nio stygn och ett ärr i handflatan är en påminnelse om hur det kan gå om man använder en dålig öppnare). En bra vinöppnare är formad som en spiral och inte en skruv. En hävarm med två



FIGUR 1 Klassisk sabrering.

steg gör det hela enklare. Men med lite kul fysik finns det flera andra metoder att öppna en flaska.

I flaskor med stilla vin är trycket på insidan och utsidan ungefär detsamma. Här får vi vara lite finurliga om vi vill poppa korken med hjälp av gastryck. Allmänna gaslagen, $pV = nRT$, hjälper oss att se hur vi ska göra. För att öka trycket under korken kan vi ändra antingen n eller T . Det finns vinöppnare som är byggda för att öka n , det vill säga gasmängden. De är konstruerade för att trycka en nål genom korken och pumpa in luft tills korken sakta stiger och till slut poppar ut.



FIGUR 2 Med en vanlig brännare och allmänna gaslagen kan man öppna flaskor med stilla vin.

FIGUR 3 Till portvin finns en särskild tång, här använd på en flaska mousserande vin.



Metoden är överraskande effektiv och lämnar korken hel och fin. Om vi inte har en sådan öppnare till hands kan vi istället öka trycket genom att höja temperaturen. Det låter kanske tokigt att värma upp vinflaskan innan vi serverar, men eftersom gasens volym är relativt liten värms den upp mycket snabbare än vätskan. Brännaren som ändå står framme i väntan på att bränna er crème caramel fungerar utmärkt (figur 2).

EFTER MATEN SÄNKER SIG ett lugn över rummet. Brasan sprakar fridfullt i ett hörn och värden plockar fram torkade frukter, olika nötter och lite hemmagjorda chokladpraliner medan värdinnan förbereder öppnandet av portvinet. En vintage port är gjord för att lagras länge på flaskan och det kan vara svårt att få ur korken utan att smula sönder den. Lite äldre flaskor behöver vänja sig vid den plötsliga chocken att återigen utsättas för syre och innehåller dessutom ofta rikligt med sediment som vi inte vill röra upp. Därför behöver vi dekantera vinet – men först ska flaskan öppnas.

För att öppna gamla portvinsflaskor uppfann portugiserna en metod som också bygger på termisk expansion (figur 3). Först avlägsnar man folien. Sedan kan man få ett välkontrollerat brott i glaset genom att hettar upp en tång och placera den runt halsen på flaskan

(under korken) och efter det pensla på lite iskallt vatten. Den hastiga temperaturförändringen gör att glaset spricker och korken, som sitter orörd kvar i flaskhalsen, kan avlägsnas. Att pensla på isvatten med en fjäder eller en rakborste är spexigt, men lite enklare, och säkrare, är att blöta en handduk och gripa om flaskhalsen med den.

Om ni nu tycker att det har blivit lite för lugnt så går det att göra det hela intressantare genom att i stället utföra samma manöver på en flaska champagne eller pommace med högt tryck i flaskan. När ni nu penslar på isvatten så att glaset spricker kommer trycket att få hela toppen att flyga av (nu behöver ni inte heller avlägsna grimman). Precis som vid sabrerings kommer eventuellt glassplitter att förhindras att komma in i flaskan av trycket. I filmen (scanna qr-koden på föregående sida) och bildsekvensen (figur 4) ser vi hur det bildas ett litet moln när flaskan spricker. Det beror på att processen går så snabbt att den är adiabatisk. Vid den adiabatiska expansionen sjunker temperaturen, vattnet i luften fryser och bildar det lilla molnet som vi ser.

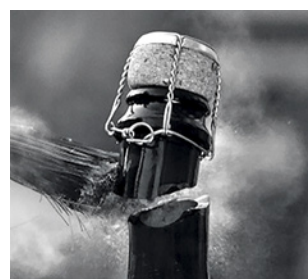
FÖR ATT ÅTERKNYTA TILL Brillat-Savarin så finns det en ost som bär hans namn som passar alldeles utmärkt till ett glas champagne. Ostfabrikören Henri Androuet ville på 1930-talet ära den stora gastronomen och politikern genom att döpa en ost, en *délíce des gourmets*, efter honom. En Brillat-Savarin är en så kallad triple-creme-ost, vilket innebär att man tillsätter extra grädde till ostmassan under produktionen. Resultatet blir en mild, krämig, samtidigt lätt syrlig och len vitmögelost. Även om andra drycker passar bra är champagne den bästa drycken till osten, och det tror vi att Brillat-Savarin håller med om.

Skål, och God Jul!

JOHAN MAURITSSON, MALIN SJÖÖ
OCH MATTIAS RICHTER
Lunds universitet

Läs mer

J. A. Brillat-Savarin, övers A. Ruhe, *Smakens fysiologi*, Wahlström & Widstrand 1976, 1985



FIGUR 4 Om man hettar upp flaskhalsen på en flaska mousseande vi med en portvins-tång, och sedan penslar kallvatten på den flyger hela toppen på flaskan av.

100 år av partikelacceleration

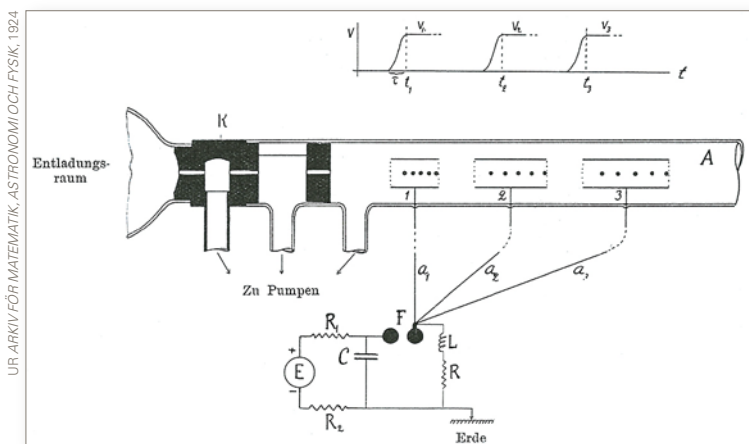
I år är det 100 år sedan Gustaf Ising vid Stockholm högskola föreslog den princip som alla dagens **partikelacceleratorer** för hög energi bygger på. I år har också en ny sektion inom Fysikersamfundet inrättats, Sektionen för Acceleratorfysik.

Under andra halvan av 1800-talet experimenterade man med urladdningsrör, evakuerade glaströr med en elektrod i varje ände. När man lade en spänning mellan elektroderna kunde man observera ljus och andra fenomen. J. J. Thomson noterade hur urladdningarna kunde påverkas av elektriska och magnetiska fält, vilket 1897 ledde honom till upptäckten av det som senare skulle kallas elektronen. Under de följande två årtiondena utvecklades röntgenrör där elektroner accelererades upp till storleksordningen 100 kV.

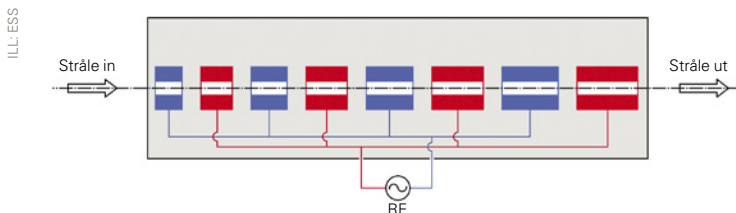
Joner kunde accelereras på motsvarande sätt, till exempel för masspektrometri. Men när Rutherford i sitt berömda experiment studerade hur alfapartiklar (det vill säga heliumkärnor) spreds mot atomer fick han använda radioaktiva preparat. Några konstgjorda källor som gav joner med MeV-energies fanns inte att tillgå. Ett så stort spänningsgap kunde man inte åstadkomma.

DET VAR I DET SAMMANHANGET som Gustaf Ising fick en idé. Istället för att ha ett enda accelerationsgap med hög pålagd spänning föreslog han att man kunde använda många gap med lägre spänning. Idén publicerade han i *Arkiv för matematik, astronomi och fysik* 1924, och därifrån är figur 1 hämtad.

Figuren visar ett glaströr med en urladdningskammare till vänster och anslutning till pumpar för att nå bra vakuum. Den högra delen har metallrör – benämnda drift-rör – anslutna till en elektrisk krets med ett gnistgap. Vid ett visst ögonblick går en gnista, och drift-rören hamnar på en hög



FIGUR 1
Gustaf Isings princip för acceleration i flera steg.



FIGUR 2
Principen för en drift-rörlinac av Widerøe-typ.

spänning. Men inte samtidigt, eftersom trådarna till rören är olika långa. Först ökar spänningen på rör nummer 1, därefter på nummer 2, och så vidare. Jonerna som befinner sig i det första röret när gnistan går märker först inget, men när de drivit vidare till gapet till rör nummer 2, som fortfarande ligger på jord, accelereras de och fortsätter in i det röret. Om spänningspulsens nu når det röret så händer samma sak igen, en ny acceleration sker i gapet till rör nummer 3, och det hela kan i princip byggas ut till en godtyckligt hög energi, som Ising skrev. Spänningen och dimensionerna måste vara anpassade så att jonerna rör sig framåt i samma takt som spänningspulsens når det ena röret

efter det andra, och drift-rören blir därför längre och längre, vilket syns i figuren.

Ising gav en student i uppdrag att utföra detta experiment, och han beskriver i *Kosmos* nr 11 (1933) hur studenten hade svårt att få bra vakuum och samtidigt hade andra uppgifter, så experimentet lades åt sidan. Han kommenterar att "Förf. måste f. ö. erkänna sig själv skyldig till att vid denna tidpunkt hava bedömt metodens praktiska utsikter med onödigt skepsis". Det kan man bara hålla med om!

DEN SOM ISTÄLLET FICK det att fungera var norrmannen Rolf Widerøe, verksam i Berlin och Aachen. Det första lyckade experimentet med det som Ising kallade

multipel acceleration publicerade han 1928. Några år senare utvidgade Sloan och Lawrence det till en komplett drift-rörslinac (linac = linjär accelerator) med 30 driftrör, vars princip åskådliggörs i figur 2. Lawrence krökte sedan jonbanan och uppfann cyklotronen, där så att säga inte bara spänningen användes flera gånger utan även spänningsgapen. Han hänvisade till Ising i sin Nobelföreläsning: "I should like to take this opportunity to pay tribute to his work for he surely is the father of the developments of the methods of multiple acceleration."

Utvecklingen av driftrörslinacen behövde dock ytterligare ett steg. För nå höga energier måste spänningen ha hög frekvens, för annars blir acceleratoren orimligt lång. Men då börjar driftrören fungera som antenner för elektromagnetisk strålning, så att den energi som matas in går till strålningen och inte till partiklarna.

Luis Alvarez löste det genom att låta hela tanken med ett longitudinellt fält och alla driftrören svänga som en resonant kavitet. Om tiden för en period av svängningen är densamma som tiden för partiklarna att gå från ett driftrör till nästa så kan acceleration ske i varje gap. Upp till 50 % av den tillförda energin kan då komma partiklarna till godo. Resten av energin värmer upp tanken och driftrören genom strömmar som induceras i dem.

100 ÅR HAR ALLTSÅ gått sedan principen för "multipel acceleration" föreslogs i Stockholm, och nästan lika lång tid sedan principen förverkligades i form

Sektionen för Acceleratorfysik

■ Under hösten 2024 valdes den första styrelsen till en ny sektion inom Svenska fysikersamfundet, Sektionen för Acceleratorfysik.

Idag sker en veritabel boom i utvecklingen av accelerators i Sverige. Giganterna ESS och MAX IV i Lund, DESIREE i Stockholm, plasmaacceleratorer och en stor mängd acceleratorer vid svenska sjukhus. Samtidigt är svenskar aktiva internationellt vid FAIR, CERN, MYRRHA, DONES, EuXFEL med flera. Det är helt enkelt tid för en ny sektion som kan öka spridningen av

kunskap och samarbeten kring accelerators. Nu skall verksamheten byggas upp, medlemmar rekryteras och ett program utformas. Alla med intresse för accelerators är välkomna att engagera sig!

I den första styrelsen hittar ni: Ansgar Simonsson (SU), Maja Olvegård (UU, Freia), Mamad Eshraqi (ESS), Mikael Lindholm (Scandinova), Olle Lundh (LU) och Sverker Werin (ordförande, LU, MAX IV)

Mer information följer på sektionens sida på www.fysikersamfundet.se/sektionen-for-acceleratorfysik-hem

av en driftrörslinac, oftast förkortat till DTL (drift tube linac). Ingen har dock funnits i Sverige, förrän nu vid European Spallation Source, ESS i Lund. ESS DTL består av fem tankar och är 40 m lång, och den accelererar protoner från 3,62 till 90 MeV. Vi hade stråle genom de fyra första tankarna sommaren 2023, och några månader senare hade utrymme frigjorts i acceleratortunneln så att även den sista tanken kunde komma på plats. Figur 3 visar DTL:en färdigmonterad, tillsammans med glada miner hos ingenjörer och tekniker från ESS och från INFN i Legnaro och Turin, eftersom DTL:en är ett italienskt bidrag till ESS.



FIGUR 3 Ingenjörer och tekniker från ESS, Legnaro och Turin, framför den färdigmonterade driftrörslinacen på ESS.

Läs mer

G. Ising, "Prinzip einer Methode zur Herstellung von Kanalstrahlen hoher Voltzahl", *Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik*, band 18 nr. 30, 1924.

<https://runeberg.org/kosmos/1933>

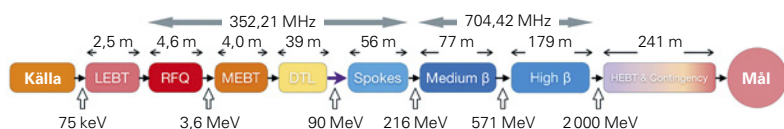
HÅKAN DANARED
ESS

ESS-acceleratorn

Upp till 75 keV används elektrostatisk acceleration, eftersom jonkällan sitter på en 75 kV-plattform, men därefter används Isings princip.

I RFQ:n (radio frequency quadrupole) sker accelerationen i drygt 400 steg med ett fält på 352 MHz. DTL:en har 168 driftrör och samma frekvens. Sedan följer tre olika typer av supraledande kaviteter kyllda till 2 K, vilket illustreras i figur 4. Dessa kaviteter har sammanlagt lite över 700 accelerationsgap, eller celler, resonanta vid 352 och 704 MHz.

Tack vara den supraledande teknologin och den höga frekvensen nås en fältstyrka på upp till 20 MV/m, vilket gör



FIGUR 4 Layout för ESS linjäraccelerator.

att protonerna når 2 GeV efter acceleration över 360 m. Elektronlinacen vid MAX IV, som når 3 GeV, utnyttjar också RF-acceleration, men detaljerna skiljer eftersom elektronerna på grund av den låga massan nästan direkt blir relativistiska och hastigheten sedan knappt ändras under accelerationen.

ESS hade alltså stråle genom fyra DTL-tankar sommaren 2023, vilket motsvarade

en protonenergi på 70 MeV. Stråle genom hela acceleratoren fram till den stråldump som syns i figur 4 är planerad till februari 2025, och mot slutet av 2025 räknar vi med att ESS är redo att ta emot stråle på strålmålet i form av ett volframhjul där spallationsreaktionerna äger rum. Fem instrument är då också färdiga, så de kan ta emot neutronerna för de första neutronspredningsexperimenten.

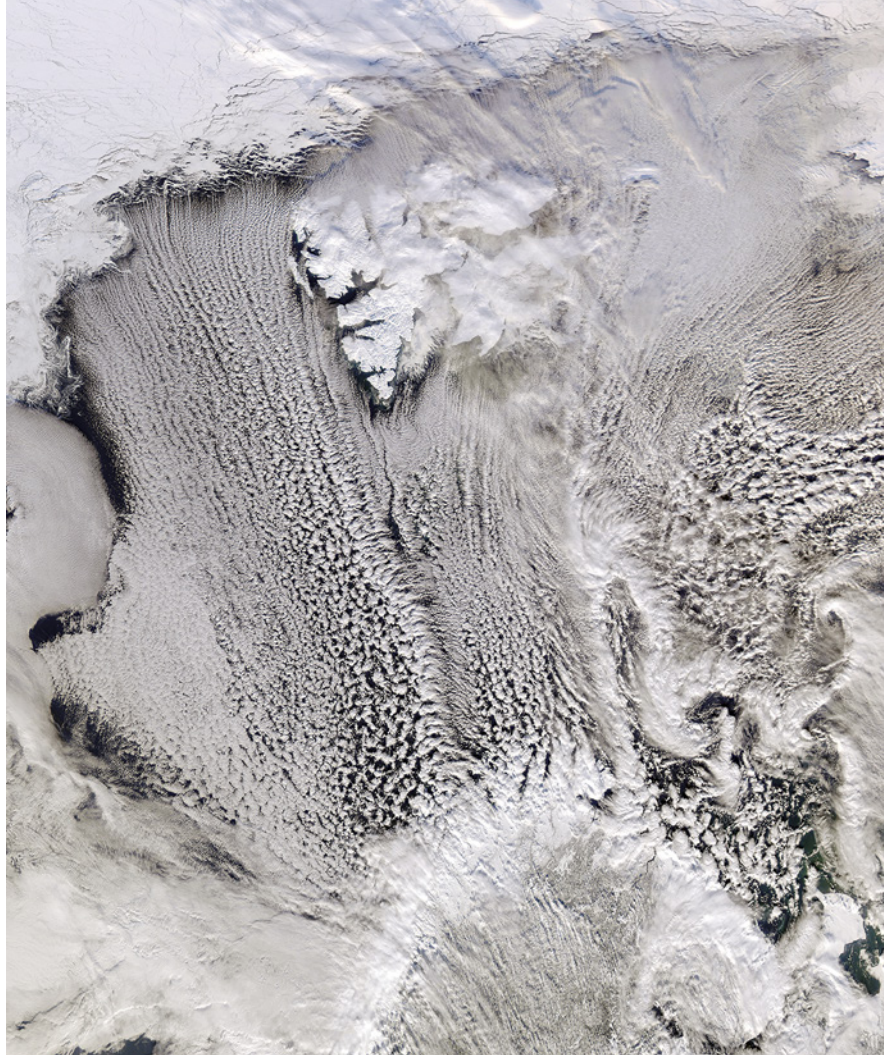


FOTO NASA

FIGUR 1
MODIS satellitbild
i det synliga
våglängdsområdet
från ett intensivt
kallluftsutbrott den
17:e mars 2016.

CAESAR

Experiment i ett flygande laboratorium

Vad händer när **kall luft från det inre av Arktis** förs ut över den isfria norra Nordatlanten med kraftiga vindar och helt plötsligt exponeras för det varma havsvatten som förts dit med Golfströmmen?

Under vinter och vår händer detta i genomsnitt minst en gång i veckan och en första indikation på vad som händer får man i satellitbilder, som i figur 1. Men även om man ser massor av detaljer i satellitbilden, ger den bara en visuell bild av molnens utseende. Många frågor återstår om vad som egentligen händer och vilka fysikaliska processer som

är viktiga för att de olika molnmönstren ska bildas.

CAESAR (*Cold-Air outbreak Experiment in the Sub-Arctic Region*) är ett internationellt forskningsprojekt finansierat av National Science Foundation i USA som försöker svara på dessa frågor. Bland 60-talet medverkande finns forskare från Meteorologiska institutionen, Stockholms

universitet. Projektets första steg var att observera vad som sker på plats, med hjälp av ett forskningsflygplan. Detta gjordes från mitten av februari till början av april 2024. Vårt flygande laboratorium är en C-130 Hercules (figur 2) från Research Aviation Facility vid National Center for Atmospheric Research i Boulder, Colorado. Dess räckvidd gör det möjligt

att flyga in i dessa vädersituationer och observera på plats, och storleken ger plats för en stor mängd avancerade instrument. Flygplanets hastighet gör att man kan täcka en större yta på relativt kort tid och se både detaljer och helhet, omöjligt från till exempel ett långsamt fartyg eller någon av de fåtal öar som finns i området, som Jan Mayen eller Björnön. Men att operera ett flygplan, är också en logistisk utmaning. En av få tänkbara baser finns på Kiruna flygplats i Arena Arctica, en stor hangar där man kan arbeta inomhus med underhåll av flygplan och instrument. Från Kiruna når vi på nio timmar långa flygpass en bit in över iskanten i Framsundet mellan Svalbard och Grönland.

SATELLITBILDEN (FIGUR 1) VISAR de utpräglade mönster i molnen som bildas vid kallluftutbrott. Högst upp i bilden syns Svalbard, med packisen i norr, och längst ned Nordnorge. Även om vinden inte observeras direkt med satellit syns det tydligt på molnen att luften kommer norr, från det inre av Arktis. Precis söder om iskanten i Framsundet ser man smala stråk av moln – så kallade *molngator*. När den kalla luften från Arktis, med temperatur omkring -20 eller -30°C , plötsligt exponeras för ytvatten med flera plusgrader uppstår intensiv konvektion. Men kraftig nordvind gör att luften även utsätts för kraftig vertikal vindskjuvning som tänjer ut konvektionen horisontellt och organiserar den i långsmala vertikala virvlar längs vinden.

Där luften stiger kyls den av och moln bildas. Mellan de horisontella virvlarna sjunker luften, för att bevara kontinuitet, och då löses molnen upp; så bildas molngatorna. Omblandningen är intensiv i det mycket turbulenta gränsskiktet och det växer och djupnar nedströms, och då bredas molngatorna.

Men halvvägs till Nordnorge ändrar mönstret karaktär. Konvektionen får övertag över skjuvningen och molnen blir vertikala, ofta flera kilometer tjocka med kraftig nederbörd. I ett stråk söderut från Svalbards sydspets finns ett område med tätare moln som ormar sig söderut och längre österut, nordost om Norge, finns ett liknande område. Från det finns en virvel i

molnen, ett så kallat *polärt lågtryck*. De är småskaliga, intensiva, orkanliknande vädersystem med kraftiga vindar, stor inverkan på sjöfarten och stora snömängder när de når in över land. Turbulens och samspelet med molnen är centralt för händelseförloppet och det kan vi observera med vårt flygplan.

ATMOSFÄREN ÄR EN FLUID och följer därmed Navier-Stokes ekvationer, men med temperaturskillnader som drivkraft måste en termodynamisk ekvation läggas till. En ytterligare komplikationen är att vatten förekommer i alla tre faser i atmosfären: som gas, i flytande och i fast form. Det får sin egen ekvation, som kopplas till den termodynamiska då det åtgår eller frigörs latent värme vid fasövergångarna.

Ekvationssystemet tillhör de mest komplicerade inom fysiken, av två skäl. För det första är det icke-linjärt och analytisk lösning saknas – systemet måste lösas med numeriska metoder. För det andra är spännvidden av atmosfärens skalor enorm, från de minsta, som när vattenånga kondenserar till molndroppar, till den storskaliga dynamik som ytterst begränsas av jordens omkrets. Från 10^{-9} till 10^7 meter, och ingen del kan ignoreras. Av praktiska skäl är det omöjligt att hantera alla skalor explicit. Beräkningskraften räcker inte, även i de snabbaste datorerna. Istället löser vi ett förenklat system, där ekvationer och variabler medelvärdesbildats över de minsta hanterbara skalorna

– Reynolds ekvationer. Det innebär att det finns en minsta skala som kan representeras explicit.

Och här är problemet! De processer som är viktigast för de molnmönster vi ser i figur 1 är för små för att realistiskt kunna lösas av de modeller vi kan använda idag. Turbulensen består av virvlar som är från 10^{-3} till 10^3 meter. För att moln ska bildas räcker inte övermättnad av vattenånga, det måste till ett mikroskopiskt embryo till varje droppe, en kondensationskärna. Iskristaller, som måste till för nederbörd, bildas inte heller spontant då molndroppar kyls till under fryspunkten. Det behövs uppåt 400% relativ fuktighet för att droppar ska bildas spontant och temperaturer under c:a -35°C för att de ska frysa. För att påskynda dessa processer krävs mikroskopiska aerosolpartiklar, med olika fysikalisk och kemisk karaktär.

Allt som involverar turbulens och molnbildning måste beskrivas på annat sätt. För att kunna göra det behöver vi först förstå dessa processer och hur de fungerar över många olika förhållanden. Frågorna är många: Varifrån kommer partiklarna som är nödvändiga för att molnen ska bildas och utvecklas? Hur samverkar moln och nederbörd med de turbulenta virvlarna och energiflödena från havet, och hur påverkar detta gränsskiktets tillväxt och konvektionens karaktär? När samverkar allt detta till att bilda ishavets orkaner, de intensiva polära lågtrycken? Och vilka storskaliga ►



FOTO: MICHAEL TJERNSTRÖM

FIGUR 2 Det flygande laboratoriet, en C-130 Hercules, på plattan utanför Arena Arctica på Kiruna flygplats. Flygplanet tillhör Research Aviation Facility (RAF) vid National Center for Atmospheric Research (NCAR) i Boulder, Colorado, och är en del av en forskningsinfrastruktur som finansieras av National Science Foundation (NSF) i USA.



FIGUR 3 Interiörbild från ett flygpass. Här lastutrymmet med olika instrument och kontrollpaneler i sina rack, med arbetsplatser vid varje.



FIGUR 4 En vy inifrån "flight deck" med de två piloterna, som gör en högersväng över uppbruten så kallad pannkaksis.

FOTO MICHAEL TJERNSTRÖM

- förhållanden är särskilt gynnsamma för dessa kallluftsutbrott?

VÅRT FORSKNINGSFLYGPLAN är utrustat med en stor mängd instrument. Flera fasta system på flygplanskroppen kartlägger förhållandena precis just där flygplanet befinner sig (*in situ*) genom att mäta atmosfärens tillstånd: temperatur, fuktighet, vindens hastighet och riktning, strålning och molnens sammansättning. Vinden mäter man genom att separat mäta flygplanets hastighetsvektor genom luften och i ett geografiskt referenssystem – vindvektorn är skillnaden mellan dessa. Många av dessa mätningar görs hundratal gånger per sekund, tillräckligt snabbt för att kunna observera de minsta turbulenta virvlarna.

Molnens sammansättning mäts med instrument som hänger under vingarna (figur 2). Genom att mäta hur laserljus bryts i molnpartiklar kan man uppskatta storleksfördelningen och antal droppar och iskristaller och även iskristallernas utseende. Man släpper även ut instrument, droppsonder, som mäter temperatur, fuktighet och vind medan de faller till ytan; resultaten sänds tillbaka till flygplanet i realtid. Och så suger man in luft genom insug i flygplanskroppen för analys av gaser och partiklar inne i flygplanet. Allt detta är noggrant kalibrerat så att de observationer vi gör ska vara så som det hade varit om vi inte hade varit där.

Några av de mer avancerade mätningarna sker med fjärranalysinstrument: radar, lidar och mikrovågsradiometri. Genom att passivt och aktivt samtidigt observera elektromagnetisk strålning i

flera olika våglängder drar man fördel av hur de påverkas olika i atmosfären. Till exempel är radarstrålning mest känslig för partiklars storlek och reagerar först på nederbörd. Laserljus som är mer känsligt för partiklars form, reagerar först på droppar men är mindre känsligt för iskristaller. Genom att observera mikrovågsstrålning i polarisering kan man sluta sig till formen på molnpartiklar och med Dopplertechnik mäta hur de rör sig. Genom att observera i flera närliggande våglängder runt olika absorptionsband kan man mäta halten av olika gaser. Flera instrument är dubblade och observerar samtidigt genom buken och taket på flygplanet, så att man observerar hela atmosfärskolumnen oavsett på vilken höjd man flyger.

EN TYPISK ARBETSDAG börjar vid femtiden på morgonen då ett team sammanställer dagens väderprognos, medan flygplanets besättning och tekniker tar sig ut till Arena Arctis och börjar förbereda planet. Briefing sker i hangaren omkring en timme före avgång, och flygplanet startar före solens uppgång. Några av de som är kvar på marken börjar arbeta med prognos och planering för de närmaste dagarna medan planet stiger till mellan 8 och 10 km och flyger raka vägen norröver så långt det går, beroende på vädersituationen.

På utresan observeras atmosfären under flygplanet med fjärranalys och droppsonder. Man flyger alltid utresan på hög höjd, eftersom det drar mindre bränsle. Man forskar sig hemåt, för då har man bättre koll på bränsletillgången och kan lättare beräkna hur länge man kan fort-

sätta utan att ta risker. Om något skulle hända, så att man måste avbryta, är det också kortare väg tillbaka.

På plats i norr sjunker flygplanet i en spiral och observerar förhållandena ned till lägsta höjd, omkring 50 meter. På tillbakavägen genomförs sedan olika manövrar: dels "delfinflygning", upp och ned genom gränsskiktet för att skapa en 2-dimensionell bild, och dels flera upp till 10 minuter långa färdben på konstant höjd – på låg höjd för att uppskatta turbulenta ytflöden och nederbörd, i molnen för att observera droppar, partiklar och iskristaller, och över moln för att observera gränssytan till den fria atmosfären. Hela tiden används radar och lidar, uppåt och nedåt. Alla instrument bevakas noggrant av forskare i flygplanets lastrum (figur 3). De kommunicerar via headset med "mission scientist" som håller kontakt med besättningen på "flight deck" (figur 4), och beslutar i samråd om justeringar eller avvikelser i planen.

Men fältfasen av CAESAR, som pågick från mitten av februari till början av april, är alltså bara början. Nu återstår analys och syntes av många insamlade terabyte av observationer. Sedan ska all data tolkas till användbar information för olika datormodeller av atmosfären – CAESARs yttersta mål är att förbättra dessa. Både för bättre väderprognoser och för mer pålitliga klimatscenarier. Men allra viktigast är ändå att vi lär oss mer om och ökar vår förståelse för hur vår värld fungerar.

MICHAEL TJERNSTRÖM
Prof. em., meteorologi,
Stockholms universitet



Ann-Kathrin Raab (andra från vänster, håller i 9:an), Lunds Universitet, var medlem i juryn under IYPT-finalen 2024 i Budapest, Ungern.

Fysik-VM kommer till Sverige

Nästa sommar arrangeras **IYPT**, ibland kallat "fysik-VM", i Sverige.

International Young Physicists' Tournament, IYPT, är en tävling som erbjuder gymnasieelever utmanande, experimentella forskningsprojekt – 17 nya varje år, vilka publiceras i juli/augusti (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 1/2023). Den som vill prova uppgifterna själv, eller med sina elever, hittar två av problemen till IYPT 2025 här bredvid. Till att börja med vill vi säga att de olika problemen är mycket lämpliga som gymnasiearbete eller annat utökat fördjupningsarbete i fysik, där det dessutom är en fördel att arbeta tillsammans i en liten grupp.

Om man lyckats väl med sina undersökningar finns det också möjlighet att anmäla sig för att tävla om en plats i det svenska laget under våren.

IYPT skiljer sig från andra vetenskapliga tävlingar genom att den inte innehåller något prov, utan mer utgörs av forskningsprocessens olika faser. Under förberedelsefasen handlar det om: idéer, experiment, analys och teoretiskt eller empiriskt modellbygge. Själva tävlandet har sedan mer formen av en vetenskaplig konferens eller akademisk examination: man håller en presentation med opposition och diskussion. Insatserna bedöms av en jurygrupp bestående av forskare och lärare.

Se IYPT 2025 "live"
– Lund, 29 juni–6 juli 2025

Tävlingen arrangeras varje år på olika

Två uppgifter till IYPT 2025

7. Ruler Cannon

Två linjaler läggs på varandra och kläms ihop vid ena änden. En rund projektil, till exempel en plastkapsyl eller en boll/kula placeras mellan linjalerna nära den fria änden. När man låter en extra, yttre kraft trycka på den övre linjalen, skjuts projektilen iväg med hög hastighet.

Undersök denna effekt och de parametrar som påverkar utskjutningshastigheten.

9. Magnetic assist

Fäst en eller två magneter på en omagnetisk och icke-ledande skiva. Magneterna ska vara orienterade så att de attraherar en magnet upphängd i en tråd ovanför – som en pendel. Undersök hur rörelsen påverkas av relevanta parametrar.

- Du hittar alla 17 problem (på engelska) på www.iypt.org/problems/problems-for-the-38th-iypt-2025/

platser i världen, och nästa sommar arrangerar vi IYPT 2025 i Lund, på Fysiska institutionen och Biomedicinskt center (BMC).

Det väntas bli ett ganska stort arrangemang, med drygt 40 deltagande länder – och vi är nu i behov av jurymedlemmar. Att delta som jurymedlem är ett utmärkt tillfälle att se tävlingen och elevernas

fantastiska insatser på plats. Intresserade kan kontakta oss på info@iyptsweden.org.

Handledare sökes

Även om flera av IYPT-problemen kan vara enkla att ställa upp, kan teorin vara svår för en elev på gymnasiet att förstå. Vi söker därför fysiker som har tid och lust att vara handledare/bollplank till elever enskilt eller i grupp.Handledning kan ske digitalt. Om du är intresserad, hör av dig till adressen ovan.

IYPT 2025 stöds av: Skolverket, Jacob Wallenberg Stiftelse, Jane Street, Visit Skåne, Visit Lund AB, Beijerstiftelsen, Olle Engkvists Stiftelse, Wenner-Gren Stiftelserna, Einar Hansens Alhemsstiftelse, Stiftelsen, Oscar och Maria Ekmans Donationsfond, Magnus Bergvalls Stiftelse, Stiftelsen för Strategisk Forskning, Sven och Dagmar Saléns stiftelse, Stiftelsen Bertil Wollerts Stipendiefond, Lunds Kommun, Region Skåne och Vernier.

LARS GRÄSJÖ
SAM EDGEcombe
IYPT Sweden

Läs mer

www.iypt.se
www.iypt.org



FIGUR 1 Bild tagen av NASA över USAs gulfkust som visar det omgivande "airglow" som skapas av reaktioner i övre atmosfären av jorden.

AVHANDLINGEN

När motsatt laddade joner möter varandra

Att studera det som händer när en negativ jon möter en positiv jon kan låta enkelt, men det är det faktiskt inte. **Mathias Poline** har i sin avhandling fokuserat på reaktioner mellan atmosfäriska molekyllära joner, där dynamiken och produkterna har varit helt okända tills nu.

När man hör ordet "plasma", så tänker man ofta på någon slags gas vid väldigt hög temperatur, något som endast uppstår i extrema förhållanden. Men så behöver inte det vara. Ett plasma definieras av att det innehåller en signifikant andel laddade partiklar, och därmed kan stora delar av vår egen atmosfär och rymden faktiskt betraktas som *kalla* plasma, eftersom många joniserade partiklar finns där. Dessa joner skapas på grund av det konstanta inflödet av strålning från yttre rymden och vår sol, mest i form av UV-fotoner.

Vårt ozonlager absorberar som tur är det mesta av UV-strålningen, men högt upp i vår atmosfär så växelverkar strålningen med atmosfären. Där har den tillräckligt mycket energi för att både jonisera och bryta sönder bindningar av de vanligaste gaserna som finns där, nämligen kväve (N_2) och syre (O_2), vilket skapar joner som N^+ , O_2^+ , O^+ , med flera.

När dessa skapas, eller reagerar med varandra, så leder det till att partiklarna blir elektroniskt exciterade och sänder ut ljus. Detta resulterar i så kallat "airglow", vilket är ett svagt ljus på natt-

himlen. Airglow finns över hela jorden, och är ibland synligt för oss från marken (figur 1). Detta fenomen bör inte förväxlas med polarsken som ju framför allt uppstår vid polerna, och beror på växelverkan mellan vår magnetfält och solvindar.

DE FLESTA AV DE reaktioner som leder till airglow har studerats väldigt noggrant de senaste årtiondena. Men en specifik reaktion har inte fått samma uppmärksamhet, nämligen elektronöverföring mellan motsatt laddade joner. När en negativ jon möter en positiv jon, kan en elektron hoppa av

Mutual neutralisation reactions in planetary atmospheres and industrial plasmas

- Författare: Mathias Poline
- Stockholms universitet, 2024
- ISBN: 978-91-8014-947-1
- Länk till avhandlingen: su.diva-portal.org/smash/get/diva2:1900952/FULLTEXT01.pdf
- Handledare: Richard D. Thomas, Docent, Åsa Larson, Professor, Henning Zettergren, Professor, Fysikum, Stockholms universitet.
- Opponent: Robert E. Continetti, Professor, University of California San Diego, USA.



från den negativa jonen till den positiva, och därmed skapas två neutrala produkter. Denna energirika reaktion kan leda både till att produkterna blir exciterade men också till att de får höga kinetiska energier.

Då kan man undra varför man inte har kunnat studera en så pass enkel reaktion tidigare? Givetvis är det inte särskilt svårt att skapa ett plasma där både positiva joner och negativa joner uppstår i laboriemiljö. Detta har man också under lång tid kunnat göra. Men hur identifierar man vilka reaktioner som sker i plasmat och vilka produkter som skapats av dessa reaktioner? Det är faktiskt inte så lätt. För att uppnå detta så är det mer lämpligt att studera de isolerade kollisionerna i vakuum. Och det enda laboriet som kan uppnå detta i dag ligger faktiskt i Stockholm, och har namnet DESIREE (Double ElectroStatic Ion Ring ExpEriment).

DESIREE BESTÅR AV två jonlagringsringar, som ligger i en vakuumkammare som är nerfryst till 14K (−259°C). De positiva jonerna lagras i den ena ringen och de negativa i den andra (figur 2). De två ringarna är också ihopkopplade i mitten, så att jonerna möts där. Men varför lagrar man jonerna i så kalla temperaturer? Jo, syftet med det är att ”kyla ner” jonerna, det vill säga att få dessa att bli av med sina överskott av elektronisk-, vibrations- och

rotationsenergi. Man vill kunna studera reaktionerna på ett sätt som är relevant för de plasma som man hittar dessa joner i, och i både atmosfären och i yttre rymden så är jonerna ofta så kalla.

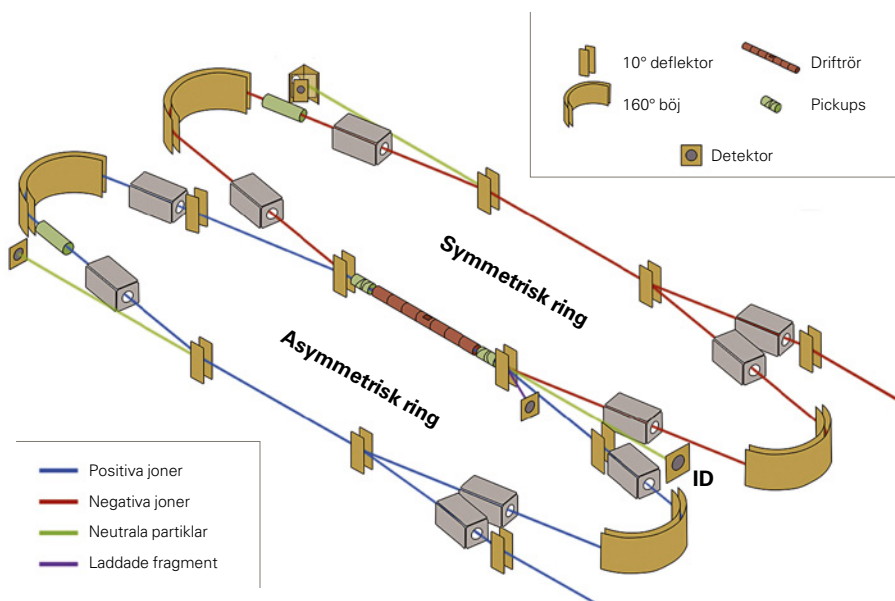
Man kan studera reaktionen som en funktion av lagringstid, vilket då motsvarar en viss temperatur på jonerna. När jonerna möts skapas neutrala produkter som inte längre påverkas av de elektrostatiske komponenter som styr jonerna i deras bestämda banor. Produkterna går alltså rakt fram till detektorn, en bana som i figur 2 illustreras av den gröna strålen. En kamera fångar en bild av var produkterna hamnade på detektorn, och genom att beräkna avstånden mellan produkterna så kan man bestämma hur mycket kinetisk energi de fick. På så sätt kan man identifiera vilka elektroniska tillstånd de hamnade i.

I MIN AVHANDLING HAR jag fokuserat på att studera ett antal system som involverar atmosfäriska molekyllära joner där dynamiken eller produkterna är helt okända. Det är intressant att studera hur molekyllära joner växelverkar eftersom reaktionen kan leda till att bindningar bryts och/eller nya bindningar skapas.

Att få ut denna information är lite mer avancerat än att bara beräkna avståndet mellan produkterna. För att uppnå detta så använder jag mig av en avbildningsteknik kallad för ”Dalitz plot”¹. Då kollar man istället på vilka geometrier produkterna skapades i, vilket talar om för oss hur dynamiken i reaktionen ser ut.

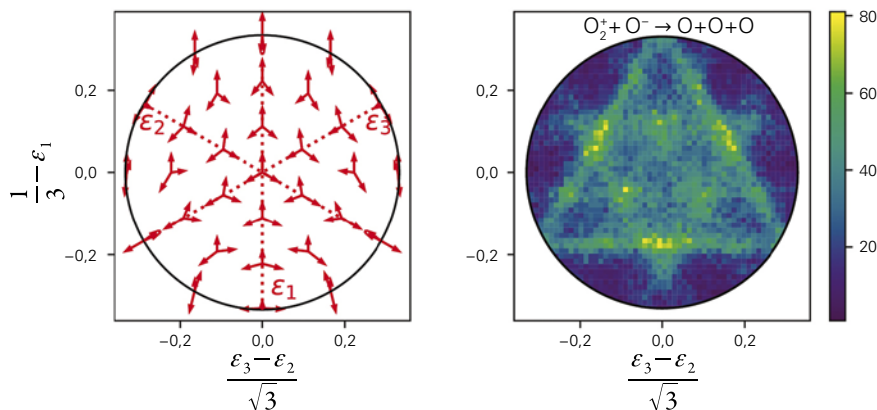
DEN VÄNSTRA BILDEN I figur 3 (nästa sida) visar oss alla geometrier som tre produkter skulle kunna skapa, genom energi- och rörelsemängdsbevarande. Högra bilden visar en densitetskarta över vilka geometrier som detekterades i ett experiment där O_2^+ reagerade med O^- . Det finns nämligen ett par olika scenarier som skulle kunna utspelas. De två jonerna skulle kunna komma nära nog för att skapa ozon (O_3). Eller så skulle elektronen kunna överföras på långt avstånd ▶

¹ En *Dalitz plot* är en tvådimensionell graf som används för att beskriva kinematiken för tre kroppar. Den används främst inom partikelfysik för att beskriva sönderfall av subatomära partiklar men har på senare tid också används för att beskriva molekyl-dissociationsdynamik.



FIGUR 2 Schematisk layout över DESIREEs olika komponenter. De positiva jonerna (blå strålen) lagras i den asymmetriska ringen och de negativa jonerna (röd stråle) i den symmetriska ringen. Dessa möts i drifttrör-regionen (drift tubes), där de interagerar med varandra och bildar neutrala produkter som fortsätter mot detektorn (ID – Imaging Detector).

ILLUSTRATION: MOA KRISTIANSSON



FIGUR 3 En "Dalitz plot. De tre produkterna får var sin andel, ϵ , av den totala kinetiska energin, vilket motsvarar olika dissociationsgeometrier (vänster). Genom att bestämma densiteten av händelser med motsvarande koordinater kan man hitta mönster som beskriver reaktionsdynamiken (höger).

► och skapa en exciterad O_2 , som sedan antingen sänder ut en foton eller bryts sönder.

Det senare scenariot är det vi observerar: reaktionen leder exklusivt till dissociation och tre atomära syreprodukter skapas. Detta sker via ett intermediärt, metastabilt tillstånd i O_2 som man då kan identifiera med hjälp av de specifika mönster som bilden visar. Vi gjorde liknande analyser för ett antal andra system, där vi upptäckte mycket intressanta dynamiker. Till exempel upptäckte vi att när CO^+ interagerar med O^- , så blev en del av produkterna vibrationellt exciterade, vilket leder till att det också utstrålas värme i processen. Och för interaktionen mellan NO^+ och NO_2^- upptäckte vi att den negativa jonen hade stor påverkan på reaktionen. Normalt sett brukar den negativa jonen nämligen vara en passiv elektrondonator, men här kunde vi observera att den blev elektroniskt exciterad men också kunde dissocieras i processen.

DESIREE HAR VARIT VÄLDIGT framgångsrikt de senaste fem åren, med artiklar publicerade i både *Science* och *Nature*. Anläggningen är en nationell infrastruktur, vilket innebär att forskare från hela världen ansöker för att få ta del av experiment där. Ett projekt som jag har varit inblandat i är att undersöka hur vattenjoner reagerar med varandra. Man vet nämligen att H_3O^+ och OH^- förekommer i vatten, vilket är det som bestämmer PH-värdet, och dessa skapas eller förstörs genom

protonöverföring. Men att modellera detta är väldigt komplicerat, då det krävs avancerade kvantkemiberäkningar. Genom att studera den isolerade reaktionen kan vi på sätt och vis vägleda teoretiker. Om kvantkemister lyckas reproducera våra resultat i det förenklade, isolerade systemet så kan det peka ut en teoretisk riktning – och då kan det förhoppningsvis bli enklare att lägga till det omgivande vattnet i modellen.

VÅRA RESULTAT VISADE ATT elektronöverföring är den dominerande processen i gasform, vilket inte var så förvånande då det är den höga densiteten i flytande vatten som bidrar till att protoner kan överföras. Det intressanta var dock att vi observerade protonöverföring som en mindre kanal, och detta kan ge en inblick i hur reaktionen äger rum. En fråga som uppstår är hur många omgivande vattenmolekyler som behövs innan protonöverföring börjar dominera?

Detta kommer DESIREE kunna svara på om några år. Projektet har precis beviljats medel av Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse, vilket kommer användas bland annat för att tillverka en ny detektor som inte bara detekterar produkternas position, utan också deras massa. Med den informationen kommer vi att kunna studera mycket mer komplexa reaktioner, där man till exempel skapar nya bindningar.

MATHIAS POLINE
Stockholms universitet

Från musik till fysik

Ett intresse för astronomi förde **Mathias Poline** från klarinett och piano till plasmafysik.

Vad arbetar du med just nu?

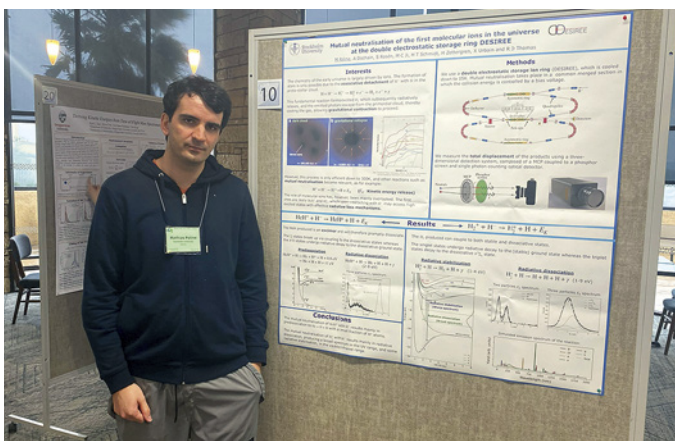
– Min avhandling har just gått i tryck [Mathias disputation var den 8 november, efter att denna intervju gjordes /redaktionens anmärkning]. Just nu så arbetar jag med att få ett par artiklar accepterade för publikation. Lite enkelt kan man säga att ju högre rankad tidskrift man vill publicera i, desto noggrannare blir granskningen av anonyma referees. Det tar tid att besvara alla deras synpunkter, samtidigt som det är roligt att de läser så noggrant.

Hur kom det sig att du blev intresserad av fysik?

– I gymnasiet var musik mitt huvudämne. Jag spelade klarinett och piano, men insåg att det är svårt att leva på att spela musik. Jag var också intresserad av astronomi. Min pappa arbetar som ingenjör med tillämpad fysik, men jag ville inte gå i hans fotspår. Grundläggande fysik och forskning lockade mig mycket mer. Jag tror att det är vanligt att fysiker börjar intressera sig för astronomi, för att sedan komma in på fysik. Det är enkelt att gå ut på kvällen och studera stjärnhimlen när man är ung. Steget till fysik är sedan kort.

Vad kommer det du forskar på att kunna användas till?

– Som framgår i artikeln så har jag fokuserat mest på reaktioner i atmosfären. Min forskning är därmed mest relevant för att få en djupare förståelse av fenomen i vår atmosfär såsom korta röda eller orangefärgade blixtrar, nattsken, och så vidare. Men det gäller också andra planeters atmosfärer, eftersom de flesta innehåller joner, och studier av reaktioner mellan joner kan hjälpa till att förstå dessa atmosfärers historia och utveckling.



I andra hand har jag studerat reaktioner som har betydelse i industriella plasma. Till exempel så finns det nya rymdfarkoster som använder sig av jonframdrivning, och det saknas information om hur reaktioner mellan joner påverkar reaktorns effektivitet. Sedan så finns det idag flera experimentella lab där man försöker skapa fusionsreaktorer, och där finns det också intresse för vad reaktioner mellan joner har för påverkan.

Vad blir nästa steg för dig?

– Jag tänker ta lite ledigt och återhämta mig. Att jobba som doktorand är väldigt roligt men kräver mycket arbete och engagemang, samtidigt som man har sitt eget privatliv att tänka på. Vissa experiment körs 24/7 under en hel vecka, och sedan åker man på konferenser på andra sidan jordklotet. Men jag vill gärna fortsätta inom akademien eftersom jag tycker det är spännande. Det som förväntas efter man har blivit doktor är att man breddar sina kunskaper genom att man jobbar två till tre år på ett universitet utomlands. För mig känns det då naturligt att det blir Frankrike då jag har släktingar där.

MATS LARSSON
Stockholms universitet

”Min forskning är mest relevant för att få en djupare förståelse på fenomenen i vår atmosfär.”

Mathias Poline
på konferensen
”Molecular and Ionic
Clusters Gordon
Research Seminar”
i Ventura, Kalifornien,
2024.



GÖTEBORGS
UNIVERSITET



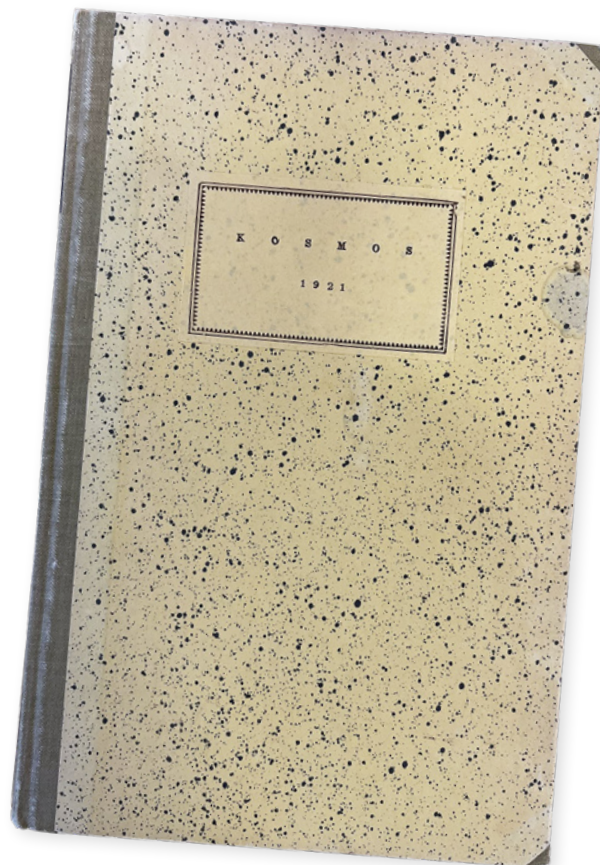
VILL DINA ELEVER LÄSA FYSIK 3?

Institutionen för fysik vid Göteborgs universitet erbjuder gymnasiekursen Fysik 3 varje vårtermin – både på distans och på Campus Johanneberg.



Kosmos fyller 100

Tillsammans med detta nummer av *Fysikaktuell* ger vi ut **band 100 av Kosmos**. Med anledning av detta bjuder vi på en tillbakablick på Svenska Fysikersamfundets årsbok.



Det första bandet av *Kosmos* gavs ut 1921.

Redan vid Svenska Fysikersamfundets allra första styrelsemöte, i november 1920, bestämdes det att samfundet skulle ge ut en årsbok, och den skulle heta *Kosmos* (eller mer exakt: *Kosmos, Fysiska uppsatser utgivna av Svenska Fysikersamfundet*). Som redaktör utsågs samfundets förste ordförande, Carl Wilhelm Oséen. Det diskuterades en del om vilket språk skriften skulle utges på, men man enades till slut om att den skulle vara på svenska och rikta sig till en svensk publik. *Kosmos* visade sig vara ett uppskattat initiativ. Boken bidrog i högsta grad till den ursprungliga rekryteringen av medlemmar till det nya samfundet och *Kosmos* blev genast en av kärnverksamheterna.

Samfundets styrelse lyckades avtala med P.A. Norstedt & söner om att förlägga boken. *Kosmos* utgavs därefter av Norstedts till och med 1964. Till band 1, som kom ut 1921, fick Oséen ihop nio artiklar av en imponerande samling författare. Det allra första bidraget var från Svante Arrhenius, och bland övriga skribenter kan nämnas Oséen själv, samt Manne Siegbahn. Bland prominenta författare de närmast följande åren finns bland annat Oskar Klein, The Svedberg

och Ivar Waller. Artiklarna i gamla upplagor av *Kosmos* är mycket läsvärda än idag, ett sekel senare.

Inför 1924 togs redaktörsrollen över av Arvid Odencrants, som satte samman ett ytterst gediget nummer, band 4, med tolv artiklar. I samband med detta verkar det dock som om samfundet förtagit sig, och dess ekonomi var på fallrepet. Band 5 utkom först mot slutet av 1927 och kallades 1925–26. Därefter följde band 6 (1927–28), som blev klart på nyåret 1929. 1929 fick så Fysikersamfundet ett stats-

bidrag för utgivningen av *Kosmos* på 2 000 kronor per år. Detta räddade ekonomin, och nu följde en stabil årlig utgivning av *Kosmos*.

REDAKTÖRSKAPET BYTTE HAND några gånger, men den som satte sin prägel på *Kosmos* mer än någon annan under det första halvsekle var Anna Beckman, som var ansvarig för boken i 20 år. Parallellt med att vara redaktör för *Kosmos* var hon samfundets sekreterare. Under Beckman stabiliserades *Kosmos* som Svenska Fysikersamfundets medlemsorgan.

Artiklarna har genom åren fortsatt att till övervägande del vara på svenska, men då och då har ett fåtal undantag gjorts, med enstaka artiklar på tyska, engelska, norska och danska. Tittar man i *Kosmos* författarregister hittar man många kända namn. En del svenska giganter har nämnts ovan, och till dessa kan läggas sådana som Hannes Alfvén och Kai Siegbahn och många andra. Prominenta utländska namn har också medverkat. Ofta har det då rört sig om artiklar översatta till svenska, men som sagts har andra språk förkommit. Namn som Niels och Aage Bohr, Lise Meitner, Hideki Yukawa,

Kosmos redaktörer

Carl Wilhelm Oséen 1921–23

Arvid Odencrants 1924–26

Gudmund Borelius 1927–35

Anna Beckman 1936–55

Sven Lennander 1955–63

Nils Robert Nilsson 1964–76

Ulf Litzén 1977–82

Torsten Lindqvist 1982–92

John-Erik Thun 1993–2003

Leif Karlsson 2004–16

Sören Holst 2017–19

Anders Kastberg 2020–

Richard Feynman, Lawrence Bragg, Brian Josephson, Murray Gell-Mann och Claude Cohen-Tannoudji skäms inte för sig. Ämnena som förekommit i *Kosmos* under åren spänner över alla fysikens domäner och inbegriper såväl grundläggande och tillämpad fysik, som fysikhistoriska artiklar och biografier.

DET URSPRUNGLIGA FORMATET av *Kosmos* (oktav) bibehölls så länge som Norstedts utgav *Kosmos*. 1965 kom så en förändring. Året innan hade Nils Robert Nilsson tagit över som redaktör och nu blev Almqvist & Wiksell förlag. Formatet blev kvadratisk med två spalter och några enstaka bilder i färg tillkom. Detta format bibehölls till och med 1975. Formatet ändrades sedan igen, till mjukt format, 1976 på grund av ökade tryckkostnader. Efter det att stödet från NFR försvunnit löstes utgivningen på olika sätt, tills dess att Fysikersamfundet 2017 började ge ut boken själva.

Kring 1980 började Samfundet dela ut ett informationsblad, med namnet *Fysikaktuellt* (vilken sedan gradvis utvecklats till den tidning vi har idag). Det fanns behov att kommunicera aktualiteter till medlemmarna på en mer regelbunden basis än en gång om året. Detta förändrade i praktiken uppdraget för *Kosmos*. Man kunde nu vika boken helt och hållet till välskrivna uppsatser om fysik. Inslag som, till exempel, minnesartiklar om någon fysiker som gått bort hade redan tidigare försvunnit. Från och med mitten av 70-talet hade också Nils Robert Nilsson infört temanummer – något som sedan skulle komma och gå.

I EN DRYG 30-ÅRS PERIOD, från tidigt 80-tal, fanns redaktörskapet på Fysikum i Uppsala, och *Kosmos* sköttes förtjänstfullt av, i tur och ordning, Torsten Lindqvist, John-Erik Thun och Leif Karlsson. Under denna tid utkom många gedigna band av *Kosmos*, med artiklar av mycket hög kvalitet. Ofta inleddes boken av en artikel om det senaste Nobelpriset i fysik.

2017 beslutade samfundets styrelse att *Kosmos*, i det nya mediesamhället behövde en modernisering. Vidare tog Samfundet själva över den formella delen av utgiv-



Anna Beckman, redaktör för *Kosmos* 1936–55, och den som kanske präglade boken mest under dess första 50 år.

ningen, ett externt tryckeri anlätades och man började nu skicka ut den tryckta boken gratis till alla medlemmar, samt till många skolor. En digitaliserad version publicerades på nätet. En annan nyhet var att varje artikel publicerades under en så kallad *creative commons*-licens, vilket innebär att artikelförfattaren behåller ursprungsrätten till sin artikel, men att det blir tillåtet att återge innehåll, så länge källan anges.

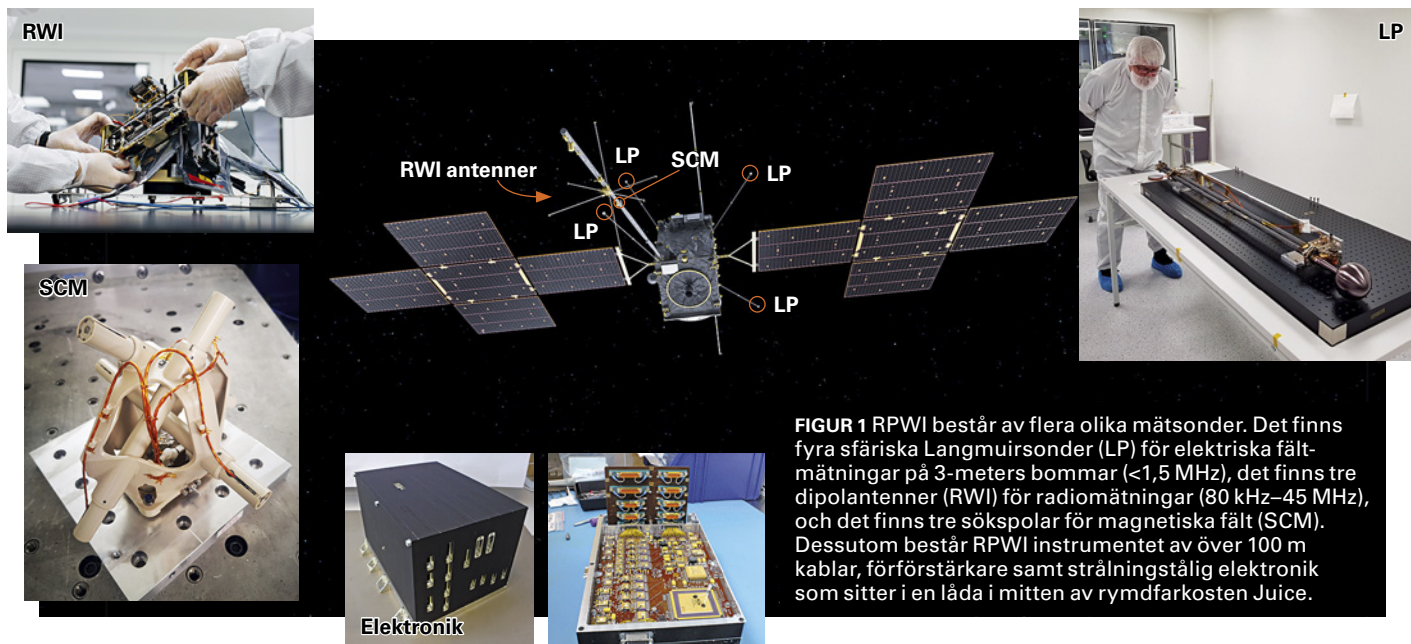
UPPLÄGGET AV NYA *Kosmos*, dess formgivning, samt en programförklaring framarbetades av den nye redaktören Sören Holst med hjälp av grafikern Göran Durgé. Detta format, och detta upplägg, är det som fortfarande gäller för *Kosmos*. Det är nu ett fokus på temanummer, då samfundets styrelse tydligt uttryckt att det är det man föredrar.

Vi som nu arbetar med *Kosmos* har förmånen att vi har ett väl genomtänkt format och upplägg som ligger i tiden, och genom det utmärkte arbete alla våra förtärdare gjort har vi en stolt tradition att falla tillbaka på och förträffliga förebilder för arbetet. Då vi i år ger ut band 100 (som delas ut tillsammans med detta nummer av *Fysikaktuellt*) har vi som jubileumstema valt "Fysik och människan", och vi har ett brett och tillämpat anslag. Det är vår förhoppning att årets *Kosmos* ska komma medlemmarna till godo.

ANDERS KASTBERG
redaktör för *Kosmos*

Läs mer

<http://www.fysikersamfundet.se/kosmos/>
<https://runeberg.org/kosmos/>



FIGUR 1 RPWI består av flera olika mätsonder. Det finns fyra sfäriska Langmuirsonder (LP) för elektriska fältmätningar på 3-meters bommar (<1,5 MHz), det finns tre dipolantennor (RWI) för radiomätningar (80 kHz–45 MHz), och det finns tre sökspolar för magnetiska fält (SCM). Dessutom består RPWI instrumentet av över 100 m kablar, förstärkare samt strålningstål elektronik som sitter i en låda i mitten av rymdfarkosten Juice.

På jakt efter kunskap i Jupiters månoceaner

Den europeiska **rymdfarkosten Juice** är på väg till Jupiters stora isiga månar. Väl där kan vi bland annat studera oceanerna under isarna – med elektromagnetiska mätsonder. Vi testade våra mätmetoder när vi passerade vår egen måne i augusti, men där finns ju inga oceaner...

Under mer än 15 års tid har ingenjörer och forskare i flera länder (i Europa, Japan och USA) arbetat intensivt med att få rymdfarkosten Juice och dess instrument redo för uppskjutning (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 1/2024). Den 14 april 2023 bar det av, och nu väntar en åtta år lång kryssningsfärd till Jupiter. Det är dock ingen vilotid för de som handhar instrumenten och rymdfarkosten. Det är fullt upp vid Institutet för rymdfysik (IRF) i Uppsala, som leder verksamheten för ett av de tio instrumentpaketen ombord, med det lite kryptiska namnet "Radio & Plasma Wave Investigation" (förkortat RPWI).

RPWI består av flera olika sonder (med tillhörande elektronik och kablar, se figur 1) för mätning av elektriska

och magnetiska fält, stoftpartiklar och plasma. Att designa och bygga vetenskapliga experiment på en rymdfarkost som ska mäta specifika saker kring Jupiter och dess månar är förstås förknippat med flera utmaningar. En av de saker vi bestämde oss för att försöka mäta var den elektromagnetiska induktionen som uppstår när Jupiters magnetfält passerar de salta haven under isarna på de isiga Galileiska månarna Europa, Ganymedes och Callisto. Hur fungerar det?

JUPITERS MAGNETFÄLT (magnetosfär) roterar med planeten. Månarna rör sig i Keplerbanor kring planeten, medan magnetfältet rusar förbi dem med en större relativ hastighet av flera

10-tals km/s. På grund av att Jupiters rotationsaxel lutar lite jämfört med de isiga månarnas banplan, så kommer magnetfältets styrka dessutom att ändras periodiskt med tiden i närheten av månarna, vilket skapar ett motsvarande elektriskt fält enligt Maxwell-Faradays lag. Det blir en elektromagnetisk störning som utbreder sig i magnetosfärens plasma. Vi vet att en sådan störning utbreder sig som en våg, en så kallad *Alfvénvåg* (efter Hannes Alfvén). Den elektromagnetiska störningen passerar ostört genom isen, och träffar på havet under isen.

Nu är det så att dessa hav är salta, vilket gör dem elektriskt ledande. Den elektromagnetiska störningen skapar därför en elektrisk ström där, enligt Ampères lag.

Denna elektriska ström skapar i sin tur en magnetisk respons som motverkar den ursprungliga störningen. En ny elektromagnetisk störning uppstår alltså i havet, och utbreder sig tillbaka ut i rymden där den kan mätas med RPWI på Juice.

Denna induktionsprocess går i princip att göra en förenklad modell av (figur 2), och induktionen har tidigare uppmätts av den förbiflygande rymdfarkosten Galileo. Amplituden uppskattades då till ungefär 30–70 nT i det magnetiska fältet och några mV/m i det elektriska fältet. Fördelen med Juice är våra nya elektriska fältmätningar, där vi gör många förbiflygningar av månarna, samt att Juice kommer att gå i bana kring månen Ganymedes och göra kontinuerliga mätningar där. Men det finns flera faktorer som vi måste ta hänsyn till.

RYMDMILJÖN ÄR SPECIELLT påfrestande av flera orsaker. Jupiters vidsträckta strålningsbälten utbreder sig till bortom månarna Europa och Ganymedes. Laddade partiklar (elektroner och joner) med energier på flera MeV till GeV följer Jupiters magnetfält och studsar mellan Jupiters poler. Dessa strålningsbälten, vars motsvarigheter runt jorden kallas Van Allen-bälten, är planetsystemets intensivaste. När rymdfarkosten passerar dessa regioner i Jupiters magnetosfär så slår de energirika partiklarna in långt inne i rymdfarkosten, träffar materialet där, och skapar skurar av sekundära elektroner och röntgenstrålning (så kallad bromsstrålning). Vanliga elektroniska komponenter slutar fungera eller förstörs snabbt i en sådan omgivning. Därför används i stället strålningshårdade elektronikkomponenter och man kapslar in dessa i metallådor där även tunga äm-

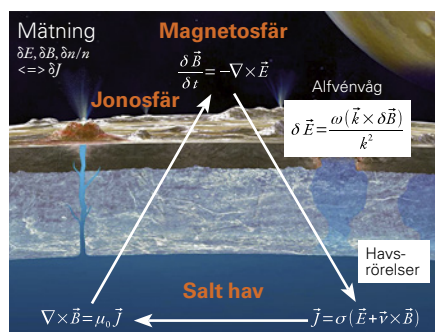
nen som bly och volfram används. Speciellt kritiskt är detta för de förstärkare som sitter nära rymdfarkostens yta.

Borta vid Jupiter är det mycket kallt, jämviktstemperaturer i rymdfarkosten kan gå ned till under -150°C . Men Juice passerar även Venus och där blir det i stället varmt, över 100°C . Aktiv elektronik i instrumenten värmer också, och temperaturerna kan periodvis variera till extrema värden. Allt material och elektronik måste tåla detta, under projektets hela livslängd på över 12, kanske uppåt 15, år i rymden. Dessutom måste vi veta hur känsligheten av våra elektriska fältmätningar varierar när temperaturen varierar.

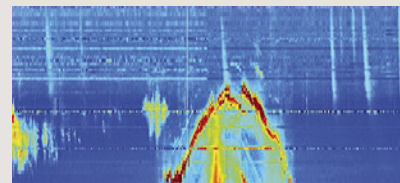
Till detta kommer rymdens vakuum, vibrationer, elektrisk uppladdning, och inte minst mikrometerstora meteoriter med hastigheter på flera km/s som slår ner på ytor (till exempel sensorer) där lösa kablar lätt kapas. Rymdmiljön är allt annat än vänlig och såväl vetenskapliga experiment som rymdfarkosten måste vara "space qualified" i mängder av olika tester på marken. Att "rocket scientist" kommit att beteckna en väldigt kunnig person är inte utan anledning.

ETT SPECIFIKT PROBLEM för just RPWI, är hur man mäter elektriska fält vid låga frekvenser (från DC till 1,5 MHz). För att kunna mäta induktionen från haven under isytorna används fyra Langmuirsonder¹. Själva mätprincipen är enkel – mät potential vid de fyra små sfäriska sönerna, dividera med avståndet, och härled det elektriska fältet från $E_{1,2} = (U_2 - U_1)/d_{1,2}$, där $d_{1,2}$ är avståndet mellan sönerna 1 och 2. För högre frekvenser måste det effektiva "antenn"-avståndet ($d_{1,2,\text{eff}}$) beräknas, men det presenterar vi inte här. Själva mätningen är mycket noggrann, ungefär $0,9 \mu\text{V/m}$. Den noggrannheten är tusen gånger bättre än vad vi behöver för att detektera den elektriska induktionen från haven under isarna hos Europa, Ganymedes eller Callisto.

¹ En *Langmuirsond* (efter Irving Langmuir, Nobelpris i kemi 1932) är en sond som används för att mäta olika egenskaper hos ett plasma, genom att lägga en elektrisk spänning mellan sonden (en ledande yta av något slag) och någon form av elektrisk jord.



FIGUR 2 En förenklad modell av induktionsprocessen i de salta haven.



Den 20 augusti i år flög Juice förbi jorden med syfte att ändra sondens hastighet och riktning. Man passade då på att aktivera några av instrumenten, bland annat RPWI. De insamlade radiovågorna från jorden och solen, kombinerades till ett ljudspår som låter oss "lyssna" på radiovågorna i jordens omgivning.

Lyssna på klippet på www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2024/08/Listen_to_Juice_s_flyby_of_Earth



Det stora problemet är dock att kompensera för rymdfarkostens elektriska uppladdning och dess form i olika plasmaomgivningar, vilket påverkar mätningen av naturliga elektriska fält nära månarna.

Rymdfarkosten har stora solpaneler och är inte symmetrisk på något sätt. Normalt i Jupiters magnetosfär kommer rymdfarkosten att laddas negativt, men hur mycket beror bland annat på solbelysning och ytmaterial, och uppladdningen kan bli inhomogen. Våra Langmuirsonder är monterade på 3 meter långa bommar för att komma bort från rymdfarkosten så mycket som möjligt, och på så sätt minimera effekten på våra elektriska fältmätningar. Vi har också gjort hela rymdfarkostens yta elektriskt ledande, vilket minimerar uppladdning av ytan till olika potentialer. Till slut kommer vi under kryssningsfärden till Jupiter att rotera rymdfarkosten i tre dimensioner för att noggrant kalibrera bort effekten av farkostens påverkan av våra elektriska fältmätningar.

Enligt planerna så ska vi alltså kunna mäta upp strukturen på de isiga Galileiska månarnas oceaner när vi kommer dit om några år, men innan dess återstår mycket arbete.

JAN-ERIK WAHLUND

Docent vid Institutet för rymdfysik, Uppsala

Jubilerande betraktelse om värmets drivkraft

För 200 år sedan publicerade en fransk löjtnant en bok som inte direkt rön­te någon framgång i sin samtid. Idag är Sadi Carnot historisk, hans bok räknas som startpunkten för **termodynamiken**, och jubileet firades med en konferens på École polytechnique i södra Paris.

Ar 1824 publicerade Sadi Carnot boken *Réflexions sur la puissance motrice du feu*¹

Han var då en 28-årig löjtnant vid Franska generalstaben, men utan egentliga arbetsuppgifter eller syster­ställning. Hans far, Lazar Carnot, var en ledande revolutionär och Napoleons inrikes­minister under de hundra dagarna, och grundade dessutom École polytechnique där Sadi studerade 1811–14.

Både hans yngre bror och hans brorson blev framgångsrika politiker, men Carnot själv lyckades inte i sin militära karriär, och hans bok rön­te heller ingen större framgång. 1832 dog han, troligen i sviterna av kolera, som intagen på ett privat sinnessjukhus strax söder om Paris. Om man råkar på någon plats i Frankrike uppkallad efter Carnot, så är det efter fadern eller efter brorsonen – men inom



Sadi Carnot.

fysiken är det alltså Sadi Carnot som blivit historisk.

Carnots bok räknas idag som startpunkten för termodynamiken, den fysikaliska teori om vilken Einstein i ett berömt citat sa att det är den enda med universellt innehåll som aldrig kommer att kullkastas. Än idag lär vi ut *Carnotcykler* och *Carnots verkningsgrad för värmemaskiner* på grundnivå. Tvåhundraårsjubileet

av boken uppmärksammades därför med en konferens på École polytechnique i september med ungefär 250 deltagare, där undertecknad var en av talarna.

VAD SÄGER OSS IDAG så gamla teorier som termodynamiken, och vad finns det för nytt att hämta? När man läser Carnot idag frapperas man av det eleganta språket, och av den mycket praktiska motiveringen att förstå varför engelska ångmaskiner på den tiden hade högre verkningsgrad än franska. Men det vetenskapliga innehållet är svår­genomträngligt. Man hittar till exempel inte Carnotformeln någonstans.

En bra ingång till den vetenskapshistoriska litteraturen om vad Carnot faktiskt gjorde och inte gjorde i sin bok presenterades i en artikel i *American Journal of Physics* i början av 2000-talet. Kontrasten är stor mot näste gigant i termodynamikens

historia, den tyske fysikern Rudolf Clausius, som i en berömd skriftserie i tio delar börjar med Carnotcykeln och avslutar med de två meningarna: "Universums energi är konstant. Universums entropi ökar till ett maximum." Ämnet hade genomgått en enorm utveckling på bara 25 år.

EN VIKTIG ASPEKT ÄR att termodynamiken i många avseenden är den kanske mest praktiskt användbara delen av den fundamentala fysiken. Under konferensen demonstrerades det elegant av Tom Markqvart, i ett föredrag om verkningsgraden av olika slags solceller. Pierre Gaspard tog också upp olika områden i modern fysik där motsvarande klassiska termodynamik inte utvecklats, och där det fortfarande finns mer att göra.

En annan aspekt är att den tidiga termodynamiken inte bygger på begreppet termodynamiska gränsen, som sedan Ludwig Boltzmann och Josiah Gibbs spelat en dominerande roll. Under det senaste kvartseket har termodynamik i Carnots och Clausius mening följaktligen utvidgats till den mesoskopiska skalan, till exempel enskilda makromolekyler i vatten, vilket under konferensen presenterades av Christopher Jarzynski och Felix Ritort. Andra huvudsatsen gäller inte för sådana system. I stället gäller andra lagar, från vilka andra huvudsatsen följer som förväntansvärde².

På ännu mindre skala måste systemen betraktas som kvantmekaniska, och värmetransport genom ett kvantmekaniskt system som arbetsmedium ger nya

¹ S. Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824), även publicerad långt efteråt i *Annales scientifiques de l'É.N.S.* 2e série, tome 1 (1872), p. 393–457.

I det ursprungliga manuskriptet använde Carnot den i dåtidens franska relativt tekniska termen *chaleur* (värme), vilket han sedan i korrekt strök över, och ändrade till *feu* (eld). En korrekt översättning av bokens titel till modern svenska torde alltså vara *Betraktelser rörande värmets drivkraft*.



FOTO: PRIVAT

Chris Jarzynski, som också talade på konferensen, och Erik Aurell på konferensmiddagen.

effekter som diskuterades av Janet Anders och Alexia Auffèves³. Bland (mycket annat) gäller inte Fouriers lag för sådana värmeflöden, de kan ha olika värmetransportkoefficienter i olika riktningar, och skulle alltså kunna fungera som termodioder. De dominerande teoretiska modellerna bygger här på Lindblads ekvation, upptäckt av den nyligen bortgångne svenske fysikern Göran Lindblad, som jag också fann anledning att uppmärksamma i mitt föredrag, men då för hans bok om entropi och irreversibilitet.

ERIK AURELL
professor, KTH

2 *Fluktuationsrelationer*, av vilka den mest berömda är *Jarzynskis ekvation*. För makroskopiska system gäller andra huvudsatsen nästan säkert; den så kallade *stokastiska termodynamiken* står inte i någon motsatsställning till klassisk termodynamik.

3 Detta relativt nya område kallas ofta för *Kvanttermodynamik* (Quantum thermodynamics).

Läs mer

Sadi Carnot's Legacy 2024:
portail.polytechnique.edu/physique/fr/seminaires/colloquium-sadi-carnots-legacy-2024

"Sadi Carnot on Carnot's theorem" Güémez; Fiolhais & Fiolhais, *Am. J. Phys.* 70:42–47 (2002)

G. Lindblad, *Non-Equilibrium Entropy and Irreversibility*, D. Reidel (1983)

"A Perspective on Lindblad's Non-Equilibrium Entropy", Aurell & Kawai, *Open Systems & Information Dynamics* 30:02 (2023)

Vardagligt om universums hemligheter

En sekund i evigheten

Ulf Danielsson

Förlag: Fri Tanke, 2024

Antal sidor: 176

ISBN:

978-91-89-73227-8



Ulf Danielssons bok *En sekund i evigheten* är inget vanligt populärvetenskapligt verk. Det är en samling betraktelser, skrivna under ett drygt decennium, där man som läsare bjuds med att se sin plats och liv här på jorden i ett större perspektiv. Bokens baksida beskriver samlingen med den något dissonant klingande alliterationen "profan postilla", vilket säkerligen är en referens till en annan Danielssons postilla från år 1965, alltså Tage Danielsson. Till skillnad från den senare är Ulf Danielssons berättelser ofta en sammankoppling av erfarenheter i vardagen och den fundamentala fysiken, där han lyckas att med en särskilt existentiell ton fånga intresse och uppmuntra till eftertanke om universums hemligheter.

Danielsson är professor i teoretisk fysik vid Uppsala universitet, har författat en uppsjö populärvetenskapliga böcker samt figurerat i allehanda mediala sammanhang. Ett av hans främsta forskningsintressen är kosmologi, vilket också märks särskilt tydligt i den här boken genom alla de anekdoter med frågor om vad som finns där ute, i den stora tomheten bortom jordens trygga atmosfär. Till exempel berättas det om hur han, elva år gammal tittar på Saturnus med sitt teleskop. Utifrån Saturnus omloppstid kring solen diskuteras vad tid egentligen är, samt om olika tidsskalor i universum. Hur länge överlever civilisationen, eller egentligen människan? Vad blir det av universum till slut?

Årstidernas återkommande växling beskrivs i betraktelsen "Midvinter", genom jordaxelns lutning och solens termonukleära eld som värmt sin om-

givning i miljarder år, och på astronomiska tidsskalor kommer fortsätta ännu ett slag. Vid något tillfälle under jordens historia uppstod livet och vår planet utvecklades till vad den är idag. För den som undrar vad som hade hänt i det fall solen plötsligt en dag inte gick upp igen, så hade midvinternattens köld, som ju redan för Viktor Rydbergs tomte är hård, blivit ännu hårdare, och stjärnorna skulle ha gnistrat och glimmat på en klar, öppen himmel utan skyddande atmosfär.

På mången fysikinstitution dricks det kopiösa mängder kaffe, och det finns mycket fysik att lära sig i sin kopp. I folkbildande anda använder sig Danielsson av kaffetåren för en analogi över universums innehåll och expansion, samt för att illustrera jakten på mörk materia på CERN i Schweiz. Detta är säkerligen något att begrunda vid fikabordet.

Fysiken finns överallt omkring oss, och med en stunds funderande kan vi lära oss mycket om vår omgivning. Danielsson leder oss genom ett urval av sina betraktelser från det gångna decenniet, vilka jag tror kan inspirera många läsare att intressera sig mer för fysik. Ett särskilt mål med boken är att visa hur de riktiga stora frågorna går att ta sig an och relatera till, till den grad att de även kan hjälpa oss att uppskatta vår del i det kosmiska hela.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
University of Edinburgh



FOTO: ROCHUSHESS

En elvaåring som betraktar Saturnus leder i Ulf Danielssons *En sekund i evigheten* till frågor om vad tid är, och vad som i slutändan händer med universum.

Lockigt hår och krulliga presentsnören

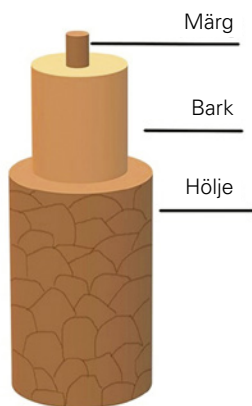


FOTO: MAX KESSELBERG

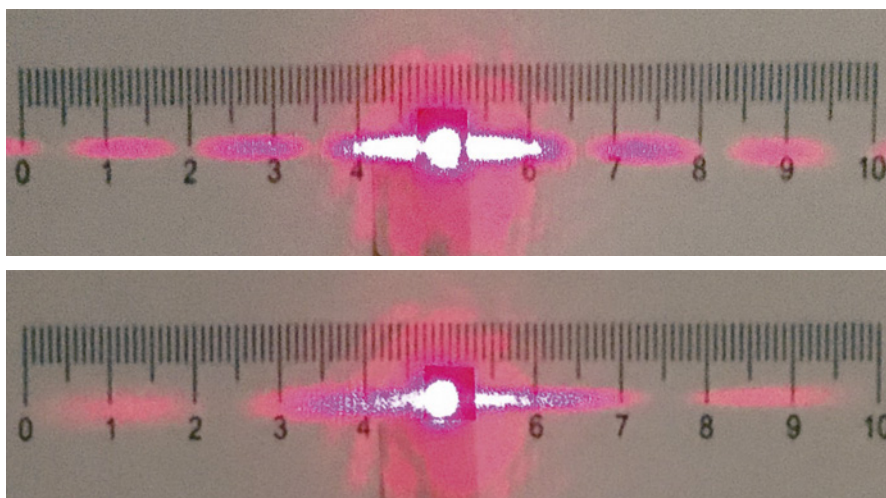
Inför jul och andra festliga tillfällen vill många krulla snöret runt presenterna. Andra vill bli fina med lockar i håret. Vilka likheter och skillnader finns mellan **hårstrån** och presentsnören?

Varje hårstrå består av tre skikt: märe (*medulla*), bark (*cortex*) och hölje (*kutikula*), se figur 1. Märgen finns innerst, men saknas i tunt hår. Barken omger märgen och utgör omkring 90 procent av stråets massa. Den består huvudsakligen av keratin (finns även i hud, och naglar), vilket ger håret styrka och struktur. Barken innehåller också melanin, som ger håret dess färg. Höljet omger barken och är ett tunt färglöst skyddande lager. Om det går sönder släpps fukt in, vilket kan ge frissigt (okoordinerade strån) hår och kluvna toppar. I skalpen finns en hårsäck (*follicel*), som omger roten från vilken strået växer.

Det synliga hårstrået har varken blodcirkulation eller ämnesomsättning, men i hårsäcken överförs olika ämnen till strået. När hårstrået sedan växer följer inlagrade ämnen med och avslöjar om



FIGUR 1 Märgen finns innerst, barken därnäst och ytterst höljet. Mina egna olockiga hårstrån har 56 µm i diameter.



FIGUR 2 Överst syns diffraktionen från hårstråets tjocka sida och underst från dess smala sida.

och när någon exempelvis använt narkotika, konsumerat alkohol eller tagit läkemedel.

Invid hårsäcken finns talgkörtlar som smörjer håret och hårbotten. Vid hårsäcken fäster muskeln (*musculi arrectores pilorum*). Den styrs inte av viljan, utan drar ihop sig när man fryser eller blir rädd. Hårstrået reser sig, huden blir knottrig och man sägs få gåshud eller ståpås.

Ett hårstrå växer cirka $\frac{1}{3}$ mm per dygn under tillväxtfasen, som på huvudet varar 2–8 år. Sedan stannar tillväxten, strået vilar ett tag och lossnar sedan. Därefter påbörjas en ny cykel, med en tillväxtfas och en sådan varar 85 procent av tiden. Håret på underarmarna växer endast under några månader, och hinner därför bara bli några centimeter. Normalt produceras

cirka 20 strån per hårsäck och liv. Någon som räknat påstår att vi har drygt 100 000 strån, och att vi tappar mellan 50 och 150 hårstrån varje dygn.

Hårstråets byggstenar

Människans hår består alltså till största delen av keratin, ett svavelhaltigt protein, som är olösligt i både kallt och varmt vatten. Keratiner bildar långa spiralformade molekyldedjor bundna med vätebindningar. Keratinkedjorna hålls ihop av disulfidbryggor, hoptvinnade ungefär som kardelerna i ett rep. Det ger stor stabilitet hos hårets keratin.

Vätebindningarna ger hårstrået en viss elasticitet, men de är lätta att både bryta och att skapa. Fuktigt väder skapar nya vätebindningar, vilket gör naturligt lockigt hår lockigare, men även "rakt" hår

kommer att locka sig något. Det medför att håret går att forma i blött tillstånd och behåller den form det fått när det torkat. Resultatet blir dock inte speciellt beständigt, eftersom vätebindningar är så pass svaga.

För att förändra håret mer varaktigt krävs att disulfidbryggorna bryts, vilket kan göras med permanentvätska innehållande bland annat ammoniumtioglykolat ($\text{HSCH}_2\text{CO}_2\text{NH}_4$). Därpå kan man forma håret som man önskar, exempelvis med hårrullar. Slutligen tillsätts fixeringsvätska med huvudingrediensen vätesuperoxid (H_2O_2), vilket skapar nya disulfidbryggor. Hårstrået har då fått en ny "permanent" form, rak eller lockig. Bryggorna kan också brytas med tillräckligt hög värme, exempelvis med lock- eller plattång. Försiktighet krävs då risk finns att skada strånas höljen.

Varför är hår lockigt eller krulligt?

Hårsäcken är rund hos de med rakt hår och oval hos de med lockigt hår. Även vinkeln på hårsäcken spelar roll. En rak hårsäck (vertikalt i skalpen) ger rakt hår, medan en vinklad hårsäck ger lockigt hår.

Krulliga eller lockiga hårstrån har ovala tvärsnitt. Jag belyste ett krulligt hårstrå ur två vinklar med en HeNe-laser (632 nm). Ur diffraktionsmönstret kan stråets diameter beräknas, se figur 2. Resultatet blev 69 μm respektive 44 μm .



FIGUR 3 Asplöv (*populus tremula*), känt för att darra även i lätta vindar.



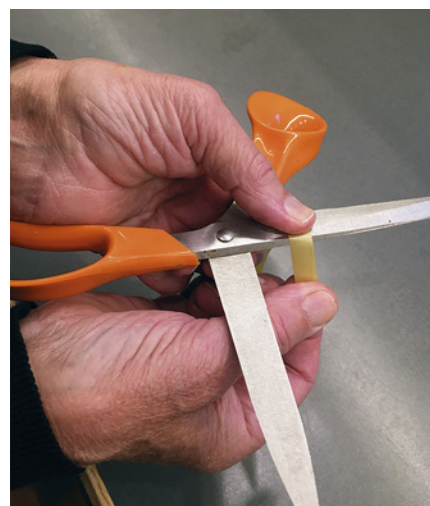
FIGUR 4 Presentsnören, gul, blå, silver och guld, samtliga med dekorskikt mot kameran. De är cirka 1 cm breda och 0,1 mm tunna.

Därmed böjer sig strået lättare åt ena hållet. Likaså böjer sig asplöv, eftersom stjälken är tunnare ortogonalt lövets plan, se figur 3. Jag mätte 10 stjälkar och medelvärde blev cirka 0,6 mm respektive 1,1 mm. Att stjälken lättare böjer sig åt ena hållet får lövet att darra.

Presentsnörets geometri

Snören är symmetriska och därför saknas något föredraget håll att krulla sig åt. Presentsnören som går att krulla är asymmetriska, och bör snarare kallas band. De tillverkas ofta av syntetmaterial, till exempel polypropen, som badas i någon sorts lim, pressas tunna och torkas. De fyra band jag testade hade alla ett tunt dekorskikt, som var vänt utåt på rullen, se figur 4.

Om man applicerar dragspänning (σ) längs bandet, töjs det ut. Om töjningen (ϵ) är linjär beskrivs detta av Hookes lag: $\sigma = E\epsilon$, där E är materialets elasticitetsmodul. Dras bandet över en vass kant sträcks yttre delen mer än den del som ligger mot kanten. Med ökad spänning påverkas bandet alltmer på djupet. Är bandet homogent och påverkan trängt in till halva djupet, kommer ytterligare spänning inte att ge mer krull. Om sträckningen av det yttre skiktet består när dragspänningen upphör, kommer bandet att vara mer krullat än före. Emellertid har de flesta band ett tunt



FIGUR 5 Bandet hålls med dekorskiktet mot tummen och dras sedan mot en av de vassa kanterna åt samma håll som ursprungskrullet.

yttre skikt, vanligen med dekor, ett skikt som har samma krullning som rullen. Det underlättar ytterligare krullning åt samma håll.

Hur krullar man ett presentsnöre?

Sax rekommenderas dels för att man behöver klippa av en lagom lång bit, dels för att en sax har vassa kanter. Placera bandet över en av de vassa kanterna på saxen med dekorskiktet uppåt. Håll sedan tummen mot bandet och den platta kanten på skäret. Håll tummen stadigt på plats, men låt bandet glida under den. Använd den andra handen för att dra bandet med jämn fart över skäret, se figur 5. Kontrollera att saxen inte är ojämnt vass, vilket kan orsaka varierande krull och i värsta fall repor i bandet. Önskar man mer krull kan man försöka krulla bandet ytterligare. Önskar man mindre krull kan man vända på bandet och "motkrulla". Jag lyckades dock inte krulla något av de fyra banden åt andra hållet, men det gick att göra dem nästan släta.

Precis som med hår påverkas presentbanden av värme. Värmer man, ratar bandet ut sig, men beroende på hur mycket, kommer bandet att återkrulla ihop sig när det fått svalna.

MAX KESSELBERG
Fysikum, Stockholms universitet



NATUR & KULTUR

Upptäck och utforska med Stella

Miss inte vår nya stjärna Stella – en heltäckande läromedelsserie i NO och Teknik för år 7–9.

- Struktur som underlättar terminsplaneringen
- Språkutvecklande
- Tydliga förklaringsmodeller
- Systematiska undersökningar
- Källkritiskt perspektiv

**Gör det
komplicerade
begripligt**



Tryckt och digitalt i ett paket!

Stella finns även som digitalt läromedel med smarta funktioner för både lärare och elev. Nu kan du beställa Stella som paket och få det digitala läromedlet tillsammans med den tryckta boken – helt utan extra kostnad.



BOK+DIGITAL



BOK+DIGITAL



BOK+DIGITAL



BOK+DIGITAL

Läs mer på nok.se/stella