

Extremväder · Fysik med färg i · Växthusbelysning

# Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 3 • SEPT 2023



## Full fart på flismätningen

INDUSTRIELL TILLÄMPNING AV RADAR

# 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

**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](http://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, 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** för Fysikaktuellt 4/2023 är 23 oktober.

## 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/](http://www.fysikersamfundet.se/bli-medlem/)

eller med qr-koden.



## Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- KOSMOS
- 10 % rabatt på böcker hos Fri Tanke förlag. Ange koden "fysikersamfundet" i kassan på [fritanke.se](http://fritanke.se).
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg. Erbjudandet gäller 10 nr (20% rabatt). Länk till beställningssida: <http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index?Internetkod=057-0571329>

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2023



**OMSLAGSBILDEN:** Mätning av fukthalt i träflis på transportband. Läs mer om forskningssamarbetet mellan Högskolan i Gävle och Radarbolaget, som utvecklar radar- och radiomätssystem för industriella tillämpningar, på sidan 24.

Foto: Radarbolaget

## Stödjande medlemmar

- Gleerups Utbildning AB  
[www.gleerups.se](http://www.gleerups.se)
- Scanditronix Magnet AB  
[www.scanditronix-magnet.se](http://www.scanditronix-magnet.se)
- Myfab, [www.myfab.se](http://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
- 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](mailto:medlemsregistret@fysikersamfundet.se)

# Innehåll

- 3 **SIGNERAT**  
Herbert Gunell
- 4 **AKTUELLT**
- 5 **EXTREMVÄDER I ETT  
FÖRÄNDERLIGT KLIMAT**
- 8 **FYSIKDAGARNA  
I STOCKHOLM**
- 10 **BELYSNING FÖR BÅDE  
VÄXTER OCH MÄNNISKOR**
- 12 **EUPHO**  
Fyra svenska brons
- 13 **IPHO**  
Dubbelt silver i Tokyo
- 15 **IPHO**  
"Lycka till i era karriärer!"
- 16 **RECENSIONER**
- 18 **AVHANDLINGEN**  
Stefano Rossi
- 22 **GOD FYSIK**  
En fysiker kokar sin paj
- 24 **EFFEKTIVA PANNOR  
MED RADARMÄTNING**
- 26 **KÄRNVAPEN**  
Är detta en forskning  
vi vill bedriva?
- 28 **FYSIKHISTORIA**  
Vilhelm Carlheim-  
Gyllensköld
- 30 **VARDAGENS FYSIK**  
Säkert med svag länk



FOTO: JOHAN MAURITSSON

Varför är det så svårt att få till en perfekt paj? Läs mer på sidan 22.

## Svårt att slå mätningar på plats

När ESA:s rymdfarkost Juice sköts upp i april visade vi uppskjutningen i fysikinstitutionens fikarum. Att vi bjöd på juice vid tillfället känns så förutsägbart att det riskerar att bli lite pinsamt. Efter att raketerna hade passerat upp genom molnen var det snart bara ett par rymdfysiker som satt kvar och tittade. Juice hade då separerats från bärraketerna och vi väntade på att den första signalen skulle tas emot av markstationen i Australien. Efter separationen måste rymdfarkosten vrida sig i rätt riktning för att kommunikationen ska kunna upprättas. En av dem som intervjuades i ESA:s TV-sändning sade att om man inte detekterat signalen inom 30 minuter fanns det anledning att börja bli nervös. Jag kan försäkra att vi var nervösa redan då.

Men signalen dök upp, och lyckligtvis fanns det ingen anledning till oro. Allt gick precis som det skulle. Nu är Juice på väg till Jupiter och det tar bara åtta år. Bara? Man kan tycka att det är en lång tid, men det är också en ganska lång resa. Som jämförelse tog det tio år för Rosetta att nå fram till sin komet, och det tar sju år innan BepiColombo lagts i bana kring Merkurius.

Men tillbaka till Juice. Det som jag tycker är mest spännande kommer inte att hända förrän i slutet av projektet, när rymdsonden går in i sin slutliga bana kring månen Ganymedes. Ganymedes är inte bara den största månen i solsystemet, den har också ett eget magnetfält, vilket skapar en liten magnetosfär inne i Jupiters stora magnetosfär. Dessutom lyser det ett ultraviolett norrsken på Ganymedes, och Ganymedes färd genom Jupiters magnetosfär genererar en fläck av norrsken på själva Jupiter. Fläcken har en liten svans, vilket känns passande för den som även arbetat med kometer. Om en norrskenforskarare försökte tänka ut en experiment-



uppställning för att undersöka norrskenfysik, skulle resultatet knappast bli mera spektakulärt.

Och där ligger poängen. Vi vet att Ganymedes har ett magnetfält för att rymdsonden Galileo gjort några snabba förbiflygningar, och norrskenet känner vi till tack vare en annan rymdfarkost, nämligen Hubble Space Telescope. Vi kan inte lista ut hur planeter fungerar utan att åka till dem och göra mätningar, ju fler desto bättre. När vi lär oss mer om andra planeter kan vi också jämföra dem med vår egen.

Det finns fortfarande mycket kvar att utforska i solsystemet, isjättarna Uranus och Neptunus till exempel. Att resa dit skulle förstås ta ännu längre tid, men tänk vilka överraskningar som vi kan möta. Så åk på upptäcktsfärd i Universum! Eller åtminstone i solsystemet.

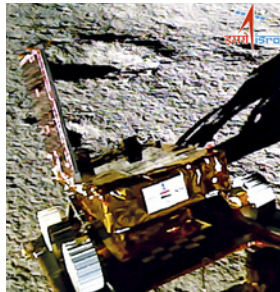
*Herbert Gunell*

HERBERT GUNELL

Universitetslektor vid Institutionen för fysik,  
Umeå universitet

## Indien på månen

■ Den 23 augusti lyckades ISRO (Indian Space Research Organisation) med att landa den obemannade farkosten Chandrayaan-3 på månens sydpol. ESA bidrog till den historiska händelsen genom att genom att bland annat dela med sig av den europeiska rymdorganisationens markstationer och antenner för att kommunicera med Chandrayaan-3.



Rovern Pragyaa lämnar landaren.

## KTH bjuder på öppna föreläsningar

■ Du har väl inte missat att KTH regelbundet håller öppna föreläsningar om aktuella ämnen? Den 3 oktober berättar Ayse Atac Nyberg, professor vid KTH, om hur hon och hennes forskargrupp använde AI för att förutsäga jordskalv på ett mer tillförlitligt sätt. Föreläsningarna hålls digitalt, och gamla föreläsningar finns i arkivet på hemsidan. Mer information hittar du på [www.kth.se/om/mot/forelasningar-seminarier/oppna](http://www.kth.se/om/mot/forelasningar-seminarier/oppna).

## Poddtipset



### Rumtiden

■ I den nya podden Rumtiden samtalar fysikern och vetenskapsjournalisten Jonas Enander med olika forskare och författare om vetenskap. De tre första avsnitten ägnas åt ett samtal om kvantfysik med fysikern Sören Holst, och sedan dess har det också kommit ett par avsnitt om astronomi och gravitationsvågor.



[rumtiden.se](http://rumtiden.se)

# Oenighet på nionde decimalen

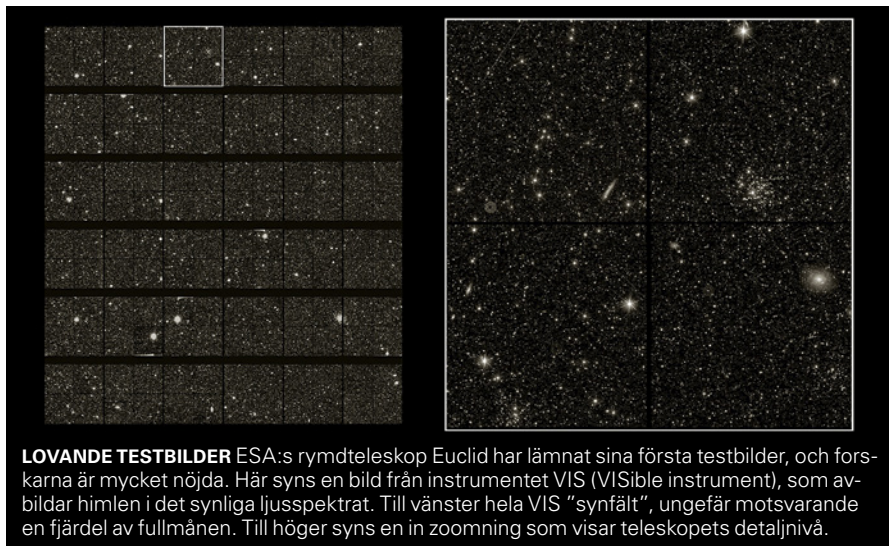
■ Partikelfysikens Standardmodell beskriver hur de elementarpartiklar vi känner till växelverkar i mikrokosmos. Denna modells förutsägelser har historiskt fungerat mycket bra i jämförelse med experimentella mätningar, men det finns ett flertal exempel där teori och experiment inte riktigt verkar stämma överens (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2020). Sådana avvikelser kan innebära att det finns nya, okända, partiklar bortom Standardmodellen. Ett exempel är hur en myon påverkas av ett externt magnetfält genom dess så kallade magnetiska moment.

I augusti presenterade Fermilab utanför Chicago en ny mätning av myonens magnetiska moment,  $a_\mu = 0,00116592055 \pm 24$ , och resultatet är ett av partikelfysikens mest noggrant mätta storheter. Mätningen gjordes genom att skicka in myoner i nära ljusets hastighet i en supraledande magnetisk lagringsring med en diameter på 15 meter. Den grundläggande principen bygger på extremt god kännedom av magnetfältet och den precession av spinaxeln det magnetiska momentet leder till när myonen rör sig runt banan. Osäkerheten i mätningen kunde mer än halveras jämfört

med det tidigare Fermilabresultatet från 2021, vilket i sig är ett fantastiskt resultat.

Frågan som kvarstår är vad detta har för konsekvenser för partikelfysiken. Som nämnts ovan är det sedan länge känt att den teoretiska förutsägelsen  $a_\mu = 0,00116591810 \pm 43$  inte verkar stämma överens med tidigare mätningar, fast den statistiska signifikansen i denna avvikelse har hittills inte levt upp till kravet för en upptäckt av fysik bortom Standardmodellen. Även om precisionen i Fermilabs mätning nu är så bra att man i princip skulle kunna avgöra om det finns nya partiklar, har det uppkommit en oenighet hos teoretiska fysiker vad Standardmodellen faktiskt förutsäger. Rent numeriskt ligger oenigheten på nionde decimalen i värdet, men det kommer behövas ett par års arbete för ett stort antal forskare att nå konsensus. I den här debatten, som i praktiken inte bara handlar om att förstå myonens magnetiska moment, utan om att hitta vägen till en ny, okänd fysik, deltar naturligtvis ett flertal svenska forskare.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON  
postdoc, partikel- och kärnfysik,  
Lunds universitet



**LOVAND E TESTBILDER** ESA:s rymdteleskop Euclid har lämnat sina första testbilder, och forskarna är mycket nöjda. Här syns en bild från instrumentet VIS (VISible instrument), som avbildar himlen i det synliga ljusspektrat. Till vänster hela VIS "synfält", ungefär motsvarande en fjärdel av fullmånen. Till höger syns en inzoomning som visar teleskopets detaljnivå.

FOTO: ESA/EUCLID/EUCLID CONSORTIUM/NASA

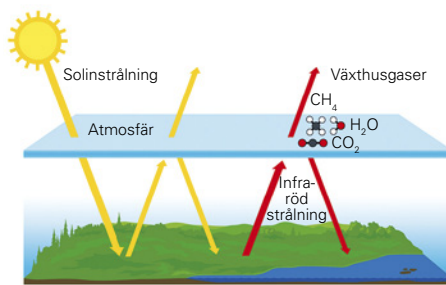
# Extremväder i ett föränderligt klimat

FOTO: PIXABAY

Vi vet att klimatet förändras kontinuerligt beroende på naturliga processer och intern variabilitet i klimatsystemet, men också på grund av mänskliga aktiviteter. Den globala medeltemperaturen har det senaste seklet ökat med lite mer än en grad. Under sommaren 2023 har **extrema väderhändelser** förekommit på många platser på jorden. Är det självklart att ett varmare klimat påverkar förekomsten av extremt väder?

Förenklat kan klimat beskrivas som ”väder i genomsnitt”. Man har definierat klimat som genomsnittsförhållanden (till exempel av temperatur eller nederbörd) för en 30-årsperiod. Förändringar under kortare tidsperioder än 30 år definieras som klimatets variabilitet och förändringar med längre tidskalor betecknas följaktligen som klimatförändringar. Klimatet är inte statiskt utan ändras kontinuerligt och det som i första hand styr förändringarna är atmosfärens strålningsbalans. De viktigaste komponenterna i atmosfärens strålningsbalans är solinstrålning (kortvägig strålning) och infraröd strålning (långvägig strålning) (figur 1).

Förändringar i strålningsbalansen kan bero på förändrad solinstrålning, förändringar i reflektion av solinstrålning eller förändrad absorption av den långvägiga strålningen. Dessa förändringar kan i sin tur vara naturliga eller bero på mänsklig



**FIGUR 1** Strålningsbalansen består av kortvägig strålning (från solen) och långvägig strålning (emitterad av jordytan och av moln och gaser i atmosfären). Den kortvägiga strålningen reflekteras och absorberas. Växthus-effekten är absorptionen av den långvägiga strålningen av atmosfärens gaser. Viktigast är vattenånga, men koldioxid och metan är också centrala.

aktivitet. Jordens medeltemperatur har de senaste 150 åren ökat med lite mer än en grad och det råder ingen tvekan om att det till stor del kan förklaras av mänskliga utsläpp av växthusgaser, främst koldioxid och metan. Det är troligt att processen kommer att fortsätta och nå 2–3 graders uppvärmning vid nästa sekelskifte.

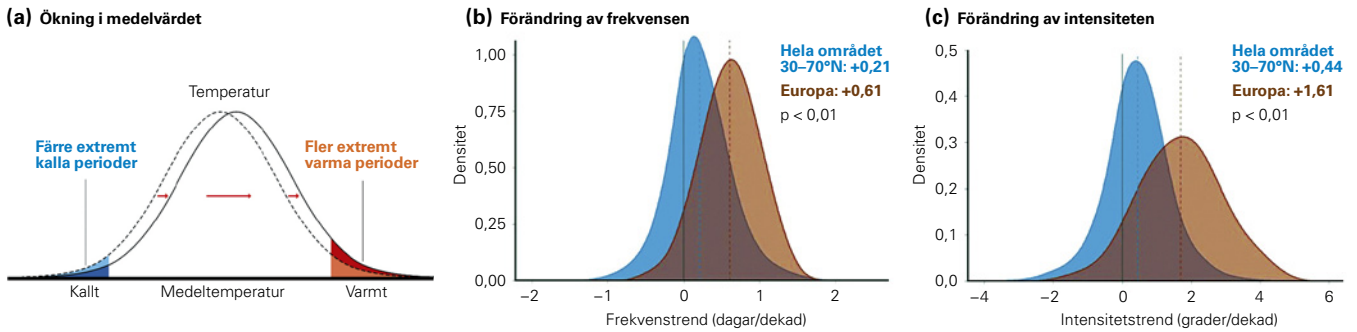
Förändringar av klimatet beskrivs

ILLUSTRATION: URB VETENSKAPENS SÄGER KVA

ofta i termer av genomsnittligt förändrad medeltemperatur, havsnivåhöjning eller ändrade nederbördsmönster. Mer dramatiska effekter av klimatförändringar på mänsklighet och samhälle kan man förvänta sig om man också får stora förändringar av extrema väderhändelser. Extrema väderhändelser förekommer i ett opåverkat klimat, även utan mänskliga utsläpp av växthusgaser. Det är därför viktigt att kunna förstå och beskriva i vilken utsträckning den globala uppvärmningen påverkar *intensiteten* i och *frekvensen* av extrema väderhändelser. Det finns ett flertal orsaker till att man kan förvänta sig att förekomsten av vissa extrema vädersituationer ändras vid en ökning av den globala medeltemperaturen. Dessa inkluderar:

## 1 Förändring av temperaturens normalfördelning

Vi kan definiera extrema temperaturer utifrån vad som kan ge problematiskt varma eller kalla perioder, för människor eller ekosystem. Om vi antar att temperaturen för en viss plats eller region är normalfördelad, gör en ökad medeltemperatur att fördelningen av temperaturer förskjuts och vi får fler extremt varma perioder och färre extremt ▶



**FIGUR 2 (a)** Illustration av förändringen av normalfördelad temperatur för ett visst område då medeltemperaturen ökar. **(b)** Förändring av frekvensen av värmeböljor och **(c)** förändringen av intensiteten av värmeböljor för juli och augusti 1979–2020. Blåa kurvor representerar hela området 30–70°N och bruna kurvor enbart västra Europa.

► kalla (figur 2 (a)). Detta stämmer väl med de milda vintrar och ibland plågsamt varma somrar som vi erfarit i Europa de senaste åren. Man kan också få en förändring av normalfördelningskurvan, vilket kan leda till ytterligare fler extremer. I figur 2 (b) ser man att antalet värmeböljor har ökat mer i Europa än övriga områden på samma breddgrader under perioden 1979–2020. Intensiteten i dessa värmeböljor har ökat proportionerligt ytterligare mer (figur 2 (c)).

## 2 Mängden vattenånga i atmosfären ökar

Som tidigare nämnts är vattenånga den viktigaste växthusgasen. Mängden vattenånga i atmosfären varierar mellan 0% och 4% och beror av vattentillgång och temperatur. Vid högre temperaturer finns kapacitet för mer vattenånga i atmosfären innan den kondenserar till vatten, eftersom vattenångans partialtryck för mättnad bestäms entydigt av temperaturen (Clausius-Clapeyrons ekvation). En grads ökning av temperaturen innebär att atmosfärens vattenångeinnehåll kan öka med upp till 7%. Detta är en central komponent när det gäller förändring av extremväder, eftersom en ökning av atmosfärens vattenångeinnehåll leder till en intensifiering av den hydrologiska cykeln<sup>1</sup>, och detta har potentiellt stor påverkan på olika typer av extremförhållanden. En ökad kapacitet

<sup>1</sup> Den hydrologiska cykeln, eller vattnets kretslopp, beskriver vattnets kontinuerliga transport och omvandling. Vatten avdunstar från hav eller land, kondenserar till moln i atmosfären, och transporteras via nederbörd tillbaka till hav eller landyta.

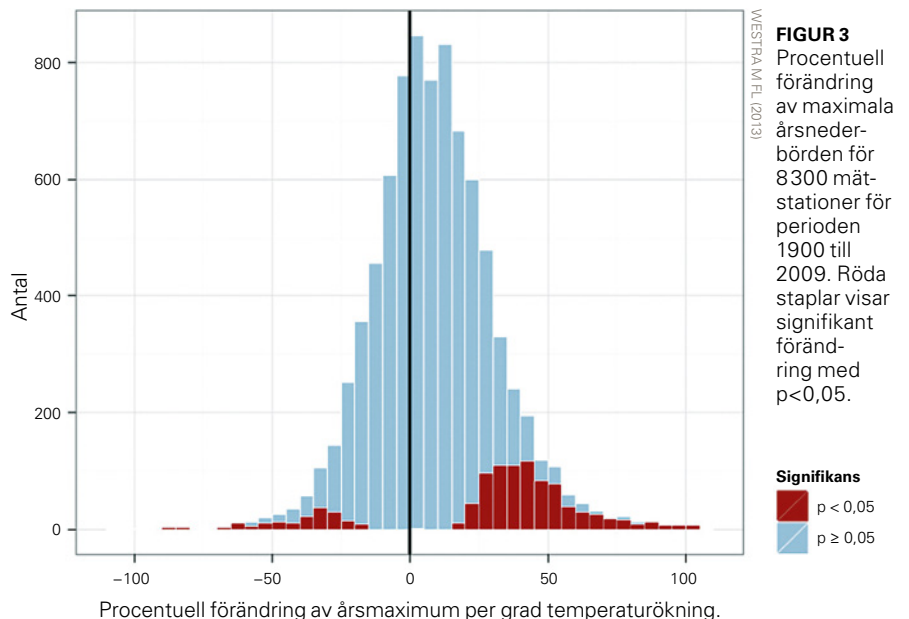
för vattenånga i atmosfären i kombination med högre temperaturer ger kraftigare avdunstning vilket leder till ökad risk för torka. En ökad mängd vattenånga i atmosfären gör också att det finns mer vattenånga som kan kondensera till vatten, vilket ger en större potential för kraftig nederbörd. När vattenångan kondenserar frigörs energi, och denna extra energi kan också leda till mer intensiva oväder.

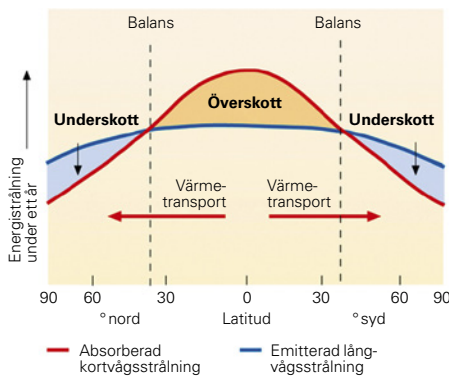
Extrem nederbörd uppvisar stora lokala variationer och det kan vara svårt både att detektera förändringar av förekomsten av extrema skyfall och att påvisa signifikanta trender. Det är också svårare att mäta extrem nederbörd (i jämförelse med till exempel temperatur eller tryck) och det finns därmed färre mätningar med tillräckligt långa tidsserier för att kunna visa på effekter av klimatförändringar. I en

sammanställning av 8 300 mätstationer, ojämnt fördelade över jorden, visar 10% av stationerna en signifikant ökning av extrem nederbörd korrelerat med uppvärmning. 2% av stationerna visar å andra sidan en signifikant minskning. Sommaren 2023 har varit extrem i flera avseenden. I flera områden, bland annat i Ostasien, har extrem nederbörd, med översvämningar som följd, skapat stora problem.

## 3 Temperaturskillnaden mellan pol och ekvator minskar

Eftersom solen står högre på himlen över ekvatorn än över polerna värms ekvatorriella områden väsentligt mer än högre och lägre breddgrader. Detta överskott av energi fördelas om norrut och söderut med hjälp av atmosfärens cirkulationssystem. Nära ekvatorn sker denna omfördelning av





**FIGUR 4** Illustration av fördelningen av inkommande solstrålning och utgående infraröd strålning samt genomsnittlig fördelning för olika latituder under ett genomsnittligt år. Överskott och underskott jämnas ut med värmetransport.

Hadley-cirkulationen. Längre norrut (och söderut) styrs cirkulationen om på grund av jordens rotation (Corioliseffekten) och luften rör sig runt polen med jetströmmen som meandrar och formar Rossbyvågor. Det är alltså ojämn solinstrålning och medföljande omfördelning av energi som skapar atmosfärens cirkulation och våra vädersystem (figur 4).

Eftersom polnära områden (i alla fall på norra halvklotet) har värmts upp mer än ekvatorområden under det senaste seklet har temperaturskillnaden mellan polen och ekvatorn minskat. Det betyder att det finns mindre energi att omfördela och det i sin tur ger långsammare och mindre intensiv atmosfärcirkulation (långsammare vädersystem). Man kan då förvänta sig ökad persistens hos vädersituationer, det vill säga att vädersystem stannar längre på samma plats. Konsekvenserna av det skulle kunna vara:

- Långsammare monsuncirkulation (ökad risk för översvämningar).
- Mer kraftfulla väderblockeringar (ökad risk för översvämningar och torka).
- Ökad amplitud hos Rossbyvågorna, som styr jetströmmen (ökad risk för värmeböljor, torka och översvämningar).
- Försvagad cirkulation runt polerna (risk för köldperioder).

En del av dessa effekter har vi redan sett, till exempel långsammare monsuncirkulation och längre nederbördsperioder i

vissa monsunsystem. Den kraftigt ökade intensiteten i värmeböljorna över Europa (figur 2 (c)) kan delvis också förklaras med den större amplituden hos Rossbyvågorna som styr jetströmmens position.

## Sammanfattning

Ovanstående är några exempel på orsaker bakom ökad förekomst av vissa extrema vädersituationer till följd av en ökad medeltemperatur. Eftersom klimat-systemet är variabelt och komplext behövs det långa tidsserier av mätningar för att kunna påvisa signifikanta förändringar av sådana extrema situationer.

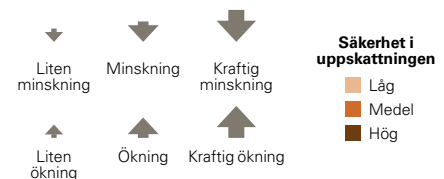
Med hjälp av numeriska klimatmodeller kan man öka förståelsen för specifika vädersystem och hur de påverkas av en global uppvärmning. Man kan också göra scenarier/bedömningar av hur förändringarna påverkas av en ökande uppvärmning i framtiden. De regionala skillnaderna i förändringar av extremer är stora och man behöver studera olika områden separat. Som exempel visar tabell 1 observerade förändringar de senaste årtiondena, och simulerade förändringar de kommande årtiondena för Östersjöområdet.

Kunskapen av klimatpåverkan på extrema vädersituationer kan sammanfattas enligt följande:

- Det finns fysikaliska förklaringar till att vissa extremer ökar i magnitud och/eller frekvens i ett varmare klimat.
- I många områden finns en tydlig ökning i frekvens/intensitet av värmeböljor, extrem nederbörd, kustöversvämningar och torka.
- Man kan observera en minskning av frekvens/intensitet av perioder med extrem kyla.
- Stor osäkerhet råder gällande förändringar av andra extremer, till exempel stormar och tropiska cykloner.
- Även om man inte kunnat visa på tydliga förändringar i vissa typer av system eller områden går det inte att utesluta att det finns en klimatpåverkan. När det gäller sällsynta händelser är det svårt att få signifikans i data, och det finns stora osäkerheter i modellerna.

ANNA RUTGERSSON

Professor i meteorologi, Uppsala universitet



	Senaste årtionden	Framtida scenario
Antal djupa lågtryck	↑	↑
Extrem havsnivå* norr om 58°N	↓	↑
Extrem havsnivå* söder om 58°N	↑	↑
Intensiv nederbörd	↑	↑
Värmeböljor	↑	↑
Köldperioder	↓	↓
Marina värmeböljor	↑	↑
Extremt milda vintrar	↑	↑
Extremt kalla vintrar	↓	↓
Torka norr om 59°N	↓	Främst minskning, men ökning under våren
Torka söder om 59°N	↑	Ökning i vissa områden under vår och sommar
Översvämning av vattendrag	Ökning under höst och vinter, minskning under våren	Ökning under höst och vinter, minskning under våren

\*relativ medelnivå plus stormvågor

**TABELL 1** Olika extremer och andra förändringar i norra Europa och deras förändring till följd av ett varmare klimat. Färgen indikerar konfidensen (säkerheten) i uppskattningen (låg, medium, hög) för senaste såväl som kommande årtionden.

## Läs mer

IPCC: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Vetenskapen säger, KVA, Natur och Kultur, [www.kva.se/app/uploads/2022/09/VS2OmKlimatet.pdf](http://www.kva.se/app/uploads/2022/09/VS2OmKlimatet.pdf)

Westra, S., Alexander, L. V. & Zwiers, F. W. "Global increasing trends in annual maximum daily precipitation", *J. Clim.* 26, 3904–3918 (2013).

Rutgersson, A., et al, "Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region", *Earth Syst. Dynam.*, 13, 251–301, doi.org/10.5194/esd-13-251-2022, 2022.

Rousi, E., Kornhuber, K., Beobide-Arsuaga, G. et al. "Accelerated western European heat-wave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia", *Nat Commun* 13, 3851 (2022). doi.org/10.1038/s41467-022-31432-y



FOTO: KERSTIN AHLSTRÖM OCH JONAS FORSHAMN



På fredagen ordnade Undervisningssektionen ett uppskattat besök i Ytterby gruva på Resarö, som utsetts till en historisk plats av både American Society for Metals (ASM International) och European Chemical Society (EuChemS). Bubbllorna på bilden till höger uppstår när en biofilm av bakterier som trivs i gruvan fångar upp gas från sprickor i berget.

## FYSIKDAGARNA I STOCKHOLM

# Rymdfysik, givande samtal och gruvbesök

Under tre mycket varma junidagar välkomnades vi av Stockholms universitet och KTH till **Fysikdagarna 2023**. Cirka 200 deltagare tog chansen att medverka på denna mycket välordnade tillställning med bland annat intressanta plenarföreläsningar, sektionsaktiviteter och studiebesök.

**F**ysikdagarna 2023 hölls 14–16 juni vid AlbaNova universitetscentrum i Stockholm i mycket ändamålsenliga och fräscha lokaler. Konferensen inleddes med sektionsspecifika aktiviteter. Undervisningssektionen startade till ex-

empel med en workshop om vindkraft och solenergi där deltagarna testade att bygga olika vindsnurror och se betydelsen av antalet propellerblad. Detta följdes upp med en presentation av Anders Eriksson från Institutet för rymdfysik som berättade

om DART-projektet där man lyckades ändra banan för Dimorphos, en måne som kretsar kring asteroiden Didymos (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 2/2023). Mattias Lantz från Uppsala universitet höll också ett föredrag om den fjärde generationens



kärnkraft och satte på ett intressant sätt in denna i kontexten energiproduktion.

DE GEMENSAMMA AKTIVITETERNA inleddes med ett välkomnande varefter Raymond T. Pierrehumbert på ett pedagogiskt sätt diskuterade universums utveckling och den globala uppvärmningen. Raymond jämförde, till publikens munterhet, energin som uppstår vid fusionering av 1 kg väte med hur mycket man får i sig från 43 000 ton ”sticky toffee pudding”. Raymond pekade också på vilken nytta vi kan ha av James Webb-teleskopet, något som blev till en aptitretare inför en senare presentation under konferensen.

Dagens andra plenarföreläsning hölls av Sofia Qvarfort från Nordita (Nordic Institute for Theoretical Physics). Vi gavs dels en historisk tillbakablick, från starten 1957 i Köpenhamn till där Nordita befinner sig idag, dels en överblick över hur institutet är uppbyggt idag med nedslag i specifika forskningsfrågeställningar. Sofia efterföljdes av Olga Botner som berättade om IceCube-projektet och Sveriges betydelse för detta. Från sitt läge vid sydpolen detekterar man bland annat neutrinos som har färdats genom jordens mitt och vidare genom ismassorna. Detta ger i sin tur kunskap om olika processer i universum.

Dagens sista föreläsning stod sedan Joachim Nilsson från Karolinska Institutet för. Vi fick här bland annat lära oss om vilka överväganden som görs vid val av olika isotoper för diagnosticering och behandling av cancertumörer.

Utöver allt ovanstående bjöd den första dagen även på god mat och givande samtal. Under själva konferensen hade man ordnat med ett mycket lämpligt utrymme mitt i AlbaNova för mingel och förfriskningar. Här fanns också flera utställare, främst av utrustning och läroböcker för fysikundervisning. Efter en postersession blev det också en uppskattad konferensmiddag på närbelägna restaurang Taste.

DEN ANDRA DAGEN inleddes med ett bidrag av Macarena Garcia Marin från ESA om James Webb-teleskopet. Vi fick en historisk tillbakablick, en jämförelse med an-



Konferensgeneral Michael Odelius presenterar programmet.



Vinnaren av Oseenmedaljen 2023, Giulia Ripellino från KTH.

dra teleskop och exempel på tidiga resultat. Särskilt nämndes hur Sverige har bidragit med både hårdvara och ledning. Med sin 6,5 m i diameter stora primärspiegel och med en prestanda som till och med överträffade förväntningarna är teleskopet på väg att revolutionera astronomin.

Dagens andra plenarföreläsning hölls av Anna Danielsson från Stockholms universitet om perspektiv på kultur och identitet i fysikutbildningen. I olika nedslag fick vi bland annat lära oss om Gulli Rossander, den kvinna som var den första att disputerar i fysik i Sverige år 1900. Anna pekade också på det trista faktumet att det var först på 1990-talet som kvinnor började utgöra minst 10 % av de disputerande i fysik. Efter Anna tog Armin Tavakoli från Lunds universitet vid. Armin gav en mycket god beskrivning av 2022 års Nobelpris i fysik, hur kvantsammanflätning fungerar och vilka experimentella erfarenheter som finns.

Under dagen hölls även ett mycket välbesökt årsmöte för Svenska Fysikersamfundet där bland annat beslut togs om valberedning för valet till nästa styrelse för samfundet. Lika välbesökt var också utdelandet av Oseenmedaljen för bästa doktorsavhandling i fysik. Den välförtjänta vinnaren var Giulia Ripellino från KTH med avhandlingen *Haystacks and Needles – Measuring the number of proton collisions in ATLAS and probing them for the production of new exotic particles*, för hennes arbete vid CERN med studier bortom standardmodellen (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 2/2023). Utöver medalj och diplom får Giulia 100 000 kr, något som möjliggjorts genom ett generöst anslag från Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond. Som traditionen bjuder höll Giulia en presentation om sitt arbete och svarade på publikens frågor.

Ytterligare en prisutdelning hölls på torsdagen. Denna för bästa poster av Nils Heyer från Uppsala universitet med titeln ”Deep Learning Based Event Reconstruction for the IceCube-Gen2 Radio Detector”.

Resten av torsdagen, liksom hela fredagen, ägnades åt olika sektionsaktiviteter. Undervisningssektionen ordnade med studiebesök på Nobelprismuseet samt till Ytterby gruva, där hela nio olika grundämnen har upptäckts. Utöver ett intressant studiebesök gav detta också en välbehövlig svalka i den 28-gradiga hettan.

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET tackar för att vi fick ha Fysikdagarna i AlbaNova och specifikt den lokala organisationskommittén ledd av Michael Odelius, och i övrigt bestående av Chad Finley, Kerstin Jon-And, Emely Kjellsson Lindblom, Josefin Larsson, Linda Megner, Henning Zettergren och Barbro Åsman, för en synnerligen välordnad konferens! Nästa år kommer de Nordiska Fysikdagarna att gå av stapeln i Helsingfors, preliminärt 4–6 mars. Reguljära Fysikdagarna får vi åter i Luleå 2025. Väl mött då!

JONATHAN WEIDOW  
Ordförande för Fysikersamfundet

# Belysning för både växter och människor

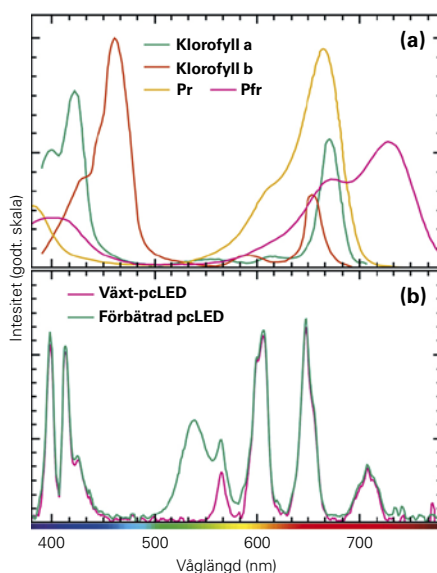
Industriell **inomhusodling** har revolutionerats de senaste åren. Snabb teknologikutveckling har gjort det möjligt att bygga vertikala växthus som är energieffektiva och vattensnåla, och dessa "slutna" anläggningar blir allt mer populära, i synnerhet i städer. Med tanke på att de potentiellt kan förse oss med färska, lokala och obesprutade grödor året om är det inte så konstigt.

De flesta av oss tänker inte så mycket på hur de grönsaker och frukter vi plockar åt oss i affären har odlats. Möjligen funderar vi över om de är besprutade eller inte, men hur är det med vilka ljusförhållanden de växt under? Växter behöver naturligtvis ljus, det vet alla. Men exakt vilken sorts ljus? Reagerar de till exempel likadant på ljus med olika färger? Vilken våglängd föredrar de?

Om man tittar närmare på det visar sig ljusförhållanden och ljusets färger vara oerhört viktiga för växters utveckling och hur mycket näring de innehåller. En vanlig missuppfattning är att växter behöver grönt ljus för att trivas. I själva verket är det tvärt om. Växter är gröna eftersom de reflekterar bort det gröna ljuset.

Exakt vilken våglängd en växt behöver kan avgöras utifrån ett absorptionspektrum från växtpigmenten. Pigmenten använder energin från det absorberade ljuset för olika fotokemiska reaktioner. Växter har flera olika pigment. Det kanske mest kända är klorofyll, som driver *fotosyntesen*, genom vilken växterna lagrar energi kemiskt. I figur 1 (a) visas absorptionspektrum för klorofyll a och b. Vi kan se toppar i de röda och blå områdena, och en dal i den gröna delen av spektrumet. Det gröna ljuset reflekteras alltså istället för att absorberas, vilket ger klorofyllet dess karakteristiska gröna färg.

DET PÅGÅR FÖRSTÅS ANDRA viktiga fotofysiologiska processer i växter, utöver fotosyntesen. En sådan är *fototropism*, som



**FIGUR 1 (a)** Absorptionspektrum för växtpigmenten klorofyll (a och b) och ett par fytochromer. **(b)** Energifördelning över ett ljusspektra för den för växter föreslagna pcLED-belysningen, med och utan extra grön LED.

hanterar växternas rörelser. Det är den processen som ligger bakom solrosor som följer solen, eller en orkidé som lutar sig mot fönstret. Det aktiva spektrumet för den här processen sträcker sig från nästan ultraviolett till cyan, med en topp i den blå färgen.

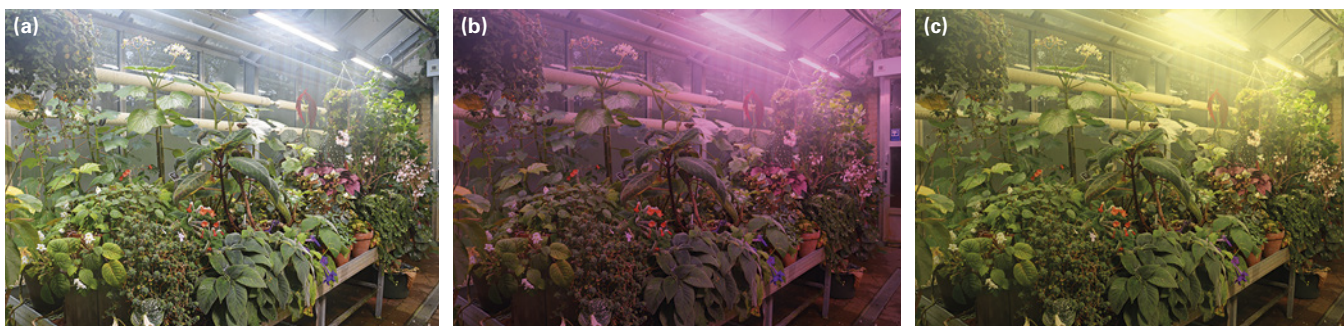
En annan särskilt viktig fotofysiologisk process är *fotomorfogenes*, som ansvarar för växtens utveckling. Fotomorfogenes hänger ihop med de pigment som kallas röda fytochromer (red phytochromes, Pr) och infraröda fyto-

kromer (far-red phytochromes, Pfr), se figur 1 (a). Föga förvånande har deras spektrum sina toppar i de röda och infraröda områdena. Även om mängden infrarött ljus som behövs är ganska låg, jämfört med den röda toppen, så är den avgörande för växternas utveckling.

MED DEN HÄR KUNSKAPEN om absorptionspektrum för de primära växtpigmenten (det finns naturligtvis fler pigment än de här tre), kan vi antligen närma oss den optimala belysningen för växter. För att ha en så effektiv ljuskälla som möjligt bör den matcha pigmentens absorptionsband, och inte ha några andra spektrala band.

Det här kanske inte låter som en särskilt svår uppgift, i synnerhet om vi använder ljusdioder med relativt smala spektrala band (LED) till vår ljuskälla. Men det finns en del svårigheter. De infraröda LED som finns idag tenderar att snabbt gå sönder. Det problemet kan lösas genom att använda fosfor-konverterade LED (pcLED), som helt enkelt är blå eller violetta LED som konverteras med ett fluorescerande fosformaterial. Fosfor absorberar det blå eller violetta ljuset från ljuskällan, och skickar ut det med en ny, längre våglängd.

Om ett material som har flera band av fotoluminescens används, kan en enda pcLED täcka flera av växtpigmentens absorptionsband. Vanligtvis är material med de här egenskaperna någon form av keramiska pulver som aktiveras med övergångsmetaller<sup>1</sup> eller joner från sällsynta jordartsmetaller. Ett exempel



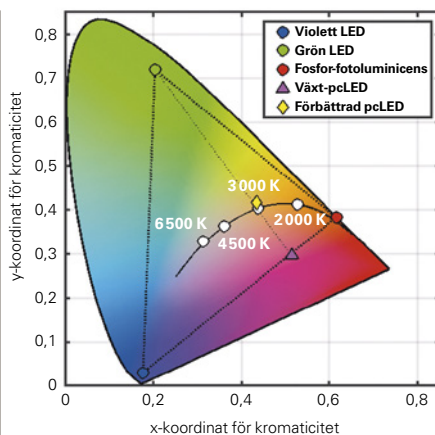
**FIGUR 2** Inne i växthuset i Lunds universitets botaniska trädgård. (a) Foto från växthuset under normala ljusförhållanden. (b) Justerat enligt spektrum för belysning av växt-LED. (c) Justerat enligt spektrum för förbättrade växt-LED.

är  $K_2Bi(PO_4)(MoO_4):Sm^{3+}$ , som exciteras med ett violett ljus och visar fotoluminescenstoppar i de orange, röda och infraröda regionerna, och alltså överlappar absorptionspektra för både klorofyll och fytochromer. Den spektrala energifördelningen för en pcLED täckt med denna fosfor syns i figur 1 (b), och vi kan konstatera att den sammanfaller tämligen väl med absorptionen hos växtpigmenten.

**FIGUR 2 VISAR HUR** det kan se ut i ett växthus med sådan belysning. Här syns tre olika versioner av ett foto taget i ett växthus i Lunds universitets botaniska trädgård. (a) är originalet, fotograferat under normala ljusförhållanden, medan (b) har justerats för att visa optimala ljusförhållanden för växter. Det senare fallet är uppenbarligen inte det bästa för oss människor. Ljuset ser inte vitt ut, och allt blir mörkare eftersom den gröna delen av spektrum saknas. Dessutom blir färgåtergivningen väldigt dålig, vilket gör det svårare att ta hand om växterna – till exempel att skilja mellan sjuka och friska blad, eller avgöra vilken frukt som är mogen att skördas.

Så, hur kan vi skapa en belysning som är effektiv, bra för växter och uthärdlig för människor? Ett sätt är att helt enkelt installera extra, vita ljuskällor som kan tändas vid behov. Men eftersom det innebär en extra kostnad har vi letat efter en mer effektiv lösning.

Om man tittar på kromaticitet-diagrammet i figur 3, kan man se att växt-LED ligger någonstans i det lila området.



**FIGUR 3** Kromaticitet-diagram CIE 1931 (Commission internationale de l'éclairage). Diagrammet visar alla möjliga kromaticiteter (förmågan att återge olika färger) vid en viss luminans (den mängd ljus som strålar ut från en viss yta i en viss riktning).

Den hästsko-formade kurvan visar de monokromatiska färgerna, och knyts ihop med en lila linje mellan de blå och röda ändpunkterna. Kurvan inuti diagrammet kallas *the Planckian locus*, och motsvarar kromaticiteterna hos en svartkroppsljuskälla som vi uppfattar som vitt ljus, till exempel solljus eller ljus från en glödlampa. Olika temperaturer är markerade med vita cirkel.

Färgade cirklar representerar grön och violett LED samt fotoluminiscens från  $K_2Bi(PO_4)(MoO_4):Sm^{3+}$ . Den streckade triangeln visar det område av kromaticiteter som kan uppnås genom att variera intensiteten på de tre nämnda ljuskällorna. En triangel och en romb visar växt pcLED och förbättrad växt-pcLED.

Det innebär att vi bara behöver en grön LED för att flytta kromaticiteten till det så kallade *Planckian locus*, den kurva som motsvarar kromaticiteterna hos svartkroppsljuskällor som vi uppfattar som vitt ljus. Genom att göra det får vi alltså en förbättrad växt-pcLED, vars spektrum syns i figur 1 (b). Hur det kan se ut i ett växthus med sådan förbättrad belysning syns i figur 2 (c). Resultatet är inte lika bra för det mänskliga ögat som helt naturligt vitt ljus (figur 2 (a)), men det är absolut bättre än en ren växt-pcLED (figur 2 (b)).

**GENOM ATT PÅ DET** här sättet utnyttja fördelarna med fosformaterial och ljusdioder kan vi skapa belysningslösningar för växthus som är både effektiva och behagliga – som både är optimala för växter och anpassade för människor. Låt oss nu bara hoppas att vi kan få fler sådana anläggningar i våra närområden, så att vi kan få färsk grönsaker med lågt koldioxidavtryck året runt!

AKVILĖ ZABILIŪTĖ-KARALIŪNĖ  
Lunds Universitet, Vilnius University  
Översättning: Christina Kjellstrand

**Läs mer**

Maurice S. McDonald, "Photobiology of Higher Plants", Wiley (2003)  
ISBN: 978-0-470-85523-2

Grigorjevaite, J., Ezerskyte, E., Páterek, J., Saitzek, S., Zabaliūtė-Karaliūnė, A., Vitta, P., ... & Katelnikovas, A. (2020). "Luminescence and luminescence quenching of  $K_2Bi(PO_4)(MoO_4):Sm^{3+}$  phosphors for horticultural and general lighting applications". *Materials Advances*, 1(5), 1427-1438.  
[doi.org/10.1039/D0MA00369G](https://doi.org/10.1039/D0MA00369G)

1 Grundämnen i periodiska systemets mellersta del.

# Fyra svenska brons på den europeiska fysikolympiaden

Det svenska laget fick med sig **rekordmånga medaljer** hem från årets europeiska fysikolympiad: Varsitt brons till Milles Åhman från Polhemskolan i Lund, Emil Ryd från UWC Red Cross Nordic i Flekke, Norge samt Melvin Storbacka och Alvin Palmgren från Norra Real i Stockholm.

Sedan sju år arrangeras en europeisk fysikolympiad, EuPhO som komplement till den internationella, IPhO (läs mer om den på nästa sida). Upplägget liknar IPhO:s med en experimentell och en teoretisk tävlingsdag, men medan IPhO:s tävlingsuppgifter tas fram av det arrangerande landet har EuPhO en fast "akademisk kommitté" som har huvudansvar för att ta fram uppgifterna. Estländaren Jaan Kalda är ordförande i kommittén som har som ledstjärna att ta fram kortfattade problemformuleringar som lämnar stort utrymme för kreativa lösningar.

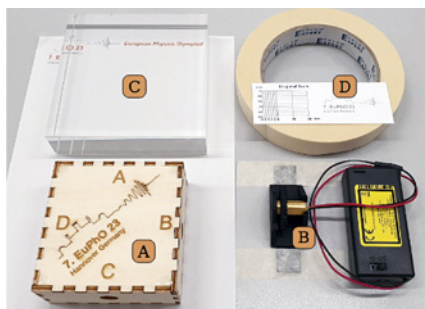
## En svart ljuslåda

I år var det särskilt en av de experimentella uppgifterna som manade fram uppfinningsförmågan hos de tävlande: En "svart låda", vars okända innehåll av optiska komponenter skulle bestämmas. Lådan var försedd med fyra öppningar i varsin riktning där ljus kunde släppas in och ut. Därutöver hade de tävlande bara tillgång till en laser, en linjal, ett kvadratisk rätblock av glas samt papper.

I den andra experimentella uppgiften gällde det att undersöka hur en pendel beter sig när gravitationsfältet kompletteras med ett magnetiskt fält. Även en av de teoretiska uppgifterna hade magnetism i fokus: Hur ser strömmarna ut om man för en icke-magnetisk metallplatta genom ett gap i en lång stavmagnet? I de övriga två behandlades termiska linser, respektive ett litet rätblock sammanpressat av oändliga plan som rör sig vinkelrätt mot varandra i en gravitationsfri värld.



Glada svenska deltagare på EuPhO 2023. Från vänster: Edvin Cambrand, Alvin Palmgren, Milles Åhman, Emil Ryd, Melvin Storbacka och isbjörnsmaskoten Sven.



Hur ser det ut inne i den "svarta lådan" av trä? Genom att lysa med lasern i öppningarna vid A, B, C och D kan man lösa problemet.

– Jag tycker att ett av de bästa ögonblicken från EuPhO var när vi alla samlades i en sal för att gå igenom lösningarna till alla uppgifter, säger Melvin Storbacka, en av de fem svenska deltagarna. När vi satt där inne kände jag att det var otroligt vackert att vi alla, från olika delar av världen, förenades i att vi alla tyckte fysik var så spännande och, oavsett hur bra det hade gått på själva proven, kunde uppskatta lösningarna och de personer som varit med och organiserat tävlingen.

## Inte bara Europa

Årets olympiad ägde rum i mitten av juni och arrangerades i Hannover. Hela 181

gymnasister deltog i av tävlingen, som förutom 28 europeiska lag även gästades av 11 utomeuropeiska lag från bland annat Colombia, Bangladesh och Vietnam.

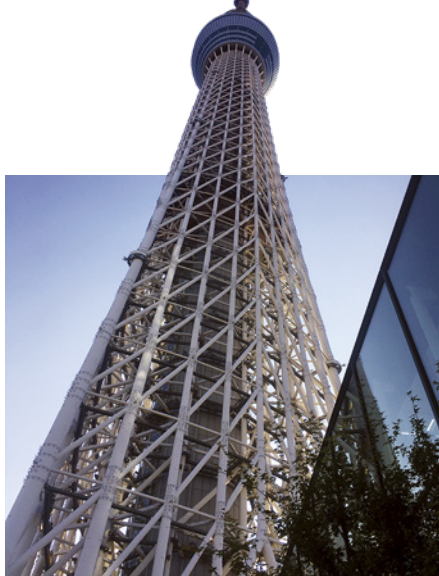
– Vi åker med olika lag till alla fysikolympiader vi kan, berättar den vietnamesiske ledaren Nguyễn Cao Khang. Den internationella, den asiatiska, den europeiska och den nordisk-baltiska. Vi har en så stor, ung befolkning och vi vill ge så många som möjligt av de som engagerar sig i fysik möjligheten att delta i en olympiad.

## Rumänien i topp

Precis som i fjol var det Vlad-Stefan Oros från Rumänien som blev totalsegrare – och i år var det rumäner även på den andra och den tredje platsen. Hela resultatlistan finns på tävlingens hemsida, [eupho23.de](http://eupho23.de), där man också hittar tävlingsuppgifterna.

Nästa års EuPhO arrangeras i Georgien. Precis som för IPhO sker uttagningen av EuPhO-laget genom Wallenbergs fysikpris.

JULIA JÄRLEBARK OCH ANNE-SOFIE MÄRTENSSON  
lagledare på EuPhO



**FIGUR 1** Tokyo Skytree med en storslagen vy från utsiktsplattformen på 350 m. Tornet har oljefyllda stötdämpare, tänkta att ta upp en stor del av energin vid jordbävningar.

FOTO: MAX KESSELBERG

# Dubbelt silver i Tokyo

Det **bästa resultatet någonsin** när Melvin Storbacka, Norra Real i Stockholm, och Emil Ryd, WC Red Cross Nordic i Dale, Norge tog varsin silvermedalj och Alvin Palmgren, Norra Real i Stockholm, fick ett hedersomnämmande.

**C**ovid och Rysslands krig i Ukraina har inneburit inställda och/eller distansarrangemang 2020–22. Nu, 2023, kunde äntligen 387 studenter från 82 nationer samlas i Tokyo 9–17 juli. Många nationer hade nya ledare, men från omkring 30 länder kom bekanta ansikten.

Flygturen tog cirka 13 h, eftersom vi måste runda Ryssland längs nordostpassagen. På hemvägen startade vi sent på kvällen och på väg norrut i Berings sund visade skärmen med flyginformation att vi passerade datumgränsen – och gårdagen infann sig under någon timme.

Tokyo erbjöd varmt och fuktigt väder, och trots att man rörde sig långsamt blev man snabbt svettig. Dessbättre fanns luftkonditionering i de flesta lokaler och samfärdsmedel.

## Tokyo med omnejd

Stor-Tokyo sägs ha 37 miljoner invånare och vara en av världens största städer, vilket inte motsägs av utsikten från Tokyo Skytree (figur 1). Det är ett TV-torn på 623 m, byggt 2012 och är världens näst högsta byggnad. Det gamla, på drygt 300 m, var inte längre stort nog, efter-



**FIGUR 2** Vägar och järnvägar i flera nivåer, samt T-bana, där mobiltelefonen används flitigt. Den behövs också på många restauranter, eftersom menyn bara fanns via QR-kod.

som den omgivande bebyggelsen vuxit sig högre och skuggar signalerna.

Centrala Tokyo har omkring 10 miljoner invånare och många åker bil. Framkomligheten har man löst genom vägar i flera nivåer som skär rätt genom bostadskvarter (figur 2). Omkring 3 miljoner väljer i stället tunnelbana var dag. Den var ren och klotterfri, punktlig med treminuters-trafik, luftkonditionerade vagnar och med mycket smidigt passagerarflöde, tack vare japanernas förmåga till hänsyn (figur 2). Jämfört med tunnelbanan i Stockholm ligger vi långt efter både tekniskt och socialt. Den tog

oss enkelt till Yokohama, storhamnen där många utländska influenser har nått Japan. Exempelvis byggdes där 1872 den första järnvägen (spårvidd 1 047 mm).

Vi testade också höghastighetståget Shinkansen ("nya stambanan") som har västerländsk spårvidd på 1 435 mm. Den var snabb och punktlig och förde oss de sju milen till Odawara på dryga halvtimmen. Vi besökte stadens gamla slott som bara sedan 1703 raserats av jordbävningar flera gånger. Risken för en jordbävning under närliggande Fukushimas livstid var alltså känd, men negligerades enligt utställningen på Miraikan (The National ▶

**FIGUR 3**

Det svenska laget, från vänster: Mattias Bjerklöv, Alvin Palmgren, Emil Ryd, Melvin Storbacka och Sixten Nyblad Ek. Maskoten Sven fick naturligtvis också följa med.



► Museum of Emerging Science and Innovation). Där fanns också en karta som visade seismisk aktivitet i realtid, samt en jättemodell av neutrinodetektorn Kamiokande.

Kamiokande-detektorn var också ämne för ett föredrag av Takaaki Kajita, Nobelpristagare i fysik 2015 (för upptäckten av neutrinooscillationer) och en av två vice ordförande för organisationskommittén för årets olympiad. I kommittén ingick ytterligare två Nobelpristagare: ordförande Makoto Kobayashi (2008 för upptäckten av brott mot CP-symmetrin), och vice ordförande Hiroshi Amano (2014 för uppfinningen av effektiva vita lysdioder). Den senare bjöd också ett på föredrag om både sitt arbete och vägen till att bli en Nobelpristagare.

### Resultaten

I år var svårighetsgraden på tävlingsuppgifterna mer rimlig än den varit på senare tid och segraren, kinesen Bowen Yu, nådde 45 poäng av 50. Bästa europé, Alexandru Momoiu från Rumänien, fick 41 poäng på plats sju. Den asiatiska dominansen består och Kina blev bästa nation, följd av Korea, båda med fem guld. Sverige blev med två silver och ett hedersnämmande bästa land i Norden (figur 3). Danmark och Finland tog båda hem ett brons och två hedersnämmanden, Island ett hedersnämmande, medan Norge i likhet med 12 andra länder blev utan.

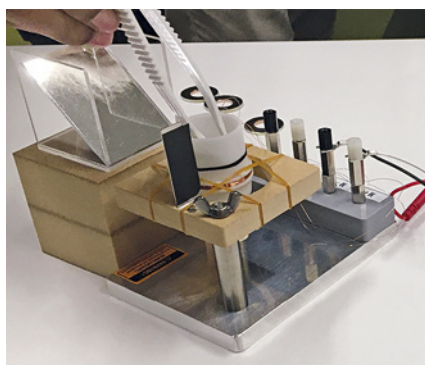
### Uppgifterna

Den första teoriuppgiften handlade om kolloidala partiklar, brownsk rörelse, elektrofores och vattenrening. Inledningsvis efterfrågades hastigheten

vid en-dimensionell kollision först mellan en partikel och en vattenmolekyl och sedan med många, samt medelvärde och medelkvadratavvikelse hos förflyttningen. Därefter begärdes flöde och diffusion för laddade partiklar med pålagt elektriskt fält. Efter det balansen mellan osmotiskt tryck och pålagt fält. Slutligen skulle kombinationen mellan pålagt fält och brownsk rörelse plottas, samt den minsta saltkoncentration som krävs för att erhålla fällning anges.

I den andra diskuteras tunga atomkärnors stabilitet och fission utifrån Weizsäcker's massformel. Vidare som modell för en neutronstjärna och hur många nukleoner som krävs för att gravitationen ska hålla ihop kärnan. Hur mycket fördröjs ljuset som mest och minst från en neutronstjärna (pulsar), i par med en vit dvärg, beroende på var i konstellationen den vita dvärgen befinner sig? Från en graf över fördröjningen efterfrågades massan på den vita dvärgen, samt vilken av fyra tidsprofiler på gravitationsvågorna som var mest sannolik.

Den tredje handlade om olika objekt



**FIGUR 4** Plastcylinder med två Cu-spolar, en för drivning och en för mätning.

och vatten. Hur stor blir den vertikala farkten tack vare den minskade ytenergin, när två identiska vattendroppar på en hydrofob yta går ihop och bildar en större droppe? Vidare efterfrågades balansen mellan tryck och ytspänning samt formen på en vattenyta intill en hydrofil, tunn skiva. Sist skulle kraften mellan två identiska stavar på en vattenyta, uttryckt i avstånd och vinklar mot vattenytan beskrivas.

De två experimentella uppgifterna krävde ovanligt gott handlag, då noggrann montering behövdes. Först skulle massan på en cylinder bestämmas med en anordning inspirerad av Kibble-vägen, den som används för den nya definitionen av kilogrammet. Cylindern hade två spolar och hängdes upp i fyra gumminoddar (figur 4). Cylindern kunde belastas med olika vikter och nedsjunkningen ( $z$ ) i ett fast magnetfält kompenseras med magnetfältet ( $B$ ) från likströmmen ( $I$ ) genom ena spolen likt en strömvåg.

Därmed erhöles sambandet  $mg = ILB$ . Emellertid är precisionen i  $LB$  otillräcklig, men med en mätning med växelspanning  $U = vLB$  kan  $LB$  elimineras och ge  $m = IU/gv$ . Hastigheten ( $v$ ) erhöles genom att oscillationen ( $z$ ) antogs vara harmonisk  $z = A \sin(2\pi ft)$  och genom mätning av frekvensen för olika belastningar.

I den andra skulle en gitterspektrometer byggas för att analysera spektrum från en vit lysdiod. Därefter skulle tjockleken på en kvartsplatta bestämmas. Dess dubbelbrytande egenskap utnyttjades genom att placera den mellan två polarisatorer. Brytningsindex för den ordinära och extraordinära strålen gavs i en sexställig tabell för var nanometer mellan 400 och 700 nm.

Dessutom krävdes feluppskattning i båda uppgifterna, något vi hunnit nämna under våra träningsdagar. Dessa har blivit möjliga tack vare stödet från Skolverket och Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond.

Nästa års olympiad är tänkt att arrangeras i Isfahan, Iran 21–29 juli. För närvarande avråder dock UD från resor till Iran, så hur det blir är oklart.

OSKAR VALLHAGEN, BO SÖDERBERG  
OCH MAX KESSELBERG  
lagledare



Vi hade en ganska lång diskussion med professor emeritus Hiroyuki Sakaki (mitten) om forskningskarriär, jämlikhet, världspolitik och hans positiva bild av Sverige.



FOTO: MELVIN STORBACKA

På kvällarna umgicks vi mycket med lagen som bodde nära oss i byggnaden. Här spelar vi kort kvällen efter sista provet tillsammans med laget från Macao och våra japanska guider.

## ”Lycka till i era karriärer!”

”Att vara med i den internationella fysikolympiaden är en upplevelse som man sent glömmet.” Silvermedaljören **Melvin Storbacka**, Norra Real Stockholm, berättar om sina upplevelser från olympiaden.

”Lycka till i era karriärer!” Vi svenskar tyckte alla att det var ett underligt sätt att säga hejdå på – speciellt när man inte pratat med varandra i mer än fem minuter. Samma avskedsfras användes ändå av i stort sett alla japaner redan första dagarna.

Trots att jag deltagit på både den nordisk-baltiska och den europeiska fysikolympiaden så blev jag överraskad över hur storslagen den internationella fysikolympiaden var. Det var helt enkelt på en annan nivå. Under öppningsceremonin fyllde salen vi satt i av 400 fysikintresserade ungdomar som alla kände nervositet inför de kommande dagarna. Vi undrade också varför det var så många TV-kameror på plats, vilket vi fick reda på några dagar senare när vår guide visade en bild på hela det svenska laget under ceremonin – från japans ”kanal 1”. Inte minst imponerande var att det i arrangörskommittén för tävlingen satt tre japanska Nobelpristagare.

DAGEN EFTER öppningsceremonin var det dags: första tävlingsdagen. Efter en nervös frukost började provet klockan 09:00.00, och exakt fem timmar senare var det slut.

Detta var den experimentella delen, som i princip alla tyckte var svårare än den teoretiska. Samtidigt tyckte jag att det fanns något nästan barnsligt roligt i att få bygga ihop experimentuppställningen och spendera flera timmar på att ta mätningar – som en mycket mer avancerad version av lego. Efteråt fyllde rummet av en känsla av lättnad, osäkerhet, och nervositet inför nästa examination. Däremot blev det väldigt lätt att starta konversationer, eftersom det från och med nu alltid fanns en självklar öppningsreplik: ”Hur gick provet?”

TVÅ DAGAR SENARE var det dags igen – det teoretiska provet. De fem timmarna blev också påminna om att det finns få saker som är så roliga som att kämpa med ett problem, speciellt när man kommer fram till ett bra svar!

Det var en enorm lättnad att äntligen vara klara med proven, och nu kunde vi äntligen fokusera på att bara vara sociala. De följande tre dagarna fyllde av utflykter till olika intressanta platser omkring Tokyo, och nätterna använde vi till kortspel, pratande, och godis-ätande tillsammans med andra lag, även om vi kanske borde ha sovit.

Den japanska kulturen, historien, och framförallt maten var mycket häftig och intressant att få uppleva och utforska. Samtidigt reflekterade jag över hur givande

det var att träffa så många människor, från så många olika länder. Som vid alla sociala tillställningar hade man inte tid att prata lika mycket med alla. Men jag slogs ändå av att varenda interaktion jag hade var så otroligt trevlig, vänskaplig och fylld av glädje. Konversationerna fyllde lika mycket av fysikkämt som av frågor om främmande kulturer. Många förknippade Sverige med IKEA, och ibland även ABBA. Vi fick intrycka att IKEA:s köttbullar verkligen är svensk husmanskost, och sedan höra mer om andra länders matvanor. Den mest spännande frågan vi fick var under sista dagen, då nyfikenheten till slut tog överhanden: ”Ni svenskar har så stora näsor... blockerar de inte ert synfält hela tiden?” Frågan kom naturligtvis från någon med betydligt mindre näsa.

ÄVEN OM DET KANSKE INTE är så underligt så slogs jag också av hur liten roll politik spelade. Det fanns verkligen inget som hindrade olika länder från att prata med varandra – alla pratade med alla, och alla delade samma intresse för fysik och problemlösning.

Mot slutet av veckan fick vi också lyssna på föreläsningar av två av de Nobelpristagare som organiserade olympiaden. Professor Takaaki Kajita pratade om sin forskning på neutriner. Den andra pristagaren, Hiroshi Amano, höll en föreläsning med titeln ”Don’t Waste Your Gifted Talents”. Föreläsningen hade fokus ▶

► på oss deltagare, och Amano gav oss råd och uppmaningar inför framtiden och våra framtida karriärer, men pratade också en del om sin egen forskning. Efter föreläsningen fick vi möjligheten att prata med de två föreläsarna, samt andra framstående japanska fysiker som på olika sätt var involverade i tävlingen. För mig var detta en av de mest inspirerade tillställningarna under hela olympiaden, och jag har sällan varit så exalterad över att få åka hem och läsa fysik – kanske något ironiskt när vi befann oss på en fysikolympiad.

Till sist var det dags för avslutningsceremonin. Alla deltagare och ledare samlades återigen i samma sal som för öppningsceremonin, och organisatorerna berättade om tävlingen, rättningsprocessen, och resultaten. Därefter inleddes medaljceremonin, då alla medaljörer fick gå upp och ta emot sina medaljer. Till slut var det hela över, och nu – väl medveten om alla fantastiska, ambitiösa människor i rummet som jag hoppas få träffa igen, och mer inspirerad än någonsin – så kändes den förut främmande avslutningsfrasen allt mer naturligt: ”Lycka till i era karriärer!”

MELVIN STORBACKA

Silvermedaljör vid IPhO i Tokyo

### Silverstrålande resultat

Det svenska laget:

**Emil Ryd**, UWC Red Cross Nordic,  
Dale, Norge silver

**Melvin Storbacka**, Norra Real,  
Stockholm silver

**Alvin Palmgren**, Norra Real  
i Stockholm hedersomnämmande

**Sixten Nyblad Ek**, Södra Latins  
gymnasium, Stockholm

**Mattias Bjerklov**, Norra Real,  
Stockholm

Lagledare: Max Kesselberg,  
Bo Söderberg och Oskar Vallhagen.

Allra flest poäng plockade Bowen Yu från Kina. På IPhO:s hemsida, [ipho2023.jp/en/contest](http://ipho2023.jp/en/contest), finns information om tävlingsuppgifterna och en fullständig resultatlista.

Stort tack till Skolverket och Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond för generöst ekonomiskt stöd som gör deltagande i olympiaden möjligt.

# Fantasieggande guide till universum

## Astronautens guide till galaxen

Christer Fuglesang

Förlag: Fri Tanke

Antal sidor: 117

Utgiven: maj 2023

ISBN: 978-91-89-52654-9



FOTO: C. STURMARK/FRI TANKE

Christer Fuglesang, författare och astronaut.

Det är svårt att föreställa sig en bättre guide till galaxen än Sveriges först astronaut Christer Fuglesang. I sin senaste bok, *Astronautens guide till galaxen*, låter Christer oss följa med i raketerna Månalisa som tidigare har varit med i flera av hans barnböcker med Marcus och Mariana (flera av dem recenserade här i *Fysikaktuellt*). Det är tur att vi får låna Månalisa för galaxen är stor och här finns mycket att se och upptäcka. Farbror Albert är återigen med och förtydligar och utvecklar vad vi ser på vår resa på intressanta faktasidor.

Boken är en informationsspackad introduktion till olika föremål som vi hittar i universum, men den innehåller också en hel del historia om rymdfärder och spännande framtidsvisioner. Titeln *Astronautens guide till galaxen* känns självskrivna. Precis som Douglas Adams *Liftarens guide till galaxen* är boken fantasieggande och mycket trevlig att läsa, men här slutar likheterna. *Astronautens guide till galaxen* är späckad med fakta som presenteras trevligt paketerade i ett rasande tempo.

BOKEN ÄR UPPDELAD I korta kapitel fokuserade kring ett tema (oftast någon himlakropp). Dessa kapitel är sedan kompletterade med faktasidor där farbror Albert lägger till ytterligare information. Upplägget gör att boken går att läsa från pärm till pärm, men den fungerar också bra att använda för att slå upp information.

På vår resa passerar vi ISS och får lära oss hur det är att arbeta på en rymdstation, och när vi sedan passerar månen

presenteras den spännande historien om Apollofärderna. En hel del fysik kommer med på köpet när både gravitation och atomernas uppbyggnad beskrivs. När vi närmar oss Mars är det en kittlande tanke att det kanske kommer att vara någon av bokens läsare som blir den första människan att landa på den planeten!

UPPLÄGGET, ATT BIT FÖR BIT ta oss längre ut, genom vårt eget solsystem och sedan vidare, underlättar förståelsen för vilka oerhörda avstånd det handlar om i universum. Hastigheter och sätt att mäta avstånd presenteras pedagogiskt efterhand som vi behöver det på vår resa som tar oss vidare mot svarta hål, bruna dvärgar med mera.

Det är en bok fylld med fakta och även om stilen och tilltalet vänder sig till ganska små barn kan det vara svårt att ta till sig informationen utan hjälp av en vuxen. Vi kan varmt rekommendera boken och helst då att ni läser den tillsammans med era barn (eller barnbarn) och förundras över hur otroligt universum är.

JOHAN MAURITSSON OCH  
ELLEN MAURITSSON  
Lund



# Sevärda timmar om fascinerande historiskt drama

"Jag har blivit döden – världarnas förintare". Detta citat från Bhagavadgita säger J. Robert Oppenheimer att han tänkte när han såg provsprängningen av den första atombomben.

Filmen *Oppenheimer* är en vacker filmatisering om en skrämmande period i vår historia som är högst aktuell även idag (läs mer om kärnvapenhotet på s 26). Manhattanprojektets plats i historien och fysikernas betydelse för projektet har beskrivits i flera böcker och filmer, men sällan har det lyckats lika bra som Christopher Nolan gör det här. Det är också en romantiserad beskrivning av en tid när fysiker gick från att vara märkliga genier till att bli den tidens superhjältar.

Filmen är framförallt centrerad runt två mäns sammanflätade öden och hur deras vägar korsades flera gånger. När andra världskriget tog slut var J. Robert Oppenheimer antagligen världens just då mest hyllade fysiker. Vid samma tid var Lewis Strauss på toppen av sin karriär som chef över det nyskapade Atomic Energy Commission (AEC). I filmens dramatisering är det redan från början tydligt vem som är "bad guy" och vem som är "good guy", även om båda männen säkert hade en otrolig betydelse för Manhattanprojektets framgång. Filmen har ett klassiskt upplägg av en rättegångsfilm och handlar till stor del om två processer där dessa två män har central betydelse. Den ena händelsen handlar om att tysta Oppenheims kritik mot kapprustningen och det kalla kriget genom att frånta honom hans säkerhetsklassificering och den andra om en hearing i senaten för att avgöra om Strauss kan väljas in som minister.

Oppenheimer förlorar som bekant sin klassificering, men får sedan upprättelse när bland andra John F Kennedys röst blir avgörande för att hindra Lewis Strauss från att bli minister och Oppenheimer senare får tillbaka sin klassificering.

De två händelserna utvecklas sling-

## Oppenheimer

Drama, 2023

Längd: 3.07

Regi: Christopher Nolan

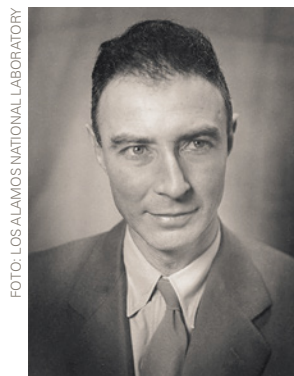
Manus: Christopher Nolan, Kai Bird, Martin Sherwin

Med: Cillian Murphy, Emily Blunt, Matt Damon m. fl.

rande genom filmen, parallellt med att Oppenheimer som person presenteras och Manhattanprojektets tillkomst och framgång beskrivs. Filmen har genomgående en uppenbart amerikansk vinkling, tydligt präglad av McCarthyeran, där problemen med nazister i Europa mest framstår som en liten störning i relation till det större problemet med kommunismen och en allt starkare fiende i Sovjetunionen.

JAG ÄR OSÄKER PÅ om Oppenheimer hade hål i ena örat, men andra detaljer i filmen är väl återgivna. Som fysiker myser man lite när man fångar upp detaljer som säkert är lätta att missa; som på julfesten på Los Alamos där en av fysikerna sitter framför brasan och spelar för fullt på bongotrummor utan att vidare introduceras. Feynman kommer senare tillbaka vid den första provsprängningen, Trinity, där han arrogant tackar nej till ett par skyddsglasögon eftersom han sitter i en bil och rutan kommer att skydda honom mot UV-strålningen.

Att upptäcka dessa små detaljer i den hårt redigerade filmen får en samtidigt att undra hur många andra man har missat, till exempel om politik och när det gäller historiebeteckningen. Flera stora personligheter, spelade av kända skådespelare, passerar snabbt förbi i korta klipp, medan andra får större plats. Niels Bohr hade antagligen en väldigt stor betydelse för moralen hos fysikerna i deras arbete, men skymtar bara snabbt förbi. Edward Teller får å andra sidan större utrymme i filmen och hans betydelse för efterkrigstidens utveckling blir tydligare. Einstein är säklart



Robert Oppenheimer på ett foto från Los Alamos, ca 1944.



Lewis Strauss, nybliven medlem av Atomic Energy Commission (AEC) 1947.

också med i en välspelad roll i miljöerna runt Princeton.

SOM LÄRARE OCH PEDAGOGISKT intresserad uppskattar man den romantiska beskrivningen av vackra undervisningsmiljöer med kriterior på svarta tavlor bredvid de olika experimenten. Och inte i en enda undervisningssituation, varken på Princeton eller i Göttingen, sitter studenterna uppradade i den biosittning som nuförtiden finns överallt, utan stolarna är utplacerade runt läraren och de diskuterar problemen tillsammans.

*Oppenheimer* är en film som jag gärna ser igen flera gånger, det är tre mycket sevärda timmar som säkert skulle behöva flerdubblas för att göra mer rättvisa åt denna dramatiska och fascinerande episod i historien.

JOHAN MAURITSSON  
Lunds universitet



Strukturell färg är ett fenomen där den färg vi ser inte beror på objektets pigment, utan en mikroskopisk ytstruktur. Ett välkänt exempel är påfågeln fjädrar, som i grunden har ett brunt pigment, men vars nanostrukturer ger fågeln dess mångfald av färger.

## AVHANDLINGEN

# En framtid i färg

Skärmar som reflekterar snarare än sänder ut ljus, så kallade elektroniska papper, blir allt vanligare, men de är svartvita och relativt långsamma. I sin avhandling har **Stefano Rossi** undersökt hur man kan skapa effektiva strukturella färger som är lämpliga som pixlar.

I dagens samhälle spelar displayer en viktig roll, och står för en inte obetydlig del av energiförbrukningen. Tekniken går framåt mot bärbara enheter där mycket låg strömförbrukning krävs, men emitterande skärmar baserade på lysdioder (LED) har redan optimerats för strömförbrukning och det finns inte mycket utrymme för förbättringar. Reflektiva displayer, även kallade elektroniska papper, är ett framväxande alternativ. Dessa fungerar genom att återspegla omgivningens ljus. Det möjliggör ultralåg strömförbrukning, men ger också tydligare skärmar i solljus och bättre ögonkomfort. Denna teknik kan delvis ersätta eller komplettera emitterande skärmar, och kan öppna vägen för nya bärbara enheter med låg effekt, eller stora skärmar för digital affischering.

De nuvarande e-läsarna med reflekterande e-bläckteknologi är dock begränsade till svartvitt och har låga växlings-

**Reflective structural colors and their actuation using electroactive conducting polymers**

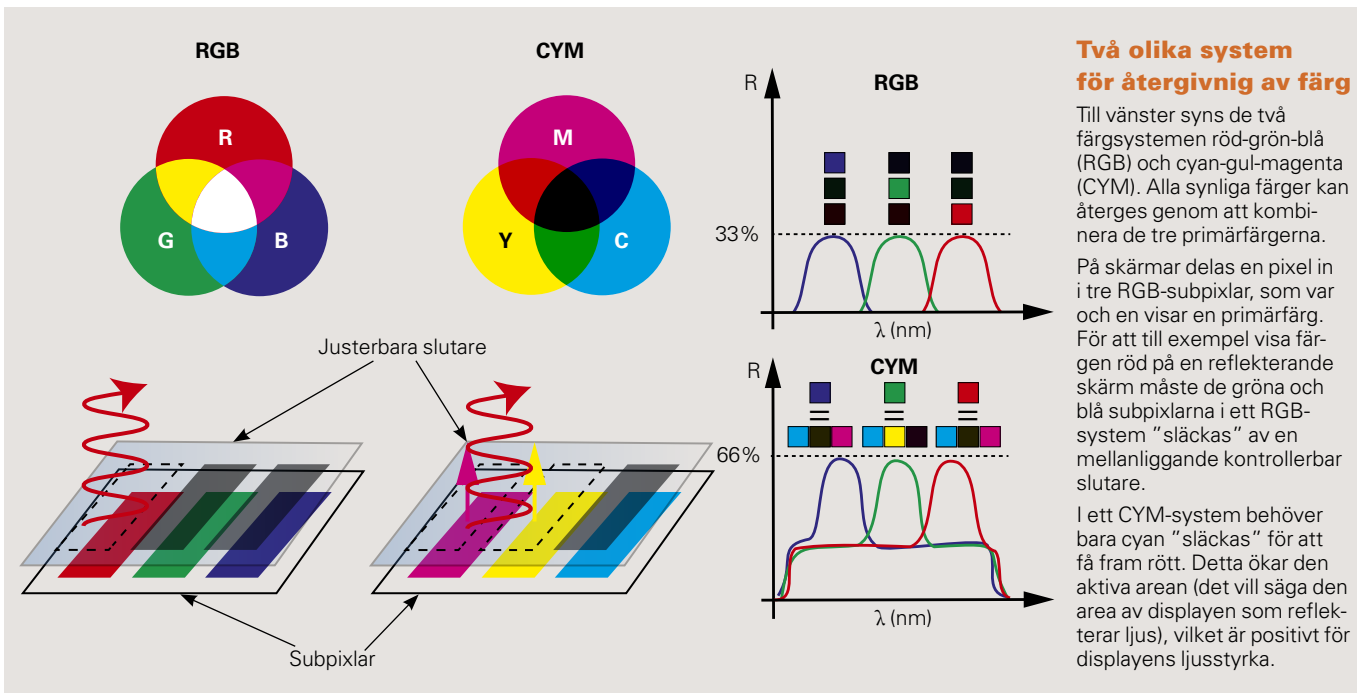
- Författare: Stefano Rossi
- Linköpings universitet, 2022
- ISBN: 978-91-7929-402-1
- Länk till avhandlingen: [liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1691326/FULLTEXT01.pdf](https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1691326/FULLTEXT01.pdf)
- Handledare: Magnus Jansson, professor, Organisk fotonik och nanooptik, Linköpings universitet.
- Opponent: Laura Na Liu, Professor, Universität Stuttgart, Tyskland.



hastigheter. Dessutom innebär den nuvarande indelningen av pixlar i en röd, en grön och en blå subpixel (RGB) en stor begränsning för ljusstyrkan hos reflekter-

rande skärmar, eftersom de för att återge en primärfärg endast kan ha en tredjedel av sin yta aktiv. Därför skulle den ideala lösningen vara en monopixel som kan återge alla färger, samtidigt som den kunde garantera hög ljusstyrka och snabb respons.

INOM FOTONIK STUDERAS strukturella färger, vilket innebär att man reproducerar färger med nanostrukturerade material istället för att använda traditionella kemiska färgämnen eller pigment. Flera exempel på strukturella färger finns i naturen, och dessa strukturer är både mer motståndskraftiga mot nedbrytning än organiska färgämnen och mer miljövänliga än kemiska pigment. Genom att designa och optimera nanostruktureras egenskaper är det dessutom möjligt att få en klarare färg och ultrahög upplösning, och denna metod öppnar även upp för att lägga till extra egenskaper till



**Två olika system för återgivning av färg**

Till vänster syns de två färgsystemen röd-grön-blå (RGB) och cyan-gul-magenta (CYM). Alla synliga färger kan återges genom att kombinera de tre primärfärgerna.

På skärmar delas en pixel in i tre RGB-subpixlar, som var och en visar en primärfärg. För att till exempel visa färgen röd på en reflekterande skärm måste de gröna och blå subpixlarna i ett RGB-system "släckas" av en mellanliggande kontrollerbar slutare.

I ett CYM-system behöver bara cyan "släckas" för att få fram rött. Detta ökar den aktiva arean (det vill säga den area av displayen som reflekterar ljus), vilket är positivt för displayens ljusstyrka.

det återspeglade ljuset. Strukturella färger är bra kandidater för reflekterande skärmar, men att aktivt kunna skifta färg i en enskild pixel är fortfarande en utmaning.

Min avhandling fokuserade på hur man kan skapa effektiva strukturella färger som är lämpliga som pixlar på reflekterande displayer, samt hur man kan styra färgerna genom kombinationer med ett organiskt material.

VI STUDERADE FÖRST hur man gör kraftigt reflekterande RGB-struktur färger, och fokuserade då på optiska nanokaviteter baserade på en plan metall-isolator-metall (MIM) struktur. Dessa strukturer består av lager av tunna filmskikt, och deras färg kan tack vare ett interferensfenomen justeras genom att ändra avstånden mellan skikten.

För att få fram reflekterande strukturella färger gör man en optisk kavitet bestående av en helt reflekterande metallspiegel (av till exempel aluminium eller silver), ett dielektriskt, genomskinligt distanslager och överst en tunn, halvgenomskinlig metallspiegel. När ljuset som reflekteras från den inre kaviteten är ur fas med ljuset som reflekteras från den första,

halvgenomskinliga spegeln, uppstår en destruktiv interferens och ljuset "fångas" i kaviteten.

Resultatet blir en reflektionssvacka i ett våglängdsområde som beror dels på distanslagrets tjocklek och brytningsindex, dels på vilka metaller som används och deras tjocklek. Detta kallas *Fabry-Pérot-effekten*, och fenomenet används till interferometrar och laserkaviteter. Effekten är dock bara användbar för att ta bort färger (reflektionssvacka). För att skapa reflektiv RGB-färg behövs ett system som istället selektivt återspeglar en färg (reflektionstopp). Vi visade att detta kan uppnås genom att lägga till ett mycket tunt, halvgenomskinligt lager av krom, som fungerar som en bredbandsabsorbator. På så sätt kunde vi dämpa reflektionen vid lägre våglängder än vad Fabry-Pérot-effekten normalt tillåter.

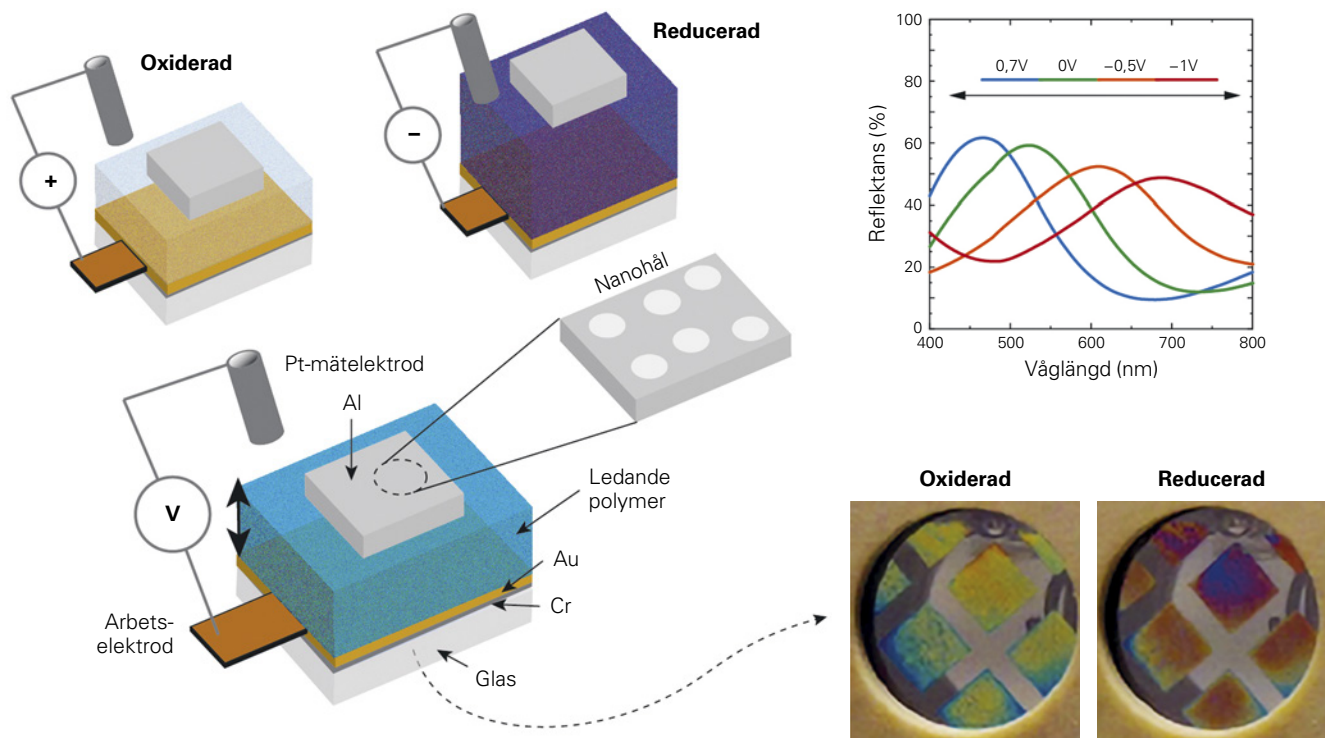
Optiska kaviteter med en blandning av krom och guld gav oss strukturella färger med hög ljusstyrka och god kromaticitet, som kunde ändras över hela det synliga spektrat endast genom att justera tjockleken på distanslagret.

EN ANNAN METOD FÖR att återge färger är subtraktiv färgblandning, som

används i vanlig tryckteknik. Fördelen är att man får högre ljusstyrka än med RGB-metoden. De primära subtraktiva färgerna är cyan, gul och magenta (förkortat CYM, för "cyan, yellow, magenta").

Detta skulle alltså kunna vara en lovande metod för att öka ljusstyrkan hos reflekterande skärmar. Men optiska kaviteter baserade på Fabry-Pérot-effekten är inte ett bra sätt att skapa CYM-färger, eftersom reflektionssvackan är väldigt skarp. Därför undersökte vi ett alternativ baserat på en ny typ av optisk nanokavitet, integrerad med silvernansokivor istället för den tunna, halvgenomskinliga spegelfilmen, och framställda med en skalbar nanotillverkningsmetod. Vi lyckades visa att detta är en effektiv struktur för subtraktiv färgning. Dessa strukturella färger fungerar genom att utnyttja en hybrid-effekt av den plasmoniska absorptionen hos nanoskivorna och interferenslägena hos den optiska nanokaviteten. Genom att ändra diametern på nanoskivorna och tjockleken på distanslagret visade vi att vi kunde återge alla de primära CYM-färgerna.

Vi jämförde våra prover med liknande RGB-system. Det visade att subtraktiv



**FIGUR 1** Principen för optiska nanokaviteter som monopixlar. Genom att applicera en potential mellan provet (arbets-elektroden) och en Pt-mätielektrod, tillsammans med en elektrolyt, kan polymeren fås att krympa och expandera beroende på nivån av dopning. Denna elektrokemiska aktivering omvandlas sedan till en färgförändring beroende på interferenseffekter (tjocklek på distanslagret och variationer i brytnings-index). Till höger syns reflektansspektra för proverna vid olika spänningar, och motsvarande makroskopiska bilder av de två mest reducerade och oxiderade tillstånden. Färgerna ses genom provglaset.

► färgning kan ge en betydligt högre luminans<sup>1</sup>, eftersom en primär RGB-färg bildas av kombinationen av två CYM-färger, vilket gör det aktiva området större. Detta skulle kunna vara ett praktiskt alternativ för reflekterande skärmar i färg, som då använder en subpixeluppdelning.

Priset för den högre luminansen är minskad kromaticitet (förmågan att återge olika färger), eftersom strukturella CYM-färger reflekterar bredare delar av det synliga spektrumet, vilket ger en högre grundreflektion än RGB-system.

VÅRT HUVUDMÅL VAR DOCK att utveckla en justerbar monopixel, den bästa lösningen när det gäller ljusstyrka. Efter våra upptäckter kring reflekterande optiska

nanokaviteter ersatte vi distansen mellan MIM-skikten med en ledande polymer. Dessa material är flexibla och töjbara, kompatibla med trycktekniker för masstillverkning, och ligger till grund för organisk elektronik. De har redan använts i till exempel elektrokroma skärmar och smarta fönster, och nya potentiella användningsområden inom fotonik skulle kunna baseras på möjligheten att elektriskt styra deras optiska egenskaper och tjocklek/volym (läs mer om ledande polymerer i *Fysikaktuellt* nr 2/2023).

Vi integrerade de ledande polymerbaserade optiska nanokaviteterna i en elektrokemisk cell med en vattenbaserad elektrolyt. Genom att applicera en potential kunde vi utlösa en tjockleksförändring, som i sin tur gav ett skifte i färg hos nanokaviteten. Vi visade att färgen kunde ändras över hela det synliga spektrumet, med låga driftspänningar och liknande reflektans för alla oxidationstillstånd. Dessa kaviteter demonstrerar därmed

möjligheten att utveckla en inställbar monopixel, även om det krävs mer arbete för att förbättra enhetligheten och stabiliteten.

Att få till färger som går att ställa in genom att aktivera polymeren tar några elektrokemiska cykler, och utvecklingen av färgen är inte jämn i hela provområdet. Vi behöver fler studier för att hitta metoder för att förbättra spridningen av elektrolyten inuti polymer-matrisen, dess mekaniska stabilitet och för att förbättra designen av den elektrokemiska cellens geometri för att göra färgväxlingen jämnare.

Generellt förbättras prestandan på de färgförändringar som beror på redox<sup>2</sup>-inställningar om jon-spridningsvägen minskas (det vill säga genom att använda små strukturer, på mikro- eller nanometerskalan) och genom att minska avståndet mellan elektrodena. Vi tror att detta kan uppnås genom att på mikronivå strukturera polymeren och de optiska

<sup>1</sup> Den mängd ljus som strålar ut från en viss yta i en viss riktning.

<sup>2</sup> Kortform för *reduktion-oxidation*-reaktion.

kaviteterna till små pixlar, för att underlätta spridningen av elektrolyten, eller genom att ändra metoden för att placera ut polymeren för att få till en bättre mikrostruktur för dess matris. Vi har till exempel arbetat med en metod baserad på ångfaspolymerisation (vapor phase polymerization, VPP), som ger en jämnare film som leder ström bättre än en film framtagen med elektropolymerisation. Denna metod är också kompatibel med fotolitografi.

**SAMMANFATTNINGSVIS HAR VI** utforskat olika strukturella färger som skulle kunna användas i reflekterande färgskärmar med hög ljusstyrka, för såväl RGB- som CYM-färgsystem. Det senare är en tänkbar lösning för att få hög ljusstyrka och samtidigt behålla den traditionella uppdelningen i subpixlar som används i dagens emitterande skärmar. Priset är dock en begränsad kromaticitet. För att förbättra detta presenterade vi ett konceptuellt test av en monopixel som elektriskt aktiveras genom en ledande polymer.

Förbättringar gällande enhetlighet, livslängd och stabilitet behövs, men detta är ett viktigt steg som visar att en hybridlösning som använder ledande polymerer för att optiskt aktivera ett fotoniskt system är möjlig. Denna princip kan utsträckas till andra typer av ställbara optiska enheter, och det öppnar för att man inom nanoplasmonik och metaytor skulle kunna ändra inte bara färg, utan polarisation, amplitud och fas på det inkommande ljuset.

Genom att para ihop ledande polymerer med nanostrukturer kunde vi dessutom nå tillräckligt höga växlingshastigheter för video, samtidigt som strömförbrukningen var ultralåg, vilket gör dessa material mycket lovande kandidater för framtidens bärbara skärmar och optiska instrument.

STEFANO ROSSI

Institutionen för teknik och naturvetenskap, Linköpings universitet

Översättning: Christina Kjellstrand

# Fokus på experiment

En fascination för experiment och tillämpningar tog **Stefano Rossi** från norra Italien till Norrköping.

**Vad arbetar du med just nu?**

– Det är väldigt likt det jag arbetade med i min avhandling, vi försöker göra mikro-mönster av strukturella färger. Tanken är att krympa dimensionerna så att vi får en struktur som är mer som pixlar.

**Du skriver i artikeln om din avhandling om att den här tekniken kan användas till bättre skärmar. Finns det fler användningsområden?**

– Ja, och det är fortfarande områden som håller på att utforskas, men med liknande koncept för fotoniska system skulle man till exempel kunna göra ett ställbart färgfilter eller polarisationsfilter. Men man kan också tänka sig antenner, eller om man går ännu längre från det synliga spektrumet så finns det tänkbara användningsområden inom till exempel IR.

**Hur kom det sig att du blev intresserad av fysik?**

– Jag gick en naturvetenskaplig inriktning i skolan, och vi hade ett ganska stort fokus på det experimentella. Så det fanns gott om tillfällen för mig att utforska både fysik och kemi, sätta igång olika experiment och så vidare. På universitetet studerade jag materialvetenskap, och där kom jag in mer på nanovetenskap. Jag är väldigt intresserad av de teknologiska implikationerna av de här ämnena, vad de innebär för till exempel chip-tillverkning och liknande. Och det intresset ledde mig vidare till att studera hur ljus interagerar med nanostrukturer och andra nanosystem.

**Så du gillar det experimentella?**

– Ja, jag skulle säga att jag föredrar det experimentella arbetet. Jag gör en del simuleringar också, men det är mer för att optimera. Jag är mer intresserad av att tillämpa fysiken.

**Var kommer du från från början, och hur hamnade du i Norrköping?**

– Jag kommer från nordöstra Italien, nära Venedig. Efter min master hade jag en praktikplats vid universitetet i Padua där jag bland annat började utforska struk-

**Stefano Rossi**

**Kommer från:** Padua, Italien

**Bor nu:** Norrköping

**Fritidsintressen:** Är gärna ute i naturen, till fots, på cykel eller i en kajak. Matlagning.

turella färger. Samtidigt letade jag efter en doktorandplats. Då dök det här jobb-erbjudandet som lät oerhört intressant upp på en av de europeiska plattformarna, euraxess. Det var så likt de områden jag precis hade börjat titta på. Så det handlade mycket om det, att jobbet verkade väldigt bra. Jag besökte förstas också universitetet innan jag tackade ja, och såg att det är ett bra labb, en bra arbetsmiljö och ett bra samarbete med kollegorna. Sen älskar jag naturen här, så det var också en faktor.

**Vad är dina planer för framtiden?**

– Jag skulle vilja röra mig mer mot tillämpad forskning. Min tanke är att antingen fortsätta med det jag har hållit på med, och kanske försöka använda de här teknikerna på andra typer av system, metaytor eller liknande. Det är mitt stora intresse. Men jag tittar också på möjligheter att röra mig mer mot industrin.

**Vad gör du när du inte jobbar?**

– Som jag sa så älskar jag naturen. Jag vandrar och cyklar mycket, och har paddlat en del kajak. Sen gillar jag att laga mat också, och ser det lite som min uppgift att ta hit det italienska köket.

**Vill du säga något mer om hur ni jobbar i ert team?**

– Det vi gör här är väldigt intersektionellt, så en utmaning är att vi behöver sätta oss in i väldigt olika forskningsfält. För mig handlar det om allt från fysik och nanooptik till praktiskt arbete med tillverkningen i vårt renrum. Men det många här som håller på med helt andra saker än jag – från teoretisk till tillämpad fysik, kemi, elektrokemi eller till och med biologi och biomedicin. Så det är en väldigt stimulerande miljö.

CHRISTINA KJELLSTRAND

*Fysikaktuell*

# En fysiker kokar sin paj

Fysik brukar definieras som läran om hur energi omvandlas. Matlagning å sin sida handlar till stor del om värmeöverföring – matlagning är alltså experimentell fysik utförd i köket!

Den här gången tittar vi närmare på **äggets** egenskaper.

Det är spännande att experimentera i köket och testa om man kan dra nytta av sina fysikkunskaper, har man tur så blir det gott också. Ägg är en ingrediens som både fysiker och kokar älskar att hata. Ett perfekt pocherat ägg på en rågrödmacka, toppat med en nyslagen hollandaise och lite klippt gräslök från grönsakslandet kan vara otroligt gott, men om ägget som skulle pocheras simmar runt som trådar i grytan på samma gång som hollandaisen spricker är det inte längre en lika lugn och trevlig söndagsmorgon (skriver av erfarenhet!).

När det gäller ägg så är det viktigt att hålla koll på temperaturen eftersom det innehåller så många olika proteiner som stelnar vid olika temperaturer. Redan vid 61 grader börjar ovotransferrin i äggvitan

att denaturera och ett gel bildas. Gulan börjar stelna vid 65 grader och är ganska fast vid 70 grader, blir den mycket varmare så blir den smulig och inte så god till frukosten. Först över 80 grader denaturerar det sista, här relevanta, proteinet i äggvitan, ovalbumin. För att få till ett perfekt kokt ägg behövs det med andra ord en duktig experimentell fysiker i köket (eller som vi brukar säga: en kock).

ÄGG INGÅR OCKSÅ I flera olika efterrätter som stabiliserande bindemedel och ger, om det är rätt tillagat, en len och fin konsistens. Vi tänkte titta lite närmare på den struliga pajen cheesecake, detta gungfly till bakverk! Vi menar då inte den svenska frysta cheesecaken utan den bakade tyska eller amerikanska varianten (ärligt talat så

återfinns den på flera ställen, Baskien har till exempel en spännande variant som är bränd på utsidan och japanerna har såklart en superfluffig).

I en cheesecake vill vi uppnå en jämn temperatur hela vägen genom pajen. Vid 71 grader har de flesta proteiner i äggulan denaturerat och vi vill inte att temperaturen ska bli högre för då binder proteinerna hårdare till varandra, gelen kan inte hålla kvar vätska, och det finns stor risk för sprickor i pajen. På grund av detta bakas en cheesecake ofta i ett vattenbad i ugnen, men även med denna försäkring kan det gå fel eftersom vattnet kan bli 100 grader varmt. Kanten på pajen kan alltså bli för varm innan mitten är klar. Med förhoppningen att allt ska uppnå sluttemperaturen 71 grader brukar man därför stänga

Protein i äggvita	% (torrvikt)	Temp, °C	Funktion
Ovalbumin	54	84	Gelbildare, omvandlas till mer värme-stabilt S-ovalbumin när ägget lagras.
Ovotransferrin	12	61	Gelbildare, binder järn.
Ocomuocid	11	77	Mer värmeresistent vid neutralt till surt pH.
Ovomucin	3,5		Bidrar till gelbildning, värmeresistent i ren form.
Lysozyme	3,4	75	Antibakteriellt.
G2/G3 Globulin	8	92,5	Skumbildning.
Protein i ägggula	% (torrvikt)	Temp, °C	Funktion
HDL/Lipovitellin		–	Komplexbildare.
Phosphovitin		–	Komplexbildare, binder järn.
LDL/Lipoprotein	66	65–70	Strukturbildare, börjar denaturera vid 65°C. Stelnar kraftigt vid temperaturökning upp till 70°C.
Livetin	11	60–63	Denaturerar vid 60–63°C.



FOTO: PIXABAY

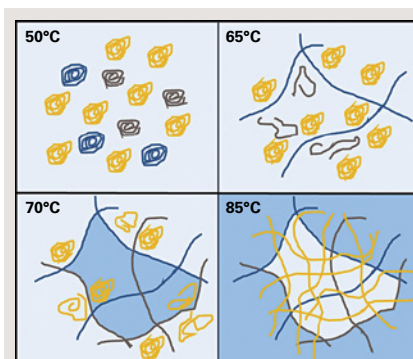


FOTO: JOHAN MAURITSSON

En enkel metod för att få en jämn temperatur på sin cheesecake är att värma den i ett vattenbad med en reglerbar doppvärmare.

av ugnen och låta vattnet och smeten långsamt svalna tillsammans på eftervärmen i ugnen medan man ber och vändas. Bli temperaturer för låg är resultatet en söt, simmig äggsoppa och blir den för hög så spricker pajen och blir grymig. Det är en kul tentauppgift av det lite svårare slaget att be studenterna räkna ut när ugnen ska stängas av (för att underlätta lite tar vi inte med inverkan av pH eller mjölkfett i beräkningen).

EN ANNAN, LITE ENKLARE, tentauppgift är att låta studenterna räkna ut vilken höjd som är optimal för att baka cheesecake (det vill säga: på vilken höjd kokar vatten redan vid 71 grader?). Det sägs att de tidiga expeditionerna upp på Mount Everest uppskattade höjden genom att mäta temperaturen vid vilken vatten kokade. Vattens kokpunkt varierar inte helt linjärt som funktion av meter över havsytan, men det är en tillräckligt bra approximation här. På toppen av Mount Everest kokar vatten vid 68 grader Celsius, så vi behöver inte klättra fullt så högt för att nå den optimala temperaturen för vår cheesecake. På 8 848 meters höjd har kokpunkten sjunkit 32 grader, det vill säga 3,6 grader per tusen meter. Det räcker alltså att vi klättrar upp på en kulle ca 8 000 meter över havet för att tillaga vår paj. Därmed finns det i alla fall 14 olika berg att välja mellan.



Vid 50°C är proteinerna fördelade som nystan i vätskan. Vid uppvärmning börjar de vecka upp sig, binda till varandra, och skapa ett nätverk. Det ger en gel som håller vatten. När allt fler proteiner veckar upp sig och binder samman blir gelen tätare och vatten trycks ut från strukturen, 85°C.

En enklare metod är givetvis att använda en reglerbar doppvärmare i en gryta med vatten, så att vi själva kan välja exakt vilken temperatur vi vill uppnå och vara förvissade om att pajen inte överstiger denna och spricker. På restauranger brukar tekniken att sänka ner vakuumpförpackade råvaror i ett temperaturkontrollerat vattenbad kallas *sous vide* och drastiskt underlätta kvällens middagsservering.

För att genomföra experimentet behöver vi, förutom den reglerbara dopp-

värmaren, kokbara formar med lock som håller tätt (min mormor hade varit stolt över mig när jag letade fram dem i gömmorna). Nedan följer ett enkelt grundrecept på cheesecake som ni gärna får testa och sedan själva smaksätta på olika sätt.

### Cheesecake, grundrecept

- 110 gram Philadelphiaost
- 33 gram socker
- 60 gram gräddfil
- Lite citronjuice och zest
- 1 vanligt ägg eller 5 vaktelägg

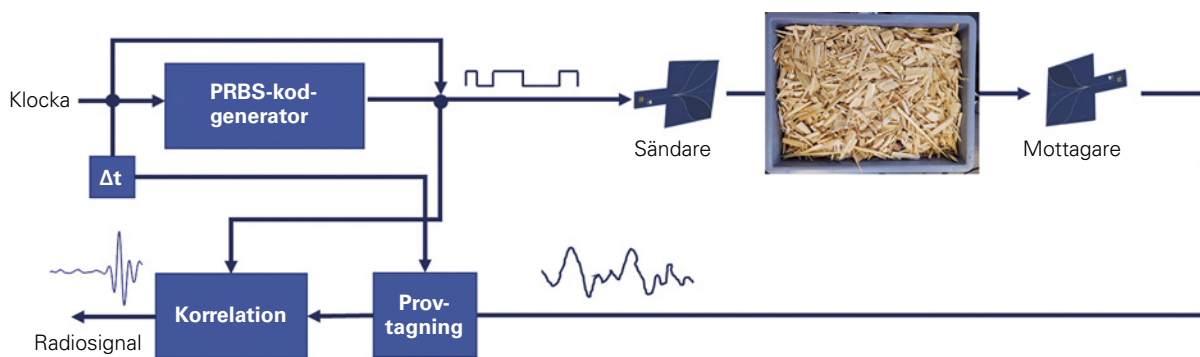
Vispa osten mjuk och lite fluffig innan ni tillsätter övriga ingredienser. Vi smaksatte med lite citron, men det finns flera andra goda varianter (vanilj, kondenserad mjölk med mera).

Fördela smeten i formarna och tillslut väl. Placera dem sedan i vattenbadet, som du har värmt till 71 grader, och låt dem stå där i ca 45 minuter, så att temperaturen blir jämt fördelad. Plocka upp formarna och låt dem svalna i rumstemperatur innan du sätter in dem i kylskåpet över natten.

Amerikaner älskar att "baka kakor" av kakor och vill du göra detsamma kan du smula några grahamskakor, blanda med smält smör och sedan baka smulorna i 150 grader i ca 15 minuter tills det börjar lukta gott.

Servera dina portionsformar med cheesecake med lite kaksmulor på toppen (istället för som en botten vilket är mer traditionellt), och varför inte lite god rabarberkräm?

JOHAN MAURITSSON OCH MALIN SJÖÖ  
Lunds universitet



**FIGUR 1** Korskorrelation och generering av UWB-signalen, i det här fallet vid transmitterande mätning av träflis i provlåda.

# Effektiva pannor med radarmätning

Högskolan i Gävle och Radarbolaget har ett fruktbart samarbete kring forskning och utveckling av **radiobaserade mätmetoder**. Radarbolaget är ett företag som utvecklar radar- och radiomätsystem för industriella tillämpningar, framför allt materialundersökning av träflis, stål och kalk.

**T**raditionellt har radar använts för att mäta *avstånd* för sjö- och flygfart. I dessa fall är radarsignalen en puls av en högfrekvent bärvåg. Signalen skickas från en sändare, reflekteras av radarmålet och tas emot av en mottagare. Tiden,  $t$ , det tar för radarsignalen att färdas fram och tillbaka blir ett mått på sträckan,  $s$ , eftersom hastigheten signalen färdas med är känd, ljusets hastighet,  $c$ . Avståndet till målet är  $s = ct/2$ .

I denna artikel används ett radar- och radiomätsystem som delvis bygger på en annan teknik. Radarsignalen består av kontinuerliga pulser som skickas med korta intervaller som en så kallad M-sekvens. Vid korskorrelation mellan utsänd och mottagen radiosignal erhålls en bredbandig puls (figur 1). Denna puls kan användas för att mäta tiden för radarsignalens färd och beräkna sträckan. Systemet kan användas för reflekterande och transmitterande mätning. Vid transmitterande mätning sker en fördröjning men även en dämpning av signalen, som gör att signalen blir bredare.

Den pulsförmade signalen består av ett brett frekvensband och metoden kallas ultra wideband (UWB). UWB-tekniken ställer stora krav på att elektroniken klarar höga frekvenser och ett brett frekvensband. De antenner som används är dipolantenner och mer riktade Vivaldi-antennerna. En utsänd radiosignal har ofta en bred utbredningsriktning, liksom ringarna på vattnet efter en nedplumsad sten. Det går att fokusera och förstärka signalen på en Vivaldi-antenn med en linsfunktion. Linsen kan då bestå av mikro-strips som placeras mellan antennbladen eller av en faktisk lins, exempelvis en Luneburg-lins.

ETT ANVÄNDNINGSSOMRÅDE för radartechniken är inom *oförstörande provning*, exempelvis detektion av sprickor i olika objekt. En utsänd radiosignal i ett material dämpas beroende på materialets egenskaper (densitet, fukthalt, temperatur eller kemiska sammansättning). Signalen reflekteras först vid stora förändringar i refraktionsindex, exempelvis vid en spricka. Är materialets egenskaper kända

kan sprickbildningar detekteras och lokaliseras. Det kan ske genom att skanna ett objekt, där flera mätningar i rad som kan läggas samman till en bild med en teknik som kallas Synthetic Aperture Radar (SAR). Denna bild har ett djup, vilket innebär att om skanningen har gjorts i en dimension så har bilden två dimensioner. Om skanningen har gjorts i två dimensioner erhålls data i tre dimensioner.

Sprickor som är orienterade i samma riktning som antennerna är lätta att upptäcka medan sprickor som är vinkelrätt orienterade gentemot antennerna är svåra. Detta beror på att antennerna är linjärpolariserande och det så kallade radar-tvårsnittet gör att signalen reflekteras i en linje i första fallet och en punkt i det andra fallet. För att säkerställa att en spricka detekteras oavsett riktning skulle ett stort antal mätningar i alla olika riktningar behöva utföras. Problemet går att avhjälpa med polarimetri och mätningar i två riktningar för sändaren respektive mottagaren. Sammantaget blir det fyra olika kombinationer av mätningar som sedan



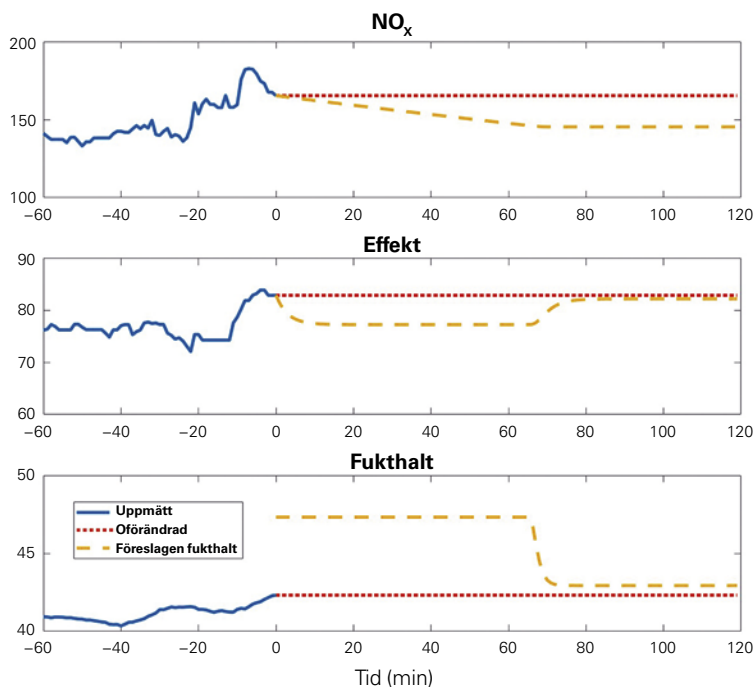
beräknas med en rotationsmatris för bestämning av sprickans orientering. Det går att detektera andra objekt och egenskaper med SAR-tekniken, exempelvis rör och reglar i en vägg.

UWB-RADAR KAN OCKSÅ användas för transmitterande mätning av materialegenskaper, exempelvis fukthalten i träflis och kalcineringsgraden i bränd kalk. Genom att mäta radarsignalens tidsförskjutning och dämpning kan två materialegenskaper bestämmas. Man beskriver detta genom ett komplext brytningsindex,  $n^* = n + ik$ , där realdelen,  $n$ , beskriver tidsförskjutning och imaginärdelen,  $k$ , beskriver dämpningen. Vattenmolekylerna påverkar radarsignalen kraftigt; olika fukthalt ger således stora förändringar i hur radarsignalen går igenom materialet. Träflis har också visat sig ha dubbelbrytande dielektriska egenskaper likt ett anisotrop dielektriskt medium.

Dubbelbrytning i träflis uppstår på grund av orienteringen och formen av träflisen samt de mikroskopiska strukturerna i träflisen (träfibrer). Orienteringen av träflisen uppstår på grund av tyngdlagen, jämför med flingorna i ett cornflakespaket. Det finns få flingor som står på högkant, de flesta ligger ner i förhållande till gravitationsriktningen. Dubbelbrytningen ger upphov till två vågfronter. Vågfronten i vertikal riktning (vinkelrätt mot träflisens orientering) går snabbare än vågfronten i horisontell riktning.

Transmitterande mätning kan även användas för att studera kalcineringsgraden vid tillverkning av bränd kalk, det vill säga den kemiska nedbrytningen av  $\text{CaCO}_3$  till  $\text{CaO}$  och  $\text{CO}_2$  som sker vid temperaturer över  $825^\circ\text{C}$ .  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$  och  $\text{CO}_2$  har olika materialegenskaper och ger olika tidsförskjutningar och dämpningar av radarsignalen. Materialegenskaperna,  $n^* = n + ik$ , kan bestämmas i en referensmätning. Genom att mäta  $n^*$  under kalcinering kan man sedan bestämma hur stor mängd som finns av de ingående materialen och därigenom hur långt den kemiska processen kommit. Systemet kan även användas för undersökning av andra mineralföreningar och andra typer av material.

Radiobaserad fukthaltmätning av



**FIGUR 2** Beräkning av önskad fukthalt för att minska  $\text{NO}_x$ -halten och bibehålla panneffekten.

träflis medger energibesparingar och minskade utsläpp av växthusgaser. Det finns 150 större biobränsleeldade kraftvärmeverk i Sverige (över 50 MW). Det totala antalet pannor i fjärrvärmesektorn uppskattas till cirka 3 500. Därutöver finns ett 50-tal massabruk och pappersbruk som hanterar träflis. Genom att säkerställa fukthalten hos träflisen, exempelvis på transportband (se tidningens framsida), kan man styra fläktarna bättre och därigenom få högre verkningsgrad vid förbränningen och renare rökgaser. Träbränsle med rätt fukthalt kan minska emissioner ( $\text{CO}_2$  och  $\text{NO}_x$ ) och stoftutsläpp från kraftvärmepannor samtidigt som effekten från pannan kan styras.

UTIFRÅN MÄTT FUKTHALT går det att skapa en maskininlärdd modell (digital tvilling) som förutser emissionerna, stoftutsläpp, fläktstyrning och panneffekt. Modellen tar hänsyn till bränsletillförsel, lufttillförsel och bränslets fukthalt. Operatören kan få indikation kring panneffekt och emissioner någon timme i förväg, om träflisens fukthalt inte förändras, eller vidta de åtgärder som krävs för att åstadkomma ökad effekt och minskade emissioner. På sikt kan den digitala tvillingen automatiskt styra tillförselprocessen med träflis med önskad fukthalt

genom modellbaserad prediktiv reglering (MPC). Resultat från simuleringar och en kortare testperiod visar lovande resultat. I figur 2 visas hur  $\text{NO}_x$ -halten kan minskas med 20 enheter med bibehållen effekt från tidpunkten 0 om fukthalten ökas med 5 procentenheter under drygt 60 minuter.

NICLAS BJÖRSELL

Professor i elektronik vid Högskolan i Gävle

PATRIK OTTOSSON

PhD och VD för Radarbolaget

DANIEL RÖNNOW

Professor i elektronik vid Högskolan i Gävle

## Läs mer

D. Andersson, N. Björnell, P. Ottosson, D. Rönnow, M. Sandberg, "Radar Images of Leaks in Building Elements", *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1726-1731, 2015, ISSN 1876-6102, [doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.279](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.279).

P. Ottosson, D. Andersson and D. Rönnow, "UWB Radio Measurement and Time-Domain Analysis of Anisotropy in Wood Chips," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 22, pp. 9112-9119, 15 Nov. 2018, [doi.org/10.1109/JSEN.2018.2870760](https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2870760).

P. Ottosson, D. Andersson, V. Choudhary and D. Rönnow, "An Ultrawideband System for Measuring the Dielectric Properties of Mineral Compounds in a Heat-Reaction Chamber at High Temperatures," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 72, pp. 1-10, 2023, Art no. 6003810, [doi.org/10.1109/TIM.2023.3265760](https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3265760).

# Är detta en forskning vi vill bedriva?

De två kärnvapenexplosioner som riktats mot människor skedde i Japan för 78 år sedan. Det finns idag ingen förberedelse för att hindra nya explosioner. Därför är det mycket angeläget att öka ansträngningar för att **förhindra skarp användning** av kärnvapen igen.

V i kan erinra oss om hur oförberedda vi var inför covid och konsekvenserna av detta. Virus och kärnvapen har vissa gemensamma egenskaper – men skillnaderna i konsekvenser och tidsförlopp av dessa kedjereaktioner är enorma. Ett virus, ifall det är okontrollerat, kan döda miljoner människor under månader och helt försätta hälsosystem i kris. En neutronbomb startar fission av ett kilogram plutonium på en mikrosekund. Beroende på när och var den exploderar kan enbart detonationen döda hundratusentals, till och med miljoner, direkt. Multiplicera sedan det med möjligheten att skicka tusentals bomber. Men precis som med ett virus är det i kedjereaktionerna de värsta konsekvenserna

märks. Den sjukvård som inte slagits ut av själva explosionen riskerar att kollapsa under mängden inströmmande skadade. Infrastruktur och kommunikation kan slås ut över enorma områden, både av själva explosionen, och av den elektromagnetiska puls den ger upphov till. På längre sikt kan stora områden göras oboeliga av strålningen. Nukleär vinter kan inträda.

Även ett ”mindre” krig mellan Indien och Pakistan skulle leda till katastrof. Ett vetenskapligt scenario förutspår att enorma, sammanflätade eldstormar kapslar in storstäder. Tryckvågor och värmestrålning från explosionerna ger ofattbara skador på människor och byggnader. Totalt eller hundratal miljoner

människor – 2,5 gånger de som omkom under andra världskriget – dödas. Strålning och radioaktivt avfall från detonationerna resulterar i aggressiv celldöd, med strålsjuka och cancer som drabbar generationer. Rök och sot som stiger upp i stratosfären och lägger sig som ett täcke minskar solljuset med upp emot en tredjedel och skapar en global atomvinter. Ozonlagret luckras upp och halveras. Det utlöser i sin tur skördekriser och svältkatastrofer. Hela samhällen riskerar att kollapsa.

KÄRNVAPENHOTET I VÄRLDEN är uppenbart. Vapnen kontrolleras av en handfull personer i nio länder, och den aktuella reserven av kärnvapen är nu mer än 12 000 stridsvapen. Som jämförelse beräknas de två bomberna över Hiroshima och Nagasaki – som med dagens mått mätt var ganska små – ha dödat över 200 000 människor. En bråkdel av dagens tillgängliga vapenarsenal skulle kunna eliminera civilsamhället många gånger om.

Idag bedöms faran för kärnvapenkrig vara större än vad den var under kalla kriget, men de flesta är totalt ovetandes om denna risk för mänskligheten. Flera händelser har lett till denna situation:

- kollapsen av kärnvapensbegränsning och kontroll.
- upprustning, där kärnvapenstater utökar och förnyar sina arsenaler, pågår igen.
- överenskommelser om kärnvapenreduktion och begränsningar saknas mellan de nio stater som idag har kärnvapen (USA, Ryssland, Frankrike,

Den första provsprängningen av ett kärnvapen, med kodnamnet ”Trinity”, ägde rum den 16 juli 1945. Bomben var av samma typ som ”Fat Man”, den bomb som en knapp månad senare släpptes över Nagasaki i Japan.



FOTO: LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY

England Kina, Israel, Indien, Pakistan, och Nordkorea).

- cyberteknologi kan underminera strategisk stabilitet.

I SAMBAND MED KRIGET i Ukraina har frågan om taktiska kärnvapen blivit aktuell. De framställs ofta som mindre farliga än de ”klassiska” strategiska kärnvapnen. Men vad är de för något? Definitionen av taktiska kärnvapen handlar om hur lång räckvidd de har, och ligger på upp till 50 mil. De är alltså tänkta att användas direkt på slagfält, snarare än att skickas långa sträckor med missiler. Som grupp är de mindre kraftfulla än de strategiska kärnvapnen, men de kan ha en sprängkraft på upp till 100 kT, att jämföra med Hiroshima-bomben på 15 kT.

Försvarsmaktens forskningsinstitut (FOI) utredde 2021 ett scenario där ett kärnvapen på 100 kT användes över Nynäshamn utanför Stockholm, med syfte att förbereda räddningstjänsten och andra myndigheter på en händelse av det slaget. Samtidigt får vi höra från läkarkåren, speciellt Läkare mot kärnvapen (SLMK), att det enda försvaret är att låta bli. Från deras skrift ”Förebygga är enda medicinen” (2023) kan vi läsa att ett enda kärnvapen med en sprängstyrka 100 kT över Stockholm skulle orsaka en sådan förödelse att inte ens en helt fungerande sjukvård skulle ha en chans att hantera de skadade.

VAD KAN VI SOM är intresserade av fysik och dess tillämpningar göra? Till att börja med behöver vi förstå den fara som vi nu står inför. Som fysiker har vi en unik möjlighet att kritiskt kunna granska de artiklar och uttalanden som nu strömmar över oss. Vi kan, med erfarenheterna från 1945, komma ihåg vilket massförstörelsevapen kärnvapen faktiskt är. De flesta kärnvapen idag har en sprängstyrka mellan 50 och 800 kT, alltså långt mer än bomberna över Hiroshima (15 kT) och Nagasaki (21 kT). Efter att USA släppt de två bomberna samlades många fysiker för att förhindra fortsatt utveckling av det nya massförstörelsevapnet. En process för att förbjuda testning av kärnvapen inleddes. Tyvärr lyckades inte arbetet att helt stoppa produktionen, men ändå skedde efter årtion-

## Några internationella avtal om kärnvapenkontroll

**TPNW** (the Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons). FN-konvention som förbjuder kärnvapen. I april 2023 hade 54 länder ratificerat och totalt 86 har skrivit under konventionen.

**NPT** (nuclear non-proliferation treaty). Icke-spridningsavtal från 1968. Det signerades av de fem erkända kärnvapenstaterna: USA, Ryssland, Kina, England och Frankrike. Avtalets fokus är att förhindra spridning av kärnvapen till nya aktörer samt nedrustning av existerande arsenaler.

**PTBT** (Partial Test Ban Treaty). Det partiella provstoppsavtalet skrevs under av Sovjetunionen, USA och Storbritannien 1963 och förbjöd provsprängningar i atmosfären, under vatten och i rymden.

Idag har 126 stater ratificerat avtalet, och ytterligare 10 skrivit under. Bland de stater som ännu inte skrivit under finns Kina, Frankrike och Nordkorea.

**CTBT** (Comprehensive Test Ban Treaty). Det fullständiga provstoppsavtalet antogs av FN:s generalförsamling 1996 men har ännu inte fullt trätt i kraft. Trots detta har alla provsprängningar upphört, utom de som företagits av Nordkorea. Avtalet förbjuder provsprängningar ovan och under mark, under vattnet i rymden samt provsprängningar för fredliga syften.

**ICAN** (International Campaign to Abolish Nuclear Weapons). Den internationella kampanjen för ett kärnvapenförbud tilldelades Nobels fredspris 2017.

FOTO: OKÄND



FOTO: PIXABAY

Ett av de mest kända offren för bomben över Hiroshima är Sadako Sasaki (1943–55). Hon var två år gammal när bomben exploderade över hennes hemstad. Tio år senare dog hon av leukemi. Enligt en japansk legend får man en önskan uppfylld om man under ett år viker 1 000 papperstranor, och i boken *Sadako och de tusen papperstranorna* (Eleanor Coerr, 1977) skildras hur Sadako försökte göra just det. Den viktiga tranan har därefter blivit en symbol för kampen mot kärnvapen.

den av upprustning en betydande minskning av den totala kärnvapenarsenalen.

Efter 1945 skapades i USA en allians mellan amerikanska universitet och militären för utveckling och test av kärnvapen. Denna allians innebar att universitetet fick stora forskningsmedel, något som pågår än idag ([www.icanw.org/schools\\_of\\_mass\\_destruction](http://www.icanw.org/schools_of_mass_destruction)). Som fysiker kan vi fråga oss: Är detta en forskning vi vill bedriva?

Amerikanska fysikersamfundet (APS) har lanserat en grupp, Physicists coalition for nuclear disarmament, som redan arbetar i USA med att sprida information, hålla föreläsningar, möten och websida. De inbjuder alla intresserade att bli medlemmar.

Kanske kan vi i Sverige och i Europa också delta aktivt i denna koalition?

Vi kan också fråga oss om vi genom fysikundervisningen, genom diskussioner, artiklar och möten kan diskutera och på nytt informera oss själva och det omgivande samhället om den fara som tillgången på kärnvapen faktiskt innebär?

2021 bildades Alva Myrdalsinstitutet i Uppsala som en freds- och konfliktforskningshub i Sverige ([www3.uu.se/alvamyrdalscentre](http://www3.uu.se/alvamyrdalscentre)). Vid institutionen för Freds- och konfliktforskning i Uppsala ges nu fristående kurser med lärare från SLMK om konsekvenser av kärnvapenkrig. Är det något som vi som fysiker skulle kunna ta efter vid våra tekniska universitet och högskolor?

ELISABETH RACHLEW

professor emerita, KTH

Styrelseledamot Svenska Pugwash

## Läs mer

Svenska Läkare mot Kärnvapen, SLMK, *Förebygga är enda medicinen*, 2023. [slmk.org/wp-content/uploads/2022/02/Forebygga-ar-enda-medicinen-2022-web-1.pdf](http://slmk.org/wp-content/uploads/2022/02/Forebygga-ar-enda-medicinen-2022-web-1.pdf)

Physicists coalition for nuclear threat reduction. [physicistscoalition.org](http://physicistscoalition.org)

Robock A. och S. C. Prager, "Geoscientists can help reduce the threat of nuclear weapons", *EOS*, 2021

O.B. Thon, et al incl A. Robock, 2019, "Rapidly expanding nuclear arsenals in Pakistan and India portend regional and global catastrophe", *Science advances*, [www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aay5478](http://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aay5478)

# Drömmen om ett museum för fysiken

**Vilhelm Carlheim-Gyllensköld** är främst känd för sina jordmagnetiska undersökningar. Men under senare delen av sitt liv kämpade han även för att realisera drömmen om ett vetenskapshistoriskt museum för fysik.

Historien om detta museum måste berättas med utgångspunkt i personen – Vilhelm Carlheim-Gyllensköld (1859–1934). Han var först och främst geofysiker, men gjorde även insatser som astronom och var i 24 år (1910–34) en av de fem medlemmarna i Nobelkommittén för fysik. Han har inom litteraturhistorien kallats ”Strindbergs egendomliga naturvetenskaplige vän” och han samlade på tegelstenar. Som synes en gestalt med många sidor.

Vår huvudperson deltog som ung i 1882–83 års Spetsbergsexpedition, där han studerade norrsken. I ett försök att fånga detta flyktiga fenomen tog han till akvareller. Tio år senare var han assistent på observatoriet i Pulkova, och hemkommen till Stockholm blev han 1894–97 assistent på Vetenskapsakademiens observatorium i Stockholm. Hans prisbelönta teoretiska avhandling om jordmagnetismen, ett arbete vilket betecknats som det viktigaste bidraget till det jordmagnetiska fältets analys sedan Gauss’ dagar, kom 1896. Fyra år senare publicerade han den mer skönlitterära *På åttionde breddgraden*, utifrån sina erfarenheter på Spetsbergen. Han blev 1907 fysikdocent, t.f. professor och föreståndare för fysikinstitutionen vid Stockholms Högskola, samma år blev han invald i Kungliga Vetenskapsakademien (KVA). År 1910 valdes han in i Nobelkommittén för fysik och året efter blev han professor.

Hans jordmagnetiska kunskaper blev så småningom betydelsefulla för satsningarna på gruvbrytningen i Kiruna, där de geofysiska mätningarna gav ett utförligare



En ung Carlheim-Gyllensköld vid tiden för Spetsbergsexpeditionen 1882–83, och en av akvarellerna han utförde.

underlag än vad de traditionella mineralogiska inventeringarna kunde göra. Hans geofysikaliska insatser finns mer utförligt beskrivna av Kurt Molin i *Kosmos* 1935.

## Museet

Vetenskapsakademien hade sedan 1700-talet gett offentliga fysikföreläsningar med hjälp av en samling föreläsningssinstrument, och man hade 1850–1905 en egen fysiker anställd som höll dessa. 1915 flyttade Vetenskapsakademien ut till Frescati, och några år senare gjorde Carlheim-Gyllensköld ett fynd på akademiens vind i form av några dokument som handlade om Wargentins instrument. Han blev utifrån dessa intresserad av Vetenskapsakademiens samling av vetenskapliga instrument från 1700-talet och framåt. En idé om ett museum föddes. Akademien hade sedan 1898 ett museum med kemiinriktning i form av Berzeliusmuseet, men här var det de övriga samlingarna som skulle ställas ut, var hans tanke.

Carlheim-Gyllensköld motiverade det hela på flera sätt. Samlingen skulle kunna ge en vetenskapshistorisk förståelse, den behövde sakkunnigt vårdas, instrumenten skulle testas med modern teknik, ett museum vore en svensk angelägenhet för att vittna om alla stora namn ur den svenska vetenskapens historia, det hela skulle möjliggöra praktisk undervisning utifrån samlingarna och så vidare. Genom att samla in ytterligare vetenskapshistoriska instrument från flera håll i landet så skulle man dessutom kunna berätta om *hela* Sveriges vetenskapliga historia – ett mycket ambitiöst program.

Det var dock inte alldeles uppenbart om det var vetenskapernas historia eller en teknikhistoria det var fråga om. Och detta skulle komma att försvåra det hela. En kommitté tillsattes



Med Thomasprocessen blev den fosforrika järnmalmsfyndigheten i Kiruna intressant att utvinna. För bedömningarna av dess naturligt magnetiska malmmineralers storlek blev de geofysikaliska metoderna avgörande då borrhningarna gav andra, mindre omfattande resultat. Carlheim-Gyllenskölds modell av malmkroppen utgjorde då en pedagogisk resurs. Malmkroppen i Kiirunavaara är formad som en ellips i 60° lutning.

Museet för de Exakta Vetenskapernas Historias samlingar på Naturhistoriska Riksmuseet blev eftersom allt mer utsatta och användes knappt (bilden är från 1961). Några år efter att denna bild togs flyttades samlingarna till vinden på Vetenskapsakademien.

på Vetenskapsakademien, men samtidigt – på den nyligen (1919) grundade Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) – fanns redan långt gångna planer på ett tekniskt museum. Man var på bägge håll ense om att båda projekten vore möjliga var för sig. Vetenskapsakademien hade däremot inga pengar för ett museum, utan det måste bli en statlig angelägenhet. Övriga museer i Stockholm ställde sig positiva till tanken – utom Vitterhetsakademien, som ställde sig avvisande, varför staten lät frågan bero. Carlheim-Gyllensköld lät sig dock inte nedslås utan fortsatte sitt inventerande och samlande. På IVA arbetade man också på och gjorde det tekniska museet till en institution inom IVA redan 1924, även om själva museet öppnade först 1936.

### Stort behov av utrymme

Eftersom astronomerna var på väg att flytta från Stockholms gamla observatorium såg Carlheim-Gyllensköld en möjlighet till ett blivande museum i de lokalerna, men utrymmesbehovet var redan akut och samlingarna fick istället beredas plats på Naturhistoriska Riksmuseet.

För att få fart på museitanken igen begav sig Carlheim-Gyllensköld sommaren 1927 ut på en studieresa runtom i Europa,

där han besökte vetenskapshistoriska museer i Paris, Prag, Wien, Nürnberg, Dresden och München. Han höll hemkommen ett långt föredrag om dessa besök i Vetenskapsakademien och han lät förstå att skulle man ha ett *vetenskapligt* museum måste det ledas av *vetenskapsmän*, leddes det av industrimän blev det ovetenskapligt. Detta måste tolkas som att gränsdragningen mot IVA:s projekt med Tekniska museet var angelägen att markera.

### Samlingarna flyttas

Tyvärr fick Carlheim-Gyllensköld föga stöd i KVA:s förvaltningsutskott, och även om samlingarna fick utrymme i tornrummet på Riksmuseets mineralogiska avdelning från 1921, så avtog hans entusiasm efterhand. Efter hans död 1934 tog Gustaf Ising (1883–1960) över ansvaret, men lite gjordes för att exploatera samlingarna. Några år efter Isings död kom beskedet om att Riksmuseet nu behövde lokalerna, och föremålen packades ner i banankartonger och flyttades över Roslagsvägen till vinden på KVA. De inventerades samtidigt och en skrift om samlingen tillkom.

Nästa steg, i en mer positiv riktning, togs 1991 när Stiftelsen Observatorie-

kullen invigde Observatoriemuseet med föremål i huvudsak ur KVA:s samlingar. Vetenskapsakademien övertog 1999 ansvaret för detta museum och realiserade där – kan vi säga – Carlheim-Gyllenskölds museitanke tills det stängdes av besparingsskäl 2014. Själva samlingarna finns sedan 1997 i ändamålsenliga arkivlokaler, varför vi kan tro att Carlheim-Gyllensköld åtminstone delvis vore nöjd, om än "Museet för de exakta vetenskapernas historia" inte går att besöka annat än som en samling tillgänglig för forskningen. Tekniska museet å sin sida lever och frodas, och har idag ett nationellt uppdrag att ansvara för det tekniska och industrihistoriska kulturarvet.

KARL GRANDIN

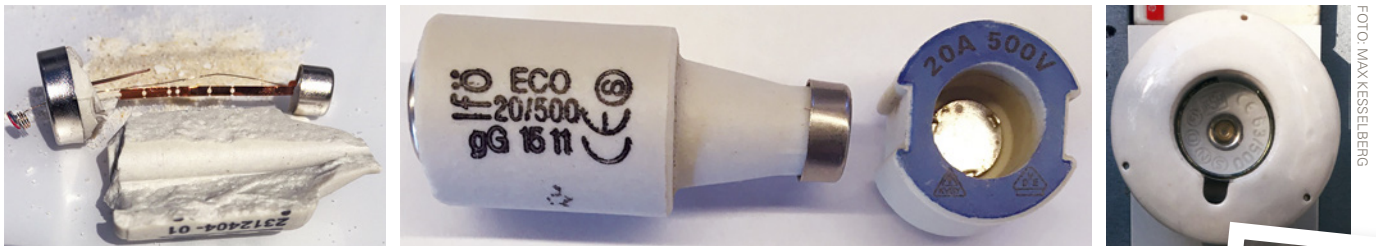
Centrum för Vetenskapshistoria, KVA

### Läs mer

Anders Carlsson, "Bland kulturens finaste blommor: Vilhelm Carlheim-Gyllensköld och Museet för de exakta vetenskapernas historia", *Forskningsprogrammet Stella: Modern vetenskapshistoria, 1850–2000* (1994) Arbetsrapport nr 1.

Kurt Molin, "Vilhelm Carlheim-Gyllensköld som jordmagnetiker", *Kosmos: Fysiska uppsatser*, 13 (Stockholm, 1935).

Gunnar Pipping, *The Chamber of Physics* (1977).



**FIGUR 1** Till vänster en spräckt, trasig röd proppsäkring för 6 A framför dess släcksand, samt spiralfjäder och märke, i mitten en blå för 20 A med passdel och till höger en propphuv med hål för mätning av spänningen. Genom fönstret anas en gul bricka för 25 A.

# Helt säkert med svag länk

Det är den svagaste länken som är styrkan med en **säkring**. Den är tänkt att, vid för stark ström, gå sönder innan den övriga kretsen skadas, eller leder till överhettning och i värsta fall brand.

**R**edan 1847 noterade den franske urmakaren och fysikern Brequet att en tunn bit ledning kunde skydda apparatur och ledningar hos en telegraflinje mot blixtnedslag i ledningsstolpar. Edison tog 1890 patent på en säkring (*fuse block*, från latinets "fusus" som betyder smälta) för sitt elnät och skrev "The passage of an abnormal electric current fuses the safety-catch and breaks the circuit".

## Förr gick en propp

De första smältsäkringarna av porslin, även kallade diazedsäkringar (Diametrisch Abgestufter Zweiteiliger Edison-Schmelzstöpsel), lanserades av Siemens AG i början av 1900-talet. De benämns ibland D-säkring.

De återfinns i äldre bostäders proppskåp (normcentral, gruppcentral, elcentral eller säkringskåp). Säkringen är utbytbar men ej förväxlingsbar, genom färgmärkning och att proppens diameter på ena änden ökar med den ström den är avsedd för. Den består av ett cylinderformat porslinshölje med en sandomgiven tunn tråd, ofta av elektrolytkoppar. Den är ytterst ren, och har därmed liten resistans och tråden blir då inte så varm (figur 1). Den seriekopplas

med det som ska skyddas. Om strömmen överstiger en viss nivå så smälter tråden, strömkretsen bryts och den lilla färgade brickan i änden skjuts ut av en spiralfjäder. Brickan ska då synas i propphuvens fönster, men den faller tyvärr inte alltid ner. Säkringens status kan då kollas genom att sticka in en multimeterprob i det lilla hålet i huvan (figur 1) och koppla den andra proben till jord, till exempel en skruv på elcentralens hölje. Multimetern bör ha säkerhetsklass CAT III och stå i läge 250 V AC

När en krets bryts kan en ljusbåge uppstå och i den kan strömmen bli ännu starkare, i stället för att brytas. Det beror på att resistansen i bågen är låg på grund av luftens jonisering. I en proppsäkring motverkas ljusbågen av släcksand och i en automatsäkring finns en anordning som delar upp strömmen och släcker ljusbågen (figur 2). Risken för ljusbågar är större för likström än för växelström, eftersom spänning och ström hos den senare blir noll 100 gånger varje sekund.

## Driftklasser

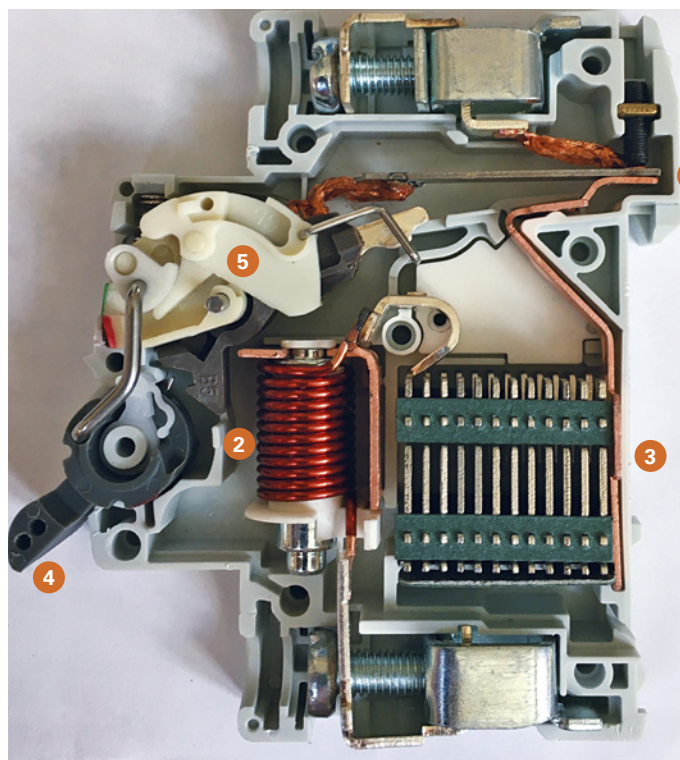
På proppsäkringar hittar man ibland beteckningar av typen "gL/gG". Den första bokstaven anger funktionsklass

och den andra det objekt som ska skyddas. Enligt VDE-normen (Verband Deutscher Elektrotechniker) innebär "gL" att g = Ganzbereichsicherung och L = Kabel- und Leitungsschutz. Enligt IEC-normen (International Electrotechnical Commission) innebär "gG" att g = general fuse och G = general purpose. Dessa motsvarar till sin utlösningsskarakteristik de så kallade tröga säkringarna. Idag är gällande beteckning enligt IEC-normen "gG".

En säkring karakteriseras av märkströmmen, den starkaste ström den tål utan att kretsen bryts, samt hur snabbt förloppet är. En standardsäkring klarar två gånger sin märkström under en sekund, en snabbsäkring bara under 0,1 sekunder, medan en långsam säkring klarar tiotals sekunder. Omgivningstemperaturen kommer att ändra en säkrings driftsparametrar. En säkring som är klassad för 1 A vid 25 °C kan leda upp till 20 % mer ström vid -40 °C och kan öppna vid 80 % av sitt nominella värde vid 100 °C.

## Moderna bostäder

Sedan slutet på 1900-talet monteras normcentraler med automatsäkringar (dvärgbrytare). De skyddar termiskt mot



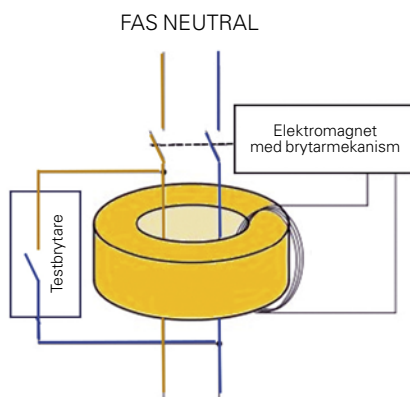
**FIGUR 2** Till vänster: Överst normcentral, underst dvärgbrytare. Till höger en öppnad dvärgbrytare med bimetall (1) och spole (2), släckanordning (3), vippknapp (4) samt utlösningmekanism (5).

överlast och magnetiskt mot kortslutning. Det termiska skyddet består av en bimetall som värms upp vid ökad ström och bryter efter viss tid. Det magnetiska skyddet består av en spole som vid stora strömökningar skjuter ut en kolv som träffar en utlösningmekanism (figur 2). Dvärgbrytare tillverkas med en anordning som delar upp strömmen och släcker eventuellt ljusbåge.

Dvärgbrytare har en vippknapp på utsidan, som kan fällas upp när den löst ut, varpå kretsen åter sluts. Om man ofta använder dvärgbrytaren som strömbrytare kan den få en förkortad livslängd. Karaktäristiken anges med "B" för snabb, "C" för trög eller "D" för extra trög. I bostäder och kontor är "C10" vanligast. "10" är märkströmmen, den tål alltså 10 A. Den kan dock belastas med omkring 10 procent mer, givet att omgivningens temperatur inte är alltför hög.

### Jordfelsbrytare

Jordfelsbrytare är sedan år 2000 obligatoriskt vid nyinstallationer. Den är ett komplement till säkringarna i en normcentral, och bryter strömmen när den tar en annan väg än från fasledaren via det inkopplade



**FIGUR 3** Jordfelsbrytare med ringkärna, fas- och neutralledare, sekundärspole med några varv koppartråd, brytarenhet samt testbrytare.

objektet och åter till neutralledaren. Till skillnad från säkringar som ska skydda kretsen har jordfelsbrytare till uppgift att rädda liv. Den ska lösa ut snabbt om strömmen tar vägen genom en människokropp.

Den brytare som syns till vänster i figur 2 är för trefas. Den upptar därför fyra platser i normcentralen, där den fjärde är för neutralledaren. Dess funktion bygger på obalans mellan tillförd och återförd ström i kretsen. Den kallas där-

för på engelska "Residual current device (RCD)".

I jordfelsbrytaren sitter en transformator med ringformad kärna (figur 3). Primärsidan bildas av att fasledaren och neutralledaren går genom kärnan. Normalt genomflyts de av lika stora strömmar, men i olika riktning. Skulle ström läcka ut någonstans, exempelvis genom att en person kommit åt en strömförande del, uppstår obalans. Då induceras en spänning i en spole på sekundärsidan. Om den spänningen driver en ström som överstiger det förinställda värdet (30 mA i Sverige), reagerar en elektromagnet som, inom 10 till 50 ms, utlöser en brytarmekanism. Brytaren måste därefter återställas manuellt innan den börjar leda ström igen. Alla jordfelsbrytare har en testknapp, ofta märkt T för test, som används för att kontrollera funktionen. Man bör minst varje halvår testa att den fungerar och bryter strömmen.

Det finns även brytare som är avsedda för brandskydd med en utlösningström på upp till 300 mA. De kan också fås med fördröjd utlösningstid.

MAX KESSELBERG  
Stockholms universitet



# Fysik för gymnasiet – tryckt och digitalt!

Fysik för gymnasieskolan 1 och 2 är ett nytt digitalt läromedel som visar att fysik är fantastiskt och spännande. Här finns allt! Exempel från vardagen, begreppslistor och den stora mängden uppgifter stöttar eleven i sin inläring.



**Ny  
omarbetad  
upplaga!**



**Heureka!** har en självklar plats i fysikundervisningen på gymnasiet och nu är det dags för en omarbetad upplaga. Nya *Heureka!* är utvecklad i samarbete med ledande fysiker och lärare. *Heureka! Fysik 2* kommer till HT23.

**Prova  
30 dagar!**

Läs mer på [nok.se](http://nok.se)