

Studieteknik · K-strimmor och klimat · Tivolifysik

# Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 3 • SEPT 2024



## Fysiken bakom rekorden

# Svenska Fysikersamfundet

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

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

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

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

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

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

**Bankgiro:** 5402-5499

**E-post:** styrelsen@fysikersamfundet.se

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

## Sektioner

Inom Fysikersamfundet finns ett antal sektioner som bland annat ordnar möten och konferenser, se [www.fysikersamfundet.se](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, Mats Larsson, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson, Asta Pellinen Wannberg och Elisabeth Rachlew.

**Ansvarig utgivare:** Jonathan Weidow.

**Kontakta redaktionen via:**  
fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

**Manusstopp och deadline för annonsbokning:**  
för Fysikaktuellt 4/2024 är 23 oktober 2024.

## 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 os 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:  
<https://order.flowy.se/fof/fof/4140>

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2024



**OMSLAGSBILDEN:** Armand Duplantis har blivit "Mondo" med hela världen, och sätter rekord efter rekord. Men hur ser egentligen fysiken bakom stavhoppet ut? Läs mer på sidan 6.

Foto: Aron Broman/Mondo Classic

## 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)

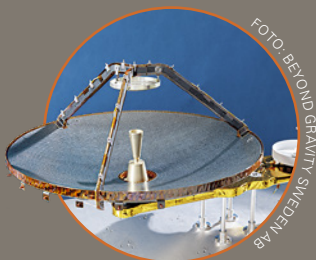
## Stödjande institutioner

- 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
- Mälardalens universitet  
– Avd för matematik och fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet  
– Institutionen för fysik och astronomi
- Umeå Universitet  
– Institutionen för fysik

Glöm inte att anmäla adressändring till [medlemsregistret@fysikersamfundet.se](mailto:medlemsregistret@fysikersamfundet.se)

# Innehåll

- 3 SIGNERAT  
Johan Åkerman
- 4 AKTUELLT
- 6 "THE SKY IS THE LIMIT"  
Stavhoppets fysik
- 9 GOD FYSIK  
Pumpaströolja
- 10 AVANCERAD STUDIETEKNIK  
FÖR HÖGRE UTBILDNING
- 12 AVHANDLINGEN  
Maskininlärning  
och kvantsystem
- 15 INTERVJU  
Shahnawaz Ahmed
- 16 BRONS I EuPhO
- 18 LÄRANDE I FRITT FALL
- 20 UVS  
En förening för unga  
fysikintresserade
- 21 KONDENSSTRIMMOR  
OCH KLIMATET
- 24 SVENSKA ANTENNER  
PÅ WEBB-TELESKOPET
- 26 EXOPLANETERS ATMOSFÄRER
- 28 SKOLA 145  
Ukrainsk elitskola för fysik
- 29 RECENSION
- 30 VARDAGENS FYSIK  
Dammsugare



För snart tre år sedan skjöts James Webb-teleskopet upp i rymden, och sedan dess har vi fått mängder av vackra bilder och intressanta data. Allt via ett antennsystem som byggts här i Sverige.

Läs mer på sidan 24 och 26

## Fysik kan du räkna med

I sommar har jag läst två böcker av fysikern och Youtube-profilen Sabine Hossenfelder: *Existential Physics* och *Lost in Math*, där hon ger sig i kast med de mest grundläggande frågorna inom partikelfysik, kosmologi och vårt universums mysterier. Frågan om vårt universum är mest fysik eller matematik kan eventuellt diskuteras i oändlighet, men klart är i alla fall att fysikern inte kommer särskilt långt utan de beräkningsmetoder som matematiken erbjuder. Som hjälp till både matematikern och fysikern har sedan ingenjören byggt allt kraftfullare datorer och utvecklat allt bättre simuleringsmiljöer. Ingen har väl heller kunna undvika den pågående revolutionen inom maskininlärning, kanske mest slående inom så kallad generativ artificiell intelligens (AI).

Fysikens bidrag till dessa datorer är främst uppfinningen av transistorn för 76 år sedan. Transistorn har sedan vidareutvecklats i en hisnande utveckling som kan sammanfattas av Moores lag: att antalet transistorer på ett chip dubblas vartannat år. NVIDIAs senaste AI-chip har nu 208 miljarder transistorer, och man uppskattar att OpenAI använder sig av tusentals liknande chip för att träna och använda Chat-GPT.

Även om mängder av innovationer inom materialfysik ligger bakom den exponentiella ökningen av antalet transistorer är själva transistorn och dess digitala funktion fortfarande densamma. Transistorns totala dominans de senaste 50 åren kan kanske ge intrycket av att vi inte behöver några andra sätt att göra beräkningar på. Men så ligger det faktiskt inte till. Fysiker utvecklar idag helt andra sorters datorer, där kvantdatorerna nog är de mest kända. Istället för transistorer använder en kvantdator olika sorters kvantbitar som kan använda kvantalgoritmer för att lösa problem som vanliga datorer går bet på.

Det kanadensiska företaget D-wave erbjuder en typ av kvantdator som kallas för Isingmaskin, som kopplar samman 5640 supraledande komponenter vid 15 millikelvin för att lösa så kallade kombinatoriska optimeringsproblem. Det mest klassiska



av dessa är ”handelsresandeproblemet”: en handelsresande ska ta sig kortaste vägen mellan ett visst antal städer. Om han vill besöka 5 städer kan han göra detta på 12 olika sätt, men redan vid 21 olika städer finns det  $10^{18}$  olika vägar han kan ta. Om det tar en sekund att mäta längden på varje sådan sträcka skulle inte universums ålder räcka till för att gå igenom alla. En Isingmaskin löser däremot samma problem på någon millisekund.

I min egen forskning bygger vi nu nya typer av Isingmaskiner som fungerar vid rumstemperatur. Våra maskiner använder sig av magnetiska fenomen och behöver därför varken kvanttillstånd eller låga temperaturer för att fungera. Istället för transistorer och kvantbitar använder vi spinntroniska nano-oscillatorer och spinnvägor som växelverkar med varandra i stora nätverk. Våra minsta oscillatorer är 10 nm stora och våra största synkroniserade nätverk innehåller 100 000 oscillatorer. När oscillatorerna blir så små och så många ser vi nya kollektiva fenomen och inser att vi ännu bara har skrapat på ytan av allt spännande som finns att utforska hos denna nya teknologi. I detta gränsland mellan grundforskning inom fysik, elektronik, och datortillämpningar trivs jag och mina gruppmedlemmar som allra bäst. Det är här som vi vill visa på helt nya sätt att räkna med fysik!

JOHAN ÅKERMAN

Göteborgs universitet och Tohoku universitet

## Stöd till EuPhO och Oseenmedaljen

■ Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond har beviljat anslag till Svenska Fysikersamfundet. Samfundet får 600 000 kronor för att kunna belöna pristagaren av Oseenmedaljen under perioden 2025–2029, samt 5 000 000 för att kunna arrangera Europeiska fysikolympiaden, EuPhO, 2026 (läs mer här bredvid). Samfundet är mycket tack-samma för de ytterst generösa bidragen och de möjligheter de skapar.

## Ny sektion på gång

■ Svenska fysikersamfundet håller på att få en ny sektion: Sektionen för acceleratorfysik. För den som är intresserad är Sverker Werin, Lunds universitet, kontaktperson, och gå att nå på: [sverker.werin@maxiv.lu.se](mailto:sverker.werin@maxiv.lu.se).

## Tionde Lise Meitner-dagarna

■ Helgen 29 november–1 december arrangeras Lise Meitner-dagarna för tionde gången. Dagarna är en årligen återkommande konferens för fysikintresserade gymnasieelever som arrangeras av Svenska Fysikersamfundet och Svenska Nationalkommittén för fysik.

Missade du att anmäla din skola i år? Håll koll på [www.lisemeitnerdagarna.se](http://www.lisemeitnerdagarna.se).

## Ny bok om IUPAP:s 100-åriga historia

■ 2022 firade IUPAP (the International Union of Pure and Applied Physics) 100 år. Nu kommer boken *Globalizing Physics*, där vetenskapshistoriker från hela världen berättar organisationens historia. Boken är open access, och finns gratis som pdf på Oxford University Press ([global.oup.com/academic](http://global.oup.com/academic)).



# EuPhO till Sverige 2026

■ Den europeiska fysikolympiaden har arrangerats varje år sedan 2017 i olika länder runtom i Europa (2020 och 2021 som en online-version under pandemin), med svenskt deltagande ända sedan starten. Vi kan nu glädjande meddela att turneringen kommer till Sverige och Göteborg, där den tionde upplagan av EuPhO kommer att arrangeras år 2026 av Svenska fysikersamfundet tillsammans med fysikinstitutionerna i Göteborg.

Det är väldigt roligt att återigen få bjuda in till fysikolympiad i Sverige, något som inte skett sedan IPhO hölls i Sigtuna 1984! Vi är därför mycket tacksamma för det ekonomiska stöd från Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond som möjliggör arrangemanget av EuPhO 2026.

Den europeiska fysikolympiaden utmärker sig genom sina tävlingsuppgifter som designats för att så mycket som möjligt efterlikna forskningssituationer och syftar till att stimulera till kreativt tänkande och problemlösning. Vi är nu i full gång med planeringen för att kunna erbjuda ett program med intressanta och roliga utflykter, spännande och utmanande tävlingsupp-



FOTO: PÅKARAV

Göteborg står värd för EuPhO 2026.

gifter samt stimulera till socialt utbyte mellan både deltagare och ledare.

Det kan även nämnas att arrangerande land får skicka två lag bestående av fem deltagare vardera – det kommer alltså att finnas dubbelt så stor chans att få representera Sverige på hemmaplan om två år!

JULIA JÄRLEBARK

projektledare EuPhO 2026

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON

biträdande projektledare EuPhO 2026

## Svenskt brons i IYPT

■ I juli vann det svenska landslaget tredjepris och bronsmedaljer vid International Young Physicists' Tournament (IYPT) i Ungern. Resultatet är den bästa presentationen av det svenska laget sedan 2019 och är en betydande bedrift för svensk fysikutbildning. I laget ingick Gabriel Bergens (Blackebergs Gymnasium), Abhiram Diyyala, Vilgot Gudmundsson och Theodore Groen (Malmö Borgarskola) samt Ariv Deolalikar (Katedralskolan i Lund).

IYPT, även känt som "fysik-VM", är en prestigefylld tävling där gymnasieelever från hela världen tävlar genom att presentera och försvara sina lösningar på komplexa fysikproblem (läs mer i *Fysikaktuell* nr 1/2023). Det svenska laget visade exceptionell skicklighet och samarbete under årets turnering.

"Vi är oerhört stolta över våra elever och deras hårda arbete", säger lagledare Maria Anghel. "Deras engagemang och passion för fysik har verkligen lönat sig, och detta brons är ett bevis på deras talang och ihärdighet."

Med denna framgång i ryggen börjar nu IYPT Sweden – den ideella förening som står bakom IYPT i Sverige – förberedelserna inför IYPT 2025, som kommer att hållas i Lund.

"Detta är en unik möjlighet för Sverige att stå värd för en av de mest prestigefyllda ungdomstävlingarna i fysik, och vi ser fram emot att välkomna lag från hela världen till Lund nästa år", säger föreningens ordförande Sam Edgecombe. "Vi söker nu sponsorer och volontärer som skulle vilja bidra".

Läs mer på [www.iypt.se](http://www.iypt.se).

# Val till Svenska fysikersamfundet

■ Mandatperioden för Svenska fysikersamfundets styrelse utgår hösten 2024. En valberedning har tillsatts för att föreslå ordförande, nio styrelseledamöter, revisorer, revisorssuppleanter och valberedning för nästa mandatperiod, 2025–2028. Därutöver utses tre styrelseledamöter av Kungliga vetenskapsakademien, KVA, och en ledamot utses av

Ingenjörsvetenskapsakademien. Det åligger valberedningen att tillse att dess förslag till ledamöter i styrelse och valberedning på bredast möjliga sätt representerar fysikens olika områden.

Valberedningen inför valet 2024 har utgjorts av Svante Jonsell (sammankallande), Marcus Berg, Maria Hamrin, Anne-Sofie Mårtensson och David Silvermyr.

## Valberedningens förslag

Namn	Position
<b>Michael Odelius</b> , Stockholms universitet	Ordförande
<b>Urban Eriksson</b> , Uppsala universitet (omval)	Styrelseledamot
<b>Herbert Gunnell</b> , Umeå universitet (omval)	Styrelseledamot
<b>Julia Järlebark</b> , Chalmers tekniska högskola	Styrelseledamot
<b>Emely Kjellsson Lindblom</b> , Stockholms universitet	Styrelseledamot
<b>Linda Megner</b> , Stockholms universitet (omval)	Styrelseledamot
<b>Susanne Tegler</b> , Gymnasieskolan Spyken, Lund	Styrelseledamot
<b>Peter Christiansen</b> , Lunds universitet	Styrelseledamot
<b>Katarina Wilhelmsen</b> , Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) (omval)	Styrelseledamot
<b>Maria Åstrand</b> , Northvolt	Styrelseledamot
<b>Sven Huldt</b> , Lund (omval)	Revisor
<b>Hans Lundberg</b> , Lund (omval)	Revisor
<b>Mats Jonson</b> , Göteborg (omval)	Revisorssuppleant
<b>Dag Hanstorp</b> , Göteborg	Revisorssuppleant

Enligt stadgarna utser styrelsen ”inom sig vice ordförande och inom eller utom sig sekreterare och skattmästare vilka dock båda skall vara medlemmar i Samfundet”. **Joakim Cederkäll**, Lunds universitet, och **Lage Hedin**, Uppsala universitet, är beredda att även under perioden 2025–2028 ställa upp som sekreterare respektive skattmästare.

## Kompletterande förslag

Samfundets medlemmar kan enligt stadgarna ”inkomma med kompletterande förslag”. Förslagsställarna skall därvid förvissa sig om att föreslagen kandidat är villig att åta sig uppdraget. Valbara är medlemmar i Samfundet.

Alla medlemmar kan till och med den 29 oktober använda sin stadgeenliga rätt att inkomma med kompletterande förslag till valberedningen. Skicka förslaget till valberedningens ordförande jonsell@fysik.su.se.

## Röstningen

I början av vecka 45, **senast den 4 november**, kommer inbjudan till elektronisk röstning att skickas ut till dem som betalat

medlemsavgift för 2024 senast den 24 oktober. Röstningen kan ske fram till den 22 november.

## Förslag till valberedning inför valet 2028

Valberedning inför nästa val ska utses av årsmötet 2026. Nuvarande valberedning föreslår:

Nils Almqvist (Luleå), ordförande  
Maria Hamrin (Umeå)  
Måns Henningson (Göteborg)  
Kerstin Jon-And (Stockholm)  
David Silvermyr (Lund)

# “The sky is the limit”

Vid OS i Paris i somras hade vi än en gång nöjet att se Armand “Mondo” Duplantis hoppa sig till både en guldmedalj och ett nytt världsrekord. Men hur ser egentligen fysiken bakom **det perfekta stavhoppet** ut?



Armand Duplantis vid stavhoppssgalan “Mondo Classic” i Uppsala 2023.

FOTO: ARON BROMAN/MONDO CLASSIC

**F**riidrott handlar om att utföra ett begränsat antal rörelser med fart, styrka och precision. De flesta av friidrottens teknikgrenar har ett enkelt mål som lätt kan utvärderas, till exempel att hoppa så högt som möjligt med en stav eller att stöta en kula så långt som möjligt. Men hur man utför rörelser som leder till ett så bra resultat som möjligt är inte alltid enkelt att förstå, och kanske ännu svårare att genomföra. Alla som någon gång provat på friidrott vet dessutom att för att lyckas så bra som möjligt ska rörelserna genomföras snabbt och med kraft, och ju snabbare man rör sig desto svårare är det att göra rätt. Det kan kännas frustrerande när man tar i mer och lyckas sämre, men att se aktiva friidrottare lyckas genomföra sina väl intrainerade rörelser med snabbhet, styrka och perfekt tajming är imponerande och fascinerande.

En friidrottsgren som innehåller ovanligt många moment som både kräver fenomenal tajming i hög fart och styrka i genomförandet är stavhopp. Trots att stavhopp kan tyckas vara en ganska krånglig gren som kräver avancerade stavar, stora landningsmattor med mera, så är det en av de äldsta friidrottsgrenarna. På det olympiska programmet har det funnits sedan 1896 (för damer sedan 2000). Vid förra sekelskiftet användes stavar av trä/bambu som inte var böjbara i någon större utsträckning – och man landade i en sandgrop. Trots det hoppade de bästa

stavhopparna närmare 4 m! Under 50-talet utvecklades glasfiberstavar som är böjliga, vilket ger enorma fördelar. Och när man 1961 övergick till säkrare landningar i hoppmattor så höjdes världsrekorden i snabb takt. Till exempel hade svensken Kjell Isaksson 1972 världrekordet på 5,55 m, ett resultat som i år skulle räckt till SM-guld, men inte så mycket mer (Linus Möller vann SM 2024 på höjden 5,43 m). Trots att staven är ett komplicerat redskap att tillverka, så är de stavar som används idag väsentligen av samma kvalitet som de som användes på 80-talet.

DEN SVENSK-AMERIKANSKE stavhopparen Armand Duplantis har de senaste åren lyckats sätta flera världsrekord och spränga gränserna för vad som tidigare gjorts. Så vad är det för fysikaliska principer som ligger bakom ett framgångsrikt stavhopp? Vi fick en intervju med Armand Duplantis tränare och pappa, Greg Duplantis.

Den viktigaste egenskapen hos en stavhoppare är, enligt Greg, att ha en så hög hastighet som möjligt när staven sätts i. Ofta kommer en lista över stavhopparnas hastighet i ansatsen att vara samma som resultatlistan (alltså hur högt de hoppat). Och Armand är den snabbaste



FOTO: ARON BROMAN/MONDO CLASSIC

stavhopparen genom tiderna. Men, påpekar Greg, att vara snabb med staven räcker inte – det krävs även en god teknik i övriga delar för att hoppa högt.

Hur högt är det, rent teoretiskt, möjligt för en människa att hoppa stavhopp? Med ett energiresonemang kan vi tänka oss att stavhopparen vill skapa så mycket lägesenergi som möjligt, och att detta görs genom att: (i) skapa rörelseenergi i ansatsen,  $E_k$ , och (ii) utträta ett inre arbete,  $E_{inre}$ , under hoppet, på vägen upp.

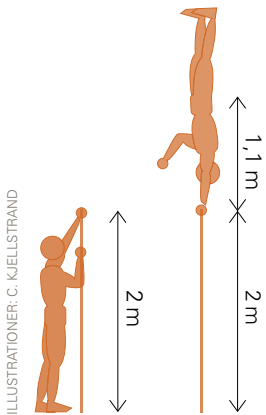
Låt oss anta att staven agerar som en ideal fjäder och inte förlorar någon energi. Låt oss vidare anta att världens snabbaste man kan uppnå hastigheten 12 m/s (Usain Bolt har mätts springa i 12,2 m/s). Rörelseenergin är  $mv^2/2$ , och tyngdpunkten kan höjas enligt

$$\frac{mv^2}{2} = mgh_1, \text{ vilket ger att}$$

$$h_1 = \frac{v^2}{2g} = \frac{12^2}{2 \cdot 9,82} = 7,3 \text{ m.}$$

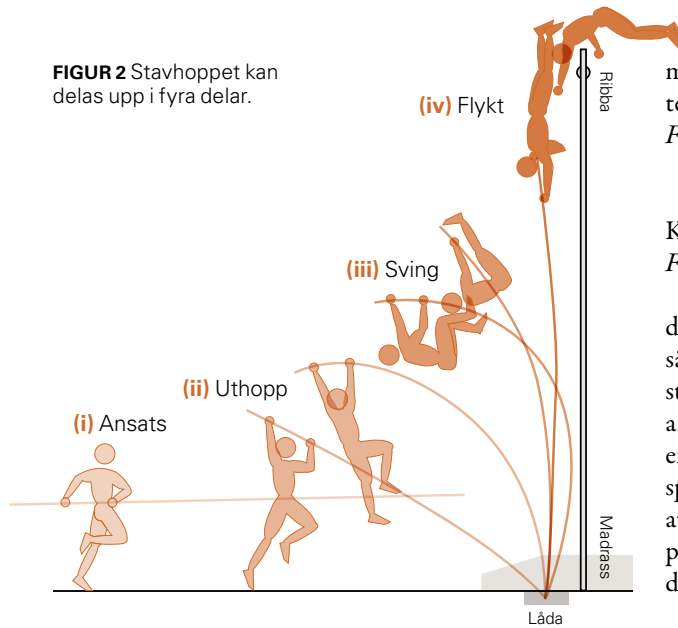
Men på vägen upp har stavhopparen också möjlighet att med hjälp av staven lyfta sig så att fötterna pekar upp, och stavhopparen får då ytterligare lägesenergi. För en högerhänt stavhoppare som håller högerhanden överst på höjden 2,0 m över marken (och då har tyngdpunkten 0,9 m över marken) så har tyngdpunkten

**FIGUR 1** Genom att med hjälp av staven vända på sig ökar stavhopparen sin lägesenergi.



ILLUSTRATIONER: C. KJELLSTRAND

**FIGUR 2** Stavhoppet kan delas upp i fyra delar.



på grund av den rörelsen hamnat vid  $h_2 = 2,0 + 1,1 = 3,1$  m över marken och lägesenergin har ökat med  $E_{inre} = mgh_2$ . Totalt har alltså energin  $E_{inre} + E_k$  tillförts och omsatts till lägesenergi med den totala höjden  $h_1 + h_2 = 7,3 + 3,1 = 10,4$  m (figur 1). Så ett teoretiskt hopp, med farten 12 m/s med ett optimalt inre arbete och utan energiförluster, kan resultera i hopp på över 10 m. Med tanke på att dagens (vid den här tidningens tryckning) världsrekord är 6,26 m så kan man nästan säga att "the sky is the limit".

Det är dock troligen inte möjligt att springa med hastigheten 12 m/s med stav, och en del av energin som lagras i staven kommer inte heller att kunna återfås som lägesenergi (eller rörelseenergi). För att komma över ribban måste man ha lite rörelseenergi även i hoppets högsta läge och, som vi skall se senare, är det inte rimligt att utföra ett inre arbete motsvarande 3 m. Låt oss därför använda världens genom tiderna snabbaste stavhoppare, Armand Duplantis som exempel.

"Mondo" har uppmätts med hastigheten  $v_1 = 10,5$  m/s då han sätter i staven, samt hastigheten  $v_2 = 1,0$  m/s i högsta läget och en verkningsgrad för staven på 90%. Med de siffrorna kan rörelseenergin som omvandlas till lägesenergi uppskattas enligt

$$0,9 \left( \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} \right) = mgh_1$$

så att  $h_1 = 5,0$  m. Att höja sin tyngdpunkt  $h_2 = 1,5$  m över marken under hoppet är

möjligt med god teknik. Vi ser då att vår uppskattning blir 6,5 m, vilket alltså är i närheten av gällande världsrekord.

FÖR ATT I MER DETALJ förstå vilken fysik som är inblandad i stavhopp kan vi dela upp det i fyra delar: (i) ansats; (ii) uthopp; (iii) sving och (iv) flykt (figur 2).

(i) I ansatsen är målet att skapa så stor hastighet och så hög rörelseenergi som möjligt, men också att lyckas träffa lådan i precis rätt ögonblick. Precisionen är inom ett par centimeter på ett avstånd av 5 m, i en hastighet av 10 m/s! En teknik för att träffa lite enklare och lite stabilare som Armand använder sig av, enligt Greg, är att träffa med staven några centimeter innan lådan. Risken att missa blir då mindre, och eventuella vibrationer i staven som kan göra hoppet instabilt hinner dämpas. Detta är troligen en anledning till Armand nästan alltid hoppar bra.

Men det finns ytterligare sätt att förenkla ansatsen och skapa så mycket fart som möjligt, den så kallade "pole-drop"-tekniken. Det kräver ganska stora krafter för att hålla en 5 m lång stav längst ut i kanten om man skall hålla den stilla. Till exempel kan man tänka sig att staven är 5 m lång, den ena handen hålls längst ut och den andra handen 0,5 m in, och att staven väger ungefär  $m = 5$  kg. Med vridpunkten kring den inre handen blir då kraften på den yttre handen  $F_1$ , med

momentarmen  $l_1 = 0,5$  m, och tyngdkraften  $mg$  med momentarmen  $l_2 = 2,0$  m:  $F_1 l_1 = mg l_2$ , varmed

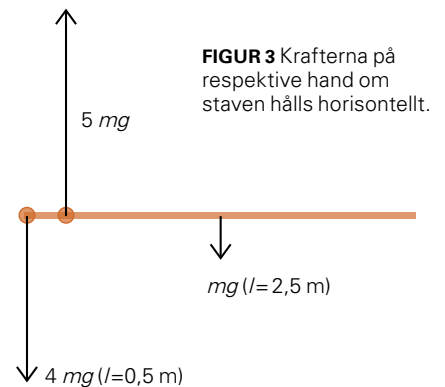
$$F_1 = \frac{mg l_2}{l_1} = 4 mg \text{ (neråt).}$$

Kraften på den andra handen blir  $F_2 = F_1 + mg = 5 mg$  (uppåt) (figur 3).

För att inte behöva hålla staven med dessa ganska stora krafter under ansatsen så börjar stavhopparna med en upprätt stav och de låter sedan staven falla under ansatsen. Då behöver man endast hålla emot med en kraft  $F \approx mg$ , och kan kanske springa lite snabbare. Men konststycket att träffa lådan blir förstås ännu mer imponerande om man låter staven falla under ansatslöpningen.

(ii) Uthoppet är den delen av stavhoppet som ställer högst krav på stavhopparens styrka. Precis när staven slår i lådan gäller det att både trycka ihop staven och skapa rörelse uppåt. Alla nybörjare har någon gång hamnat i ett läge där kraften går rakt genom staven så att den inte böjer sig, rörelsen uppåt är för liten, och kroppen slungas rakt fram i en kraftig inbromsning. Minsta misstag eller felaktig utrustning kan leda till skador – uthoppet är, enligt Greg, den farligaste delen av stavhoppet.

Ett mål med rörelserna under stavhoppet är att skapa en jämn rörelse uppåt. Vi kan uppskatta medelkraften på hopparen under hela stavhoppet med en observation av tiden från isättning till högsta läget, 0,4 s. Rörelsemängden från ansatsen för stavhopparen med massan  $M$  och hastigheten  $v = 10$  m/s är  $\Delta p = Mv$  (horisontellt), och impulsen från tyngdkraften är  $I_g = Mgt$  i vertikalled. ▶



**FIGUR 3** Krafterna på respektive hand om staven hålls horisontellt.

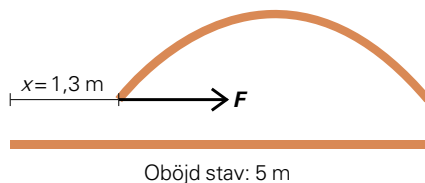
► Impulsen från staven blir under hoppet  $I_{stav} = \sqrt{\Delta p^2 + I_g^2}$  och medelkraften på stavhopparen från staven  $F = \frac{I_{stav}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{\Delta p^2 + I_g^2}}{\Delta t} = \frac{Mg \sqrt{10^2/9,82^2 + 0,4^2}}{0,4} = 3 Mg$ . Med tanke på att kraften är betydligt större i början av hoppet än i slutet så är det enkelt att förstå att det kräver en stark atlet för att klara av ett stavhopp. Prova själv att hänga i ett rep med en kompis hängande i vardera foten. Att dessutom försöka utträta ett lyftarbete motsvarande 3 m under 0,4 s, som vi föreslog i ett teoretiskt stavhopp, är inte rimligt.

Så konsten att i uthoppet få en hanterbar kraft på stavhopparen är avgörande. I uthoppet skapas även förutsättningarna för nästa del av hoppet, nämligen svingen.

(iii) Under svingen gäller det att förflytta kroppen från det nedersta läget till det högsta på ett optimalt sätt. Med ett väl utfört uthopp så skapas ett yttre moment från upphoppet och därmed ett rörelsemängdsmoment. Eftersom rörelsemängdsmomentet (runt den övre handen),  $L = J\omega$ , i stora drag bevaras under svingen gäller det att röra sig på ett så effektivt sätt som möjligt för att nå det högsta läget med kroppen sträckt. Hastigheten i rotationen ökas om hopparen *grupperar* (alltså ”kryper ihop” till en boll) – då minskar tröghetsmomentet, och hopparens rotationshastighet,  $\omega$ , ökar. Detta är samma knep som simhoppare, konståkare med flera använder sig av för att öka rotationshastigheten, och den här delen av stavhoppet kräver extremt god rörlighet och kroppskontroll.

Samtidigt som hopparen roterar gäller det att skjuta ifrån mot staven och utträta så mycket inre arbete som möjligt innan hopparen når det vertikala läget och sträcker ut med fötterna mot himlen.

(iv) Under den avslutande flykten gäller det bara att alla tidigare delarna av hoppet har fungerat väl. Då har staven sträckts ut i ett nästan vertikalt läge och det finns fortfarande lite hastighet horisontellt så att ribban kan passeras på ett ordnat sätt. En riktigt duktigt stavhop-



FIGUR 4 För en hoppare på 80 kg, och en fjäderkonstant på 5 kN/m, trycks staven ihop ca 1,3 m.

pare kan passera ribban med tyngdpunkten en bit under ribban genom att böja benen runt ribban.

AVSLUTNINGSVIS BEHÖVER VI reda ut några detaljer om själva redskapet: staven. I de fysikaliska resonemang som vi fört ovan fungerar staven ungefär som en fjäder. Den gör så att kraften på hopparen blir mindre och den lagrar den energi som man sedan får tillbaka.

Stavar kan vara olika styva, alltså vara olika lätta att böja. Staven fungerar inte som en enkel endimensionell fjäder enligt Hookes lag, utan som en tvådimensionell struktur. För att få ett mått på stavens styvhet så placeras staven mellan två fästen och belastas med 50 lbs = 22,7 kg i mitten. Den utsträckning som erhålls mäts i inch är stavens styvhet så som den anges bland stavhoppare.

Den energi som behöver absorberas av staven beror både på stavhopparens hastighet och på hans massa. Olika stavhoppare behöver alltså olika stavar, även om de skall hoppa lika högt med samma hastighet i ansatsen. Tiden för hoppet, 0,4 s, kan vi anta är cirka en halv periodtid för en harmonisk svängning med en medelfjäderkonstant,  $k$  i ihoptryckningens riktning (figur 4), i en förenklad endimensionell modell. Tiden ges då enligt

$$t = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{M}{k}}$$

För en stavhoppare med massan 80 kg blir då medelfjäderkonstanten  $k = M\pi^2/t^2 = 5 \text{ kN/m}$ . Om vi tänker oss en stavhoppare som kommer in mot staven med rörelseenergin  $Mv^2/2$  och trycker ihop den maximalt sträckan  $x$  så att energin i staven är  $kx^2/2$ , så ges ihoptryckningen enligt

$$x = \sqrt{\frac{M}{k}} v = 1,3 \text{ m (figur 4)}$$

Det är klart att staven och stavens

egenskaper är viktiga för en stavhoppare. Hopparna har vanligen flera olika stavar som de använder, och de väljer alltid styvare stavar när de skall hoppa högre. Hur kommer det sig?

Det är två saker som en stavhoppare önskar från sin stav:

(i) att få en rekyl i precis rätt läge – detta kallar Greg för katapulteffekten. Stavhopparens vertikala rörelseenergi när hen lämnar staven är nämligen ganska stor. Stavhopparen önskar att staven sträcks ut precis samtidigt som hen sträcker ut sig i slutet av sving-fasen. En mjuk stav blir ”seg”, staven är intryckt för länge. Men å andra sidan kan det kännas lite enklare att hoppa med en mjukare stav, eftersom det ger mer tid för genomförandet av hoppet.

(ii) att få precis rätt båge på flyktfasen. Med en för lång hopptid kommer rörelsen framåt att bli onödigt stor och man kommer att landa onödigt långt fram i mattan. Risken att man river ribban på vägen upp ökar också.

Båda dessa önskningar uppfylls av en styvare stav när hastigheten från ansatsen ökar. Och det är ju hastigheten som är det viktigaste för att hoppa högt!

RENT TEORETISKT KAN MAN tänka sig stavhopp på uppåt 10 meter för en stavhoppare med världsrekord i sprintlöpning, styrka och explosivitet som en tyngdlyftningsmästare, rörlighet och koordination som en elitgymnast samt med en stav som är fullständigt elastisk. Vi har här med fysikens lagar kommit fram till några av de viktigaste parametrarna i ett stavhopp och nödvändiga förmågor av en stavhoppare. Och med ännu högre fart och ännu mer inre arbete, med bibehållen teknisk perfektion, kanske det är möjligt för Mondo och andra att ytterligare höja världsrekordet i en av friidrottens mest komplexa grenar. 6,26 m är ett enormt världsrekord, men ”the sky is the limit”.

FREDRIK OLSSON

lektor vid Uddevalla gymnasieskola

ELISABETH RACHLEW

prof.em. fysik, Kungliga Tekniska Högskolan

Ett stort tack till familjen Duplantis!



# När fysiken lurar ögat

Ibland lurar ögat oss, ett välkänt exempel är en blå och svart klänning, eller var den egentligen vit och guldig, betraktad i skugga? För vissa material är det inte ögat som lurar oss utan i stället fysiken som lurar ögat! Är **pumpaföröljan** så brunröd som den ser ut i flaskan, eller friskt ljusgrön som den ser ut att vara där den ligger på yoghurten i väntan på att vi ska blanda klart såsen till kvällens grillmiddag?

Om man söker efter "klänningen" eller "the dress" så är de första träffarna varken kronprinsessans Nobelklänning eller Lady Gagas senaste kreation. I stället är det en optisk illusion som blev viral 2015, med bakgrund i hur olika personer uppfattar färger och olika nyanser. Pumpaföröljans färg är kanske inte lika omdebatterad som den blåsvarta klänningen, men nog så spännande.

Pumpaförö används för att framställa en olja med en karaktäristisk smak som framför allt är populär i Centraleuropa. Smaken är ganska nötig, men friskare än vad nötoljor brukar vara. Den används till dressingar och såser, men också till ett traditionellt smörgåspålägg med det svåruttalade namnet Kürbiskernaufstrich (se recept på nästa sida).

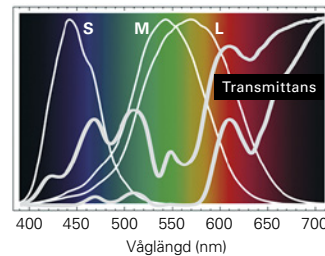
PUMPAFRÖOLJANS KULINARISKA egenskaper är kanske subjektiva, men dess spännande optiska egenskaper är rent objektiva. Oljan ser ut att byta färg när tjockleken på skiktet ändras. I de flesta fall ändras ljusets intensitet enligt Beer-Lamberts lag när tjockleken på materialet ändras (läs mer om Beer-Lamberts lag i *Fysikaktuellt* nr 2/2022). Interferens i tunna skikt leder i och för sig till att det reflekterade ljuset i en oljedroppe på en vattenpöl skimrar i regnbågens alla färger, och vi ser vad som brukar kallas Newtons ringar. Men i pumpaföröljan är det inte interferens som ger oss fenomenet utan dikroism, som beror på oljans absorptionsspektrum. När oljan hälls på den vita ostkrämen blir effekten väldigt tydlig.

I de djupare pölarna har oljan en tydligt röd nyans, medan de tunnare lager där oljan har runnit får en ljusgrön färgskiftning.

Det finns tre tappar i ögat som är känsliga för olika delar av det synliga spektrat (kallade S, M och L, se bild). Vilken färg eller nyans vi upplever att ett föremål har beror på hur ljuset ffrån det fördelas mellan dessa områden.

PUMPAFRÖOLJA HAR TVÅ transmissions-toppar mellan 500 och 550 nm (det gröna området) och en transmissionstopp vid 650 nm (rött). Vi ser i grafen att transmissionstopparnas bredd och transmittans varierar med oljelagrets tjocklek. Skillnaden i transmittans ökar då oljans

I de djupare pölarna har pumpaföröljan en tydligt röd nyans, medan de tunnare lagren får en ljusgrön färgskiftning.



Spektral känslighet för ögats tre tappar (S, M och L) och den uppmätta transmittansen genom två olika koncentrationer av olja, vilket leder till olika nyanser som kan ses på kyvetterna (ovan till höger). För ett tunnare lager, eller mer utspädd olja, stiger de två topparna mellan 500 och 550 nm och nyansen ändras till grönt.



- ▶ tjocklek ökar. Ljuset som passerar ett tunt lager olja har kvar en stor andel som exciterar M-tapparna och upplevs som grönt. Efterhand som tjockleken ökar minskar denna andel, och kvar blir till slut bara de långa våglängderna (L) som vi uppfattar som röda. Därmed får vi ett spännande färgfenomen när vi håller upp oljan, väl i klass med den berömda klänningen.

JOHAN MAURITSSON,  
MATTIAS AMMITZBÖLL  
OCH MALIN SJÖÖ  
Lunds universitet



### Recept på Kürbiskernaufstrich

250 gram Philadelphiaost

1 msk gräddfil för att få lite lösare konsistens

3 msk pumpafröolja

1 liten, hackad vitlöksklyfta

Salt och peppar

1 handfull rostade pumpafrön  
att toppa med

Blanda allt utom fröna, bred på en skiva rostat surdegsbröd och strösslå över fröna. *Fysikaktuellt*s redaktion kan intyga att om något råkar bli över går det också utmärkt att ha det som dipp till morotsstavar.

# Avancerad studieteknik för högre utbildning

Många studenter som påbörjar sina studier på universitet eller högskola har en bristfällig, eller obefintlig, studieteknik, vilket speciellt gäller studenter som haft det väldigt lätt på gymnasiet. Detta leder till dåliga studieresultat, med stress, psykosociala hälsoproblem och avhopp som följd. Vi har därför sedan två år tillbaka introducerat en **kurs i avancerad studieteknik** för studenter på Teknisk fysik och Teknisk matematik på Chalmers.

Studenterna som börjar på Teknisk fysik och Teknisk matematik har väldigt goda studieresultat från gymnasiet och har ofta varit bäst i sina klasser. Deras höga kapacitet har gjort det möjligt för dem att klara gymnasiestudierna utan något strukturerat angreppssätt, och speciellt inom fysik och matematik har det ofta varit tillräckligt att plugga kvällen innan ett prov eller inte plugga alls. I det avsevärt högre tempot på universitetet eller högskolan fungerar dock inte detta; andelen underkända studenter på de två inledande matematikkurserna (Inledande matematisk analys och Linjär algebra) var 48 % respektive 55 % under 2023/24. Detta innebär att en betydande andel studenter blev underkända i båda de inledande kurserna i matematik, vilka ligger till grund för i princip alla följande kurser, och detta är studenter som tidigare i de flesta fall haft högsta betyg.

Efter att i tio år undervisat inledande mekanik direkt efter dessa matematikkurser har jag (Ulf Gran) sett den stress och minskade entusiasm för studierna som denna tuffa start medför, och som

**Deras höga kapacitet har gjort det möjligt för dem att klara gymnasiestudierna utan något strukturerat angreppssätt**

säkert är en faktor bakom den stora andelen avhopp (30–50 %) från dessa utbildningar. Men jag har även kommit till insikten att det i många fall är studietekniken som är den svaga länken, och att lära studenterna studieteknik skulle alltså kunna mildra många av problemen ovan.

DE FLESTA UNIVERSITET och högskolor i Sverige har någon typ av satsning på studieteknik, men ofta är det i form av självstudier kopplat till en enstaka föreläsning, och vanligen i form av enkla tips istället

för en komplett metod. Vår uppfattning, efter diskussioner med en stor grupp studenter, är att denna typ av satsningar har mycket begränsad effekt.

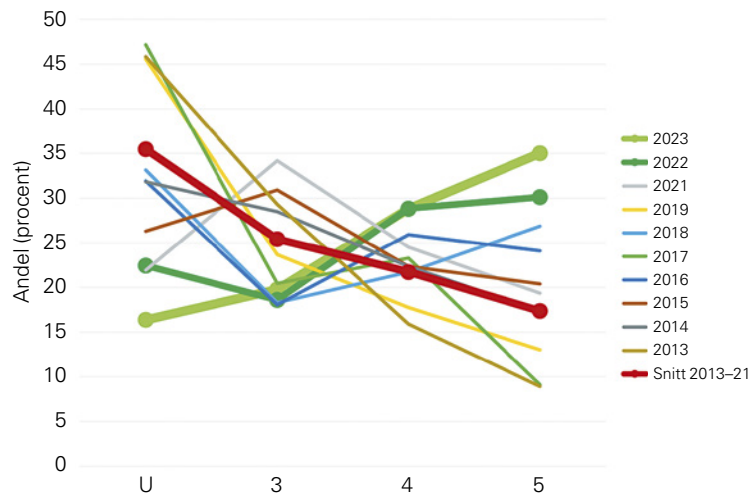
Hösten 2022 började vi därför samarbeta med Daniel Benjaminsson, en tidigare student på Teknisk fysik som nu lär ut avancerad studieteknik genom sitt bolag UnQap. Vi har tillsammans skapat vad vi tror är den mest ambitiösa kursen i studieteknik inom högre utbildning i Sverige. Kursen är integrerad med kursen i inledande mekanik, vilket möjliggör enkla och konkreta tillämpningar av studieteknikerna. Kursen i studieteknik består totalt av 12 föreläsningar (å 2 × 45 minuter) spridda över trekvarts läsår för att ge tid för teknikerna att sätta sig. Målet är dels att studenterna ska höja sitt studieresultat, dels att de ska kunna klara kurser utan att lägga ner för mycket tid, och därmed ha tid över för en aktiv fritid, vilket är viktigt för den psykosociala hälsan. Vi kommer nu beskriva mer i detalj hur kursen i studieteknik är uppbyggd.

**FÖRSTA STEGET** är att analysera lärandemålen för den kurs man ska gå för att se vad som är viktigast. Detta eftersom tiden man kan lägga ner är begränsad.

Andra steget är att gå igenom ett stort antal gamla tentor för att säkerställa att de fokusområden man identifierat från lärandemålen stämmer med examinationen. I detta steg sorterar man även in tentaproblemen under respektive lärandemål för senare studier. Notera att studenten i detta läge inte kan ämnet, eller kan lösa uppgifterna, men redan har en klar bild över vad hen behöver lära sig och hur de viktiga koncepten i kursen kombineras i examinationen. Ett mål med att på detta sätt fokusera på det som är viktigast är att man kanske redan halvvägs genom kursen känner att man kommer kunna klara tentan, istället för någon dag innan tentan – vilket är något många studenter vittnar om. Detta har en stor inverkan på studenternas stressnivåer, särskilt när de märker att teknikerna fungerar och vågar lita på dem.

Nästa steg är att samla på sig kunskap om de identifierade fokusområdena genom till exempel föreläsningar, räkneövningar och studier av kurslitteraturen.

### Betygsfördelning Mekanik 1 – statik



**FIGUR 1** Betygsfördelning på det första deltentan i kursen Mekanik 1 mellan år 2013 och 2023 (2020 utelämnat på grund av tentamen över Zoom under covid-19). Resultaten under 2022 och 2023, efter satsningen på studieteknik, är markant bättre både vad avser andelen högre betyg och andelen underkända.

De metoder och fakta som studenterna samlar på sig under kursen organiseras i en tankekartor, vilken tydliggör hur olika begrepp och lösningsmetoder hänger samman vilket ökar förståelsen av kursmaterialet. Sista steget är att memorera tankekartan med loci-metoden, där man organiserar det man vill minnas genom att visualisera det i så kallade "minnespalats".

**VAD GÄLLER RESULTATET** av satsningen på studieteknik så är det svårt att få ett exakt mått på detta, men det finns ett antal indikationer som vi tycker ger en ganska tydlig bild. Av etiska skäl tillät vi alla studenter ta del av satsningen så vi har ingen kontrollgrupp. Första året (2022) deltog ungefär halva studentgruppen, det vill säga 70–80 studenter, i studieteknikkursen. Kursen var frivillig, då tvång ofta uppfattas som negativt. Andra året (2023) deltog ca 170 studenter, men vi vet inte exakt vilka då kursen var öppen för alla studenter.

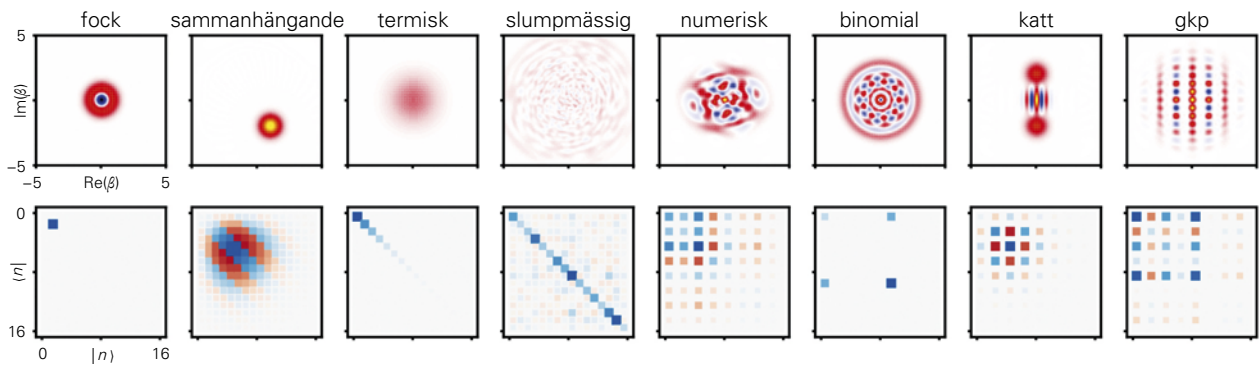
Det vi kan göra är att jämföra betygen för alla studenter på första deltentan i mekanikkursen, då studenterna haft sex lektioner studieteknik, mellan 2013 och 2023 (med undantag för 2020 då examinationen hölls över Zoom på grund av covid-19). Betygen visas i figur 1, och visar dels en förskjutning mot högre betyg efter

studietekniksatsningen, och även klart färre underkända på kursen, indikerat av U i figuren. För att utesluta att studentgrupperna 2022 och 2023 var starkare än vanligt har vi jämfört resultaten i de två inledande matematikkurserna, och de visar inget tecken på detta. Studenterna har i kursutvärderingarna varit mycket positiva till studietekniksatsningen, sagt att de känt sig mindre stressade och gett ett tydligt stöd till att fortsätta satsningen. Cirka ett femtiotal studenter har även spontant mejlat och uttryckt att teknikerna varit till hjälp i deras studier.

**GIVET HUR EFFEKTIV** denna satsning på studieteknik verkar ha varit så kan man undra varför inte mer tid i grundskolan läggs på att lära studenterna grundläggande studieteknik. Så lite som sex tvåtimmarslektioner om avancerad studieteknik förbättrar studenternas lärande och psykosociala hälsa, och kan även ha positiva effekter för deras livslånga lärande och karriär.

ULF GRAN  
Chalmers tekniska högskola

DANIEL BENJAMINSSON  
UnQap



**FIGUR 1** Wignerfunktioner (överst) för bosoniska kvanttillstånd som kan vara av intresse för kvantinformation och kvantberäkningar. Tillstånden beskrivs av komplexvärda täthetsmatriser (nederst). Mätbara storheter i ett experiment, till exempel förskjutet paritet,

kan ordnas så att de bildar dessa Wignerfunktions-representationer, som bildar vackra mönster. Dessa mönster kan i sin tur läras in av en maskininlärningsalgoritm, till exempel neurala nätverk, för att möjliggöra effektiv uppskattning av täthetsmatrisen från brusiga data.

## AVHANDLINGEN

# Maskininläring och kvantsystem

Maskininläring håller på att utvecklas till ett kraftfullt verktyg för att lära sig av data och därigenom tackla komplexa fysikaliska problem. **Shahnawaz Ahmed** undersökte i sin avhandling hur sådana inlärningsalgoritmer kan användas för att lösa problem inom kvantfysiken – från snabb karakterisering av kvantsystem med brusiga data till att rekonstruera en fotoelektrons kvanttillstånd med forskare från den Nobelprisvinnande fysikern Anne L’Huilliers grupp i Lund.

Carl Fredrich Gauss beräknade 1801 med hjälp av sin minsta-kvadratmetod för anpassning banan för dvärgplaneten Ceres, som försvann i solens sken efter att ha följts i 40 dagar. Gauss var tvungen att uppskatta sex parametrar för banan utifrån endast 19 datapunkter, som dessutom innehöll slumpmässiga mätfel. Med tiden fulländade han sin algoritm, som blev så effektiv att den bara krävde tre datapunkter. Hela banor för nyupptäckta kometer kunde beräknas på en timme, jämfört med tidigare metoder som krävde tre dagars beräkningar. Därmed blev det möjligt för astronomerna att spåra kometerna innan de hann ”försvinna” på himlavalvet.

På samma sätt måste kvantsystemets tillstånd ”spåras” och rekonstrueras från

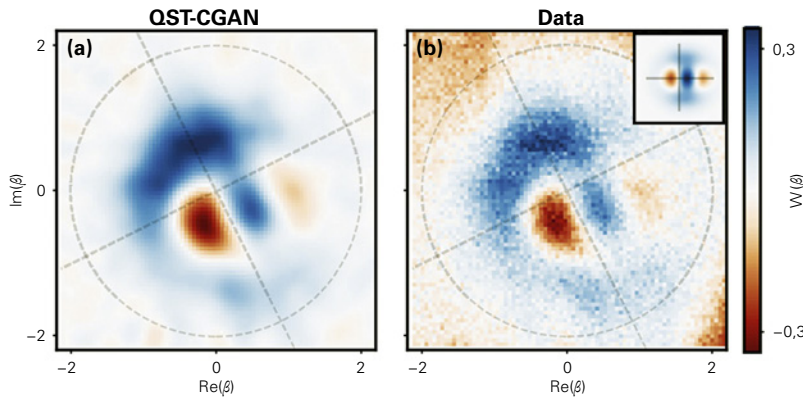
### Machine learning for quantum information and computing

- Författare: Shahnawaz Ahmed
- Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2023
- ISBN: 978-91-7905-915-6
- Länk till avhandlingen: [research.chalmers.se/publication/539445/file/539445\\_Fulltext.pdf](https://research.chalmers.se/publication/539445/file/539445_Fulltext.pdf)
- Handledare: Anton Frisk Kockum, docent, Tillämpad kvantfysik, Mikroteknologi och nanovetenskap, Chalmers.



brusiga data när man kör experiment på kvantdatorer på till exempel Chalmers, detta för att kunna bedöma nivån av kontroll över och precision i kvantsystemet. Rekonstruktionsuppgiften, som också kallas *kvanttomografi*, blir data- och beräkningsmässigt dyr när kvantsystemets storlek ökar. Antalet parametrar som måste uppskattas växer exponentiellt med systemets storlek, och databehandlingen kan ta från dagar till veckor – till och med mer tid än själva experimentet. Kvanttillstånd har dock vissa egenskaper, symmetrier och särdrag som bildar mönster i de uppmätta data. Dessa mönster kan utnyttjas och läras in av maskininlärningsalgoritmer (figur 1).

I ett experiment kan flera saker gå fel



**FIGUR 2** Wigner-funktion (vänster) rekonstruerad av ett villkorligt generativt motståndarnätverk (Conditional Generative Adversarial neural Network, CGAN) under ett kvanttillståndstomografiskt experiment efter att ha tränats på experimentdata till höger. Det experimentellt skapade tillståndet skiljer sig från originalet (infällt) men behåller sina karakteristiska egenskaper. CGAN-metoden kunde lära sig detta tillstånd från en liten delmängd om ca 600 datapunkter av de uppmätta ca 6 000 datapunkterna, vilket ledde till en storleksordning av förbättring av nödvändiga data.

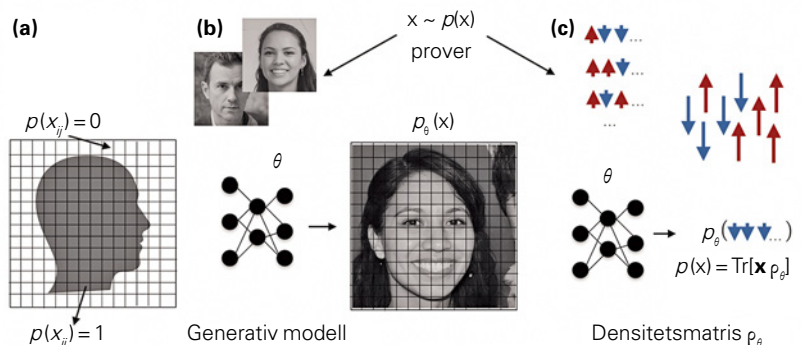
och därför kan det faktiska kvanttillstånd som produceras skilja sig från det förväntade tillståndet. I figur 2 visar experimentdata till höger hur ett visst binomialt kvanttillstånd förvrängs i ett experiment. Viktiga egenskaper hos det ursprungliga tillståndet – i form av de två kidneybönformade regionerna – finns dock fortfarande kvar. Sådana egenskaper kan vara lätta att identifiera för en mänsklig fysiker, men hur lär vi en algoritm att tillståndet fortfarande är detsamma?

Ett liknande problem med att få algoritmer att lära sig mönster och karakteristika löses av djupa neurala nätverk inom maskininläring. I många fall kan kärnan i verkliga data inte fångas i en enkel matematisk modell – vilken modell definierar till exempel den underliggande fördelningen av pixelvärden i en uppsättning bilder som representerar mänskliga ansikten? Det kanske inte är möjligt att skriva ner en formel för fördelningen, men neurala nätverk kan fånga den underliggande fördelningen av data och utifrån den göra urval för att skapa nya, osedda data, till exempel fotorealistiska människoansikten (figur 3).

UNDER DEN FÖRSTA DELEN av min doktorandtid arbetade jag med att tillämpa generativ maskininläring för att lära mig täthetsmatriserna för kvanttillstånd med så lite data som möjligt. Vi använde neurala nätverk för att modellera kvant-

tillstånd och lära oss deras representation från observerade data på samma sätt som de skulle lära sig från verkliga bilddata. En särskild utmaning var att få ett neuralt nätverk att mata ut täthetsmatriser som både var fysikaliskt meningsfulla och som hade matematiska egenskaper som till exempel hermiticitet. Vi åstadkom detta genom att skapa en hybridmodell där nätverksutdata begränsades för att följa sådana fysikaliska begränsningar.

Resultatet var en metod som konsekvent rekonstruerade tillstånd med högre exakthet, men med 100 gånger färre iterationer och ca 10 gånger färre datapunkter jämfört med andra toppmoderna metoder, som förlitar sig på maximal sannolikhetsuppskattningsteknik i simulerade exempel.



**FIGUR 3** Generativ modellering använder dataprover för att approximera komplexa sannolikhetsfördelningar, till exempel fördelningen av pixelvärden som genererar mänskliga ansikten. När modellen väl är inlärdd kan den producera nya, realistiska prover. På samma sätt kan neurala nätverk inom kvantfysiken effektivt approximera täthetsmatrisen  $\rho$  för ett kvanttillstånd och göra det möjligt att förutsäga mätresultat med hjälp av Born-regeln (som ger sannolikheten att en mätning av ett kvantsystem ska ge ett visst resultat).

Dessutom visade vi att vi kan för-träna modellen på klasser av kvanttillstånd för att uppnå hög exakthet med engångsrekonstruktion – där modellen helt enkelt ser data en gång och förutsäger dess täthetsmatris. Vi samarbetade sedan med experimenterare på Chalmers som studerade genereringen av icke-klassiska kvanttillstånd. Tillsammans med dem kunde vi visa att den generativa inlärningsmetoden ledde till en betydande minskning av antalet datapunkter som behövs för tomografi, vilket potentiellt kan minska experimenttiden med en storleksordning.

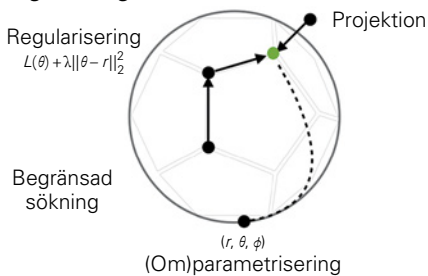
NÄSTA PROBLEM VAR att lära sig kvantprocesser – en uppgift som är ännu mer dataintensiv än att lära sig representationen av kvanttillstånd. I det här skedet blev jag alltmer obekvämd med att använda neurala nätverk som var ”svarta lådor” för att lösa ett i praktiken mycket strukturerat fysikproblem. Kvanttillstånd och kvantprocesser har väldefinierade matematiska egenskaper, och för att lära sig att representera dem utifrån data borde inte svartlåde-modeller som neurala nätverk behövas. Med detta i åtanke tog jag bort det neurala nätverket från algoritmen när jag arbetade med att tillämpa generativa maskininlärningsmetoder på problemet med kvantprocessstomografi. I stället lärde jag mig så kallade Kraus-operatorrepresentationer av kvantprocesser.

En ny utmaning uppstod nu när Kraus-operatorrepresentationen inte enkelt kunde begränsas till att följa de fysikaliska

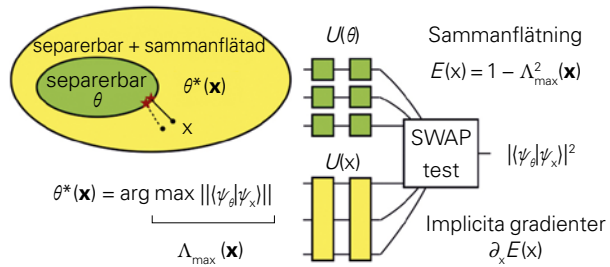
► egenskaper som kvantprocesser bör följa. Kvantprocesser representerar den fysiska omvandlingen av kvanttillstånd och måste därför vara helt positiva och spårbevarande (Completely Positive and Trace-Preserving, CPTP) avbildningar. Kraus-operatorer säkerställde fullständig positivitet genom sin konstruktion, men TP-villkoret visade sig vara svårt att upprätthålla. Det var möjligt att straffa överträdelser av TP-villkoret (regularisering), men det var fortfarande inte tillräckligt för att framtvunga det. Modern maskininläring med djupa neurala nätverk står inför liknande problem för att säkerställa att nätverkets utdata följer vissa villkor (figur 4).

Lösningen blev inte att begränsa modellen (med till exempel en omparametrisering) utan att modifiera inlärningsalgoritmen så att lösningar hittas genom att begränsa sökrummet för parametrar. Jag upptäckte området *Riemanniansk optimering* där en inlärningsalgoritm bara utforskar parametrar från en lösningsmångfald som följer vissa egenskaper. TP-villkoret kan översättas till att man söker inom uppsättningen ortonormala matriser som bildar den så kallade *Stiefelmångfalden*. Med några rader kod som implementerar en algoritm för optimering av denna mångfald kunde jag på en vanlig laptop rekonstruera kvantprocessmatriser för

## Begränsningar



**FIGUR 4** Olika sätt att säkerställa att en modell följer randvillkor när den lär sig från data. Vi kan reglera genom att lägga till strafftermer för brott mot randvillkor, projicera lösningar till uppsättningen möjliga tillstånd, till exempel punkter på ytan på en sfär, omparametrisera modellen så att vi söker obegränsade lösningsparametrar eller anpassa inlärningsalgoritmen så att den bara söker i en begränsad mångfald som följer de önskade randvillkoren. I fysikaliska problem är det avgörande att säkerställa att lösningar från maskininlärningsmodeller följer fysiska randvillkor.



**FIGUR 5** Ett geometriskt mått på sammanflätning definierar sammanflätningen för ett variationstillstånd med hjälp av en optimering över alla möjliga separerbara (icke-sammanflätade) tillstånd. Detta sammanflätningmått har därför ingen analytisk form, så det är inte möjligt att beräkna gradienten analytiskt. Implicit differentiering kan dock beräkna denna gradient och kan användas för att optimera parametrarna för en VQA för att skapa sammanflätade tillstånd på ett heuristiskt sätt.

kvantsystem med upp till 5 kvantbitar inom 10 sekunder.

Detta var mycket snabbare än flera tidigare metoder som förlitade sig på konvexa optimeringstekniker. Ett resultat av en så snabb rekonstruktionsmetod är att process-tomografi-experiment som inte hade varit möjliga tidigare nu blev genomförbara. Vi samarbetade till exempel med en annan experimentgrupp för att föreslå den första omfattande karakteriseringen av kvantoperationer på bosoniska felkorrigeringsskoder.

SAMTIDIGT SOM JAG ARBETADE med sådana inläringstekniker på Chalmers började fysiker från hela världen att använda maskininläring för att lösa fysikproblem på liknande sätt. Eftersom vi alltid har öppen källkod för all vår kod och alla våra algoritmer fick vi uppmuntrande e-postmeddelanden från andra som kunde använda de tekniker som vi utvecklat för att lösa sina problem. Vi inledde ett samarbete med fysiker från Japan som ledde till att våra metoder användes för tomografiexperiment för Wigner-funktioner för två tillstånd. Vi såg många möjligheter att tänja på gränserna för experimenten genom att minska de data och beräkningar som krävs i kvanttomografiexperiment.

En sådan möjlighet dök upp i Lund, där Anne L’Huilliers grupp för första gången någonsin genomförde en tomografi av en fotoelektrons kvanttillstånd. Men de stod inför betydande utmaningar när de skulle analysera data. Experimentella brister och fel gjorde att många anpassningstekniker var olämpliga för att rekonstruera täthets-

matrisen för fotoelektronens tillstånd. Vid det laget hade jag fördjupat mig i Bayesianska maskininläringstekniker, som kunde arbeta med mycket brusiga data och ge feluppskattningar som inte var så lätta att få fram med de metoder som jag hade provat hittills. Vi kunde utforma en inlärningsalgoritm baserad på Bayesiansk skattning som gjorde det möjligt för experimentgruppen i Lund att analysera och rekonstruera fotoelektronens kvanttillstånd med felskattningar.

MOT SLUTET AV MIN doktorandtid blev jag intresserad av hur kvantdatorer skulle kunna förbättra maskininläring. Jag lyckades få ett stipendium för att åka till Kanada och arbeta med professor Juan Carrasquilla från Vector AI Institute och Nathan Killoran från det nystartade kvantdatorföretaget Xanadu. Projektet handlade om variationella kvantalgoritmer (Variational Quantum Algorithms, VQA), som är utformade för att lösa optimeringsproblem på kvantdatorer. Dessa algoritmer fungerar genom att parametrisera kvantkretsar, och sedan använda en klassisk dator för att optimera dessa parametrar för att hitta lösningar på problem som till exempel att hitta energin i grundtillståndet för ett kvantsystem.

En idé från klassisk maskininläring som kallas *implicit differentiering* skulle potentiellt kunna förbättra VQA:ernas kapacitet. Implicit differentiering gör det möjligt att beräkna gradienter – förändringar i lösningen med avseende på förändringar i problemet – utan att det krävs omfattande minnesresurser. Detta är särskilt

användbart i kvantberäkningar, där det kan vara opraktiskt att lagra alla mellanliggande steg i en beräkning på grund av den stora mängd data som är inblandad. Vi hittade tre potentiella tillämpningar av implicit differentiering som skulle kunna göra det möjligt att lösa problem i allt från kondenserade materiens fysik till att skapa sammanflätade kvanttillstånd.

Tanken var att köra en kvantklassisk hybridalgorithm som använder implicit differentiering för att hitta gradienten för grundtillståndsegenskaper hos ett kvantsystem med avseende på Hamilton-parametrarna. Sådana gradienter, till exempel generaliserade susceptibiliteter, är svåra att beräkna. Men med en kvant dator, som använder implicit differentiering, blir dessa gradienter lätta att uppskatta genom en VQA.

Dessutom kan vi utforma en algoritm som använder implicita gradienter beräknade på en kvant dator för att skapa sammanflätade kvanttillstånd (figur 5). Algoritmen, även om den var en enkel heuristik, kunde skapa maximalt sammanflätade Bell-tillstånd med utgångspunkt från alla ursprungliga icke-sammanflätade tillstånd genom att helt enkelt spela ett min-max-spel.

**SAMMANFATTNINGSVIS** VISAR min avhandling hur sammanslagningen av maskininläring och kvantfysik kan leda till betydande framsteg inom båda områdena. Genom att utveckla nya algoritmer och tekniker som utnyttjar styrkorna hos både klassiska och kvantberäkningar kan vi övervinna några av de mest utmanande hindren inom kvantinformativvetenskap. När vi fortsätter att utforska möjligheterna med kvantmekanisk maskininläring finns det en enorm potential för banbrytande upptäckter både inom fysiken och bortom den.

SHAHNAWAZ AHMED  
Chalmers tekniska högskola

Tack till Anton Frisk Kockum  
för översättningsstöd.

# Kombinerat intresse tog honom till Sverige

**Shahnawaz Ahmeds** genuina intresse för tillämpningar av maskininläring inom kvantfysikområdet har tagit honom från Assam och Goa i Indien via Riken i Tokyo till Göteborg.

Jag träffar Shahnawaz i slutet av sommaren på Chalmers. Det är en mycket aktiv och sportig ung man som cyklar mycket och tränar cross-fit. Han förklarar att det är något han har inspirerats till av sina svenska kollegor, för vilka träning verkar vara en självklarhet. Sommaren gav också möjlighet för olika utflykter, en seglings-tur i Kroatien, och vandring i Italien. Nya aktiviteter på gång hela tiden.

Shahnawaz vetenskapliga resa började i Assam i nordöstra Indien. Intresset för fysik och ingenjörsutbildning tog honom den långa vägen till Goa där han läste sin grundutbildning. Mot slutet av denna fick han syn på en annons om en tjänst som forskningsingenjör vid Riken i Japan. Jobbet innehöll programmering med inriktning mot kvantfysik. Vid intervjun kom man emellertid fram till att det vore än mer värdefullt om han kunde göra sitt mastersarbete vid detta nationella forskningsinstitut.

Sagt och gjort, Shahnawaz flyttade till Japan 2017 och trivdes mycket bra. På plats vid Riken fick han också kontakt med Anton Frisk Kockum, som berättade om hur det var att vara doktorand i Sverige. Shahnawaz projekt var rent teoretiskt och intresset för kombinationen av maskininläring och kvantfysik fick honom att via Google prenumerera på artiklar och nyheter som inkluderade båda dessa komponenter. En sådan träff dök upp då Chalmers började annonsera ut tjänster inom Wallenberg Center for Quantum Technology (WACQT, se till exempel *Fysikaktuellt* nr 1/2024). Tjänsten söktes och Shahnawaz började 2018 som doktorand för Göran Johansson. Efter en tid blev emellertid Anton huvudhandledare. Projektet förflöt mycket väl och en positiv



Shahnawaz Ahmed på en av sina resor.

sak Shahnawaz gärna nämner är vilket brett kontaktnät han har fått, både nationellt och internationellt. Han har fortfarande samarbeten igång sedan sin doktorandtid.

Under sin tid i Göteborg träffade Shahnawaz den person som numer, sedan en månad före disputationen i september 2023, är hans fru. De fann varandra på ett studentkafé som ordnade en brädspelskväll.

Idag arbetar Shahnawaz på en Göteborgsbaserad start-up, Embedl, med tjugotalet anställda. Företaget arbetar med maskininläring och Shahnawaz har där en forskarroll med huvudsaklig fokus på algoritmutveckling, men får också göra företagspresentationer för kunder och andra spännande arbetsuppgifter. Företaget hjälper bland annat till med utveckling av självkörande bilar och olika former av stödfunktioner till bilförare. Det handlar mycket om hur skapade modeller kan appliceras på ett snabbt sätt.

Var Shahnawaz befinner sig om fem år vet han inte riktigt. Han hoppas ändå på att det på något sätt är kopplat till forskning med tillämpning av maskininläring och artificiell intelligens, oavsett om det är för ett start-up eller inom akademien. Detta naturligtvis med utrymme för ett gott familjeliv. *Fysikaktuellt* önskar Shahnawaz all lycka i framtiden.

JONATHAN WEIDOW  
Chalmers tekniska högskola

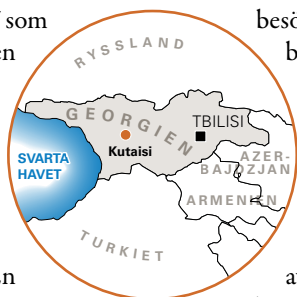
# Svenskt brons på populär fysikolympiad

Den åttonde upplagan av den europeiska fysikolympiaden (**EuPhO**) gick av stapeln i Georgien i mitten av juli, och lockade rekordmånga deltagare.

Tävlingen startade 2017 som ett komplement till den internationella fysikolympiaden (IPhO) och blev i år för första gången större än IPhO – med 256 deltagare från hela 55 länder, europeiska som utomeuropeiska gästländer. En av anledningarna till det stora intresset för tävlingen var att många länder, däribland Sverige, av säkerhetsskäl tvingades avstå från deltagande i IPhO som detta år arrangerades i Iran. I den höga internationella konkurrensen lyckades Markus Farnebäck kamma hem ett brons för Sverige! Utöver de fem deltagarna skickade Sverige i år även fem lagledare/observatörer, detta med anledning av det förestående EuPhO-arrangemanget i Sverige 2026 (mer om detta på s. 4).

## På plats i Georgien

För samtliga svenska deltagare blev årets europeiska fysikolympiad det första



besöket i denna forna Sovjetstat, belägen i södra Kaukasus på gränsen mellan Europa och Asien. Georgien, eller Sakartvelo ("Kartvelernas land") som det heter på det inhemska språket, präglas fortfarande på många sätt av sin sovjetiska historia och ligger i konflikt med Ryssland

om två av sina tolv regioner. Det bör dock noteras att de områden som besöktes under olympiaden anses vara säkra att vistas i. De blott fyra miljoner invånarna i landet har ett helt eget, fonetiskt alfabet som består av 33 bokstäver och domineras av konsonanter; endast fem vokalljud existerar i språket. Under våra resor genom Georgien roade vi oss med att lära oss läsa detta, för oss nya, skriftspråk.

Olympiaden hölls i Georgiens tredje största stad Kutaisi, men då det förelåg vissa svårigheter att finna lämpliga flygavgångar reste vi via huvudstaden Tbilisi och fick därmed även möjligheten att uppleva mer

av vad landet hade att erbjuda. Vi bussades runt på utflykterna av skickliga chaufförer som manövrerade förbi kor, en vanlig syn på och längs med landsvägar och gator. En annan vanlig syn på gatorna som utmärkte sig var hemlösa hundar som tiggde mat och uppmärksamhet från turister. Under utflykterna fick vi uppleva den spektakulära naturen i södra Kaukasusbergen, besöka ett par olika kloster och ta del av den generösa georgiska matkulturen. Maten präglas av ett överflöd av bröd, ost, grillat kött och grönsaker, och ett särskilt uppskattat inslag för de svenska deltagarna blev den inhemska dragonlaskan som får sin giftgröna färg från gult tartrazin i kombination med ett mörkblått triarylmetyanfärgämne.

## Arrangemanget

Det var Kutaisi International University som stod värd för arrangemanget, och trots att de byggt upp en tradition av att organisera en internationell vetenskapstävling varje sommar sedan universitetets grundande år 2020 präglades årets europeiska fysikolympiad av en slående brist på information. Arrangemanget flöt ändå på relativt bra, även om det experimentella provet försenades med en och en halv timme på grund av problem med distributionen av de översatta uppgiftstexterna. Förseningar och informationsbrist till trots blev olympiaden en minnesvärd erfarenhet och deltagarna var nöjda.

"Upplevelsen var väldigt spännande och rolig! Det bästa var att träffa alla nya människor", berättade Jack Collier Ryder från Minerva gymnasium i Umeå.

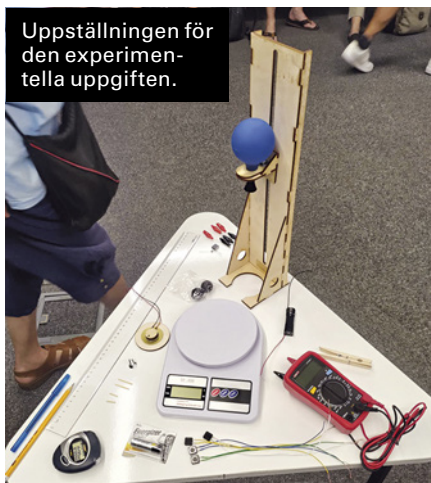
## Uppgifterna

I vanlig ordning bestod tävlingsmomentet av en teoretisk och en experimentell del.

Besöket bjöd på diverse utflykter, där deltagarna bland annat fick se ett gammalt kloster och hästar betandes bland bergen. En favorit blev den gröna dragonlemonaden, som Alvin Sundberg, Teo Alvånger och Markus Farnebäck avnjuter på bilden till höger.







Den svenska delegationen. Från vänster: Oskar Vallhagen, Erik Bryland, Alvin Sundberg, Jack Collier Ryder, Markus Farneback, Sixten Lindhagen, Teo Alvånger, Julia Järlebark, Anne-Sofie Mårtensson och Max Kesselberg.

På den europeiska fysikolympiaden finns en internationell akademisk kommitté som under ledning av Jaan Kalda tar fram det teoretiska provet, medan arrangörlandet i samråd med kommittén utvecklar experimentuppgifterna. Arrangören hade detta år valt att låta det experimentella provet bestå av endast en uppgift, där deltagarna dels skulle arbeta med delvis elastiska kollisioner, dels med kapacitans och piezoelektricitet.

De tävlande fick först ta reda på elasticiteten hos en studsboll samt ladda upp och ur en kondensator och ett piezoelektriskt element för att bestämma deras kapacitans. Därefter skulle två studsbollar med olika elasticitet släppas på det piezoelektriska elementet för att undersöka bollarnas deformation och interaktionstid under kollisionen med piezon. Denna uppgift ledde, inte helt oväntat, till att provvakterna fick agera "bollkallar" och hämta upp vilsna studsbollar runtom i provlokalerna.

"Det var intressanta men svåra uppgifter." tyckte Alvin Sundberg från Uddevalla gymnasieskola, som särskilt uppskattade årets teoriuppgifter. I den första teoriuppgiften betraktades en glidande puck på ett horisontellt plan som träffar på en halvcirkelformad vägg och glider längs med denna medan denna, påverkad av friktion mellan puck och vägg. Uppgiften handlade om att beräkna puckens hastighet då den lämnar väggen. Den andra uppgiften behandlade det spännande ämnet relativistiska rymdresor och återges i sin helhet här bredvid. I de tredje

och sista uppgiften betraktades en Fabry-Pérot-interferometer, där en laserstråle reflekteras mellan två delvis reflekterande speglar. Här skulle bland annat följande frågor besvaras: Hur stort blir fasskiftet för laserstrålen då den passerar en av speglarna? Vad händer om lasern plötsligt stängs av?

### Resultatet

När poängen räknats samman visade sig svårighetsgraden jämförbar med de senaste årens europeiska fysikolympiader, där en poäng på 43 av 50 räckte för vinst. Vann gjorde Rares-Felix Tudose från Rumänien, och även andra och tredje bästa europé var rumäner. Om vi även räknar in gästande utomeuropeiska nationer placerade sig USA på andra och tredje plats (samtliga resultat hittar du på [eupho.ee/eupho-2024](http://eupho.ee/eupho-2024)). För svensk del lyckades Markus Farneback från Berzeliusskolan i Linköping med en

mycket fin prestation och belönades med en bronsmedalj! Märkligt nog delades inga hedersutnämningar ut i år, vilket brukar vara kutym på internationella olympiader.

Nästa år arrangeras EuPhO i Bulgariens huvudstad Sofia, och därefter har turen kommit till Sverige. Det kan även nämnas att nästa års internationella fysikolympiad (IPhO) kommer att gå av stapeln i Frankrike och därmed kommer vi att kunna skicka ett lag till både den europeiska och den internationella olympiaden nästa år.

Stort tack till Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond som gör det möjligt för oss att delta vid internationella olympiader, samt att hålla in träningar för det svenska olympiadlaget.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON,  
ERIK BRYLAND, JULIA JÄRLEBARK,  
MAX KESSELBERG OCH OSKAR VALLHAGEN  
Lagledare

### Teoriuppgift 2: Rymdresor

Alice och Bob är två tvillingastronauter som är ute på långa rymduppdrag. Efter många år börjar de äntligen närma sig varandra. Alices rymdskepp rör sig mot Bobs med farten  $v = 3/5c$ , där  $c$  är ljusfarten. Under tiden som de närmar sig varandra skickar de presenter till varandra. Alice skickar regelbundet presenter med tidsintervallet  $\Delta t_0$  i sitt eget referenssystem. Varje present rör sig med hastigheten  $v = 4/5c$  (i hennes referenssystem). På motsvarande sätt skickar Bob presenter till Alice med tidsintervallet  $\Delta t_0$  i hans eget referenssystem. Hans presenter rör sig med hastigheten  $v = 4/5c$  i

hans referenssystem. Anta att avståndet  $L$  mellan Alice och Bob är så stort att det vid varje givet ögonblick finns många presenter på väg mellan dem.

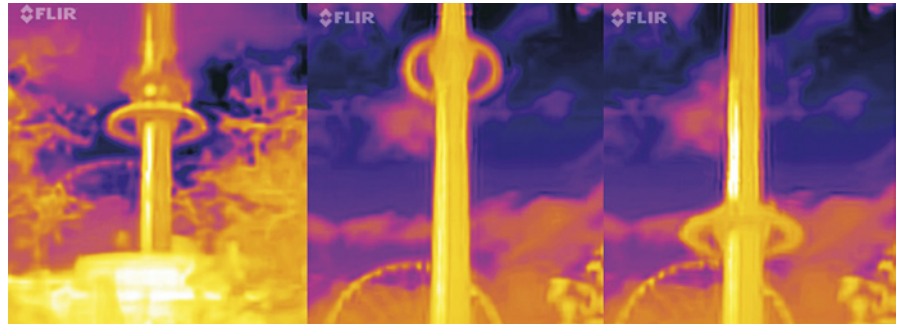
a) Bestäm i Bobs referenssystem:

- (i) avståndet mellan två på varandra följande presenter från Alice, samt
- (ii) det tidsintervall med vilket dessa presenter från Alice anländer till Bob.

b) I ett visst ögonblick kan Alice se ett antal presenter röra sig bort från henne och ett antal presenter som rör sig mot henne. Vad är kvoten mellan dessa antal?



FIGUR 1 Vatten far ur muggen i fritt fall.



FIGUR 2 Bromsfenornas varierande temperatur under en tur i AtmosFear på Liseberg.

# Lärande i fritt fall

Under september har tusentals elever fått uppleva fritt fall på Gröna Lund, Tivoli eller Liseberg. Många har säkert också fått med sig data hem för att analysera i skolan, både från torn och andra åkattraktioner. Denna artikel tar upp mätningar och observationer från några olika situationer, dels fritt fall i höga torn, dels inbromsningar i slutet av en åktur. Har man inte tillgång till en **nöjespark** kan man också prova att mäta acceleration när man hoppar studsmatta.

**D**en som kommer vattenvägen till Gröna Lund i Stockholm ser direkt de höga tornen. Närmast vattnet står Katapulten, där man först skjuts uppåt med luft, landar mjukt, studsar några gånger innan man dras hela vägen upp, väntar en stund och sedan skjuts nedåt och åter studsar några gånger. Den andra delen av åkturen är analog med turen i Gyldne Tårn på Tivoli i Köpenhamn, eller det man fick uppleva i Höjdskräcken på Liseberg. Har man med sig lite vatten i en mugg flyger det ut, när man själv accelererar nedåt snabbare

än vattnet, som ”bara” befinner sig i fritt fall.

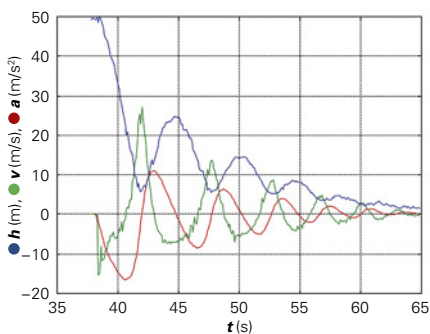
## Fritt fall i Fritt fall och AtmosFear

Längre in på Gröna Lund, närmare Skansen, står tornet som heter just Fritt fall, där man släpps ned efter en stunds väntan högst upp. Har man med sig en mugg med vatten i Fritt fall flyger det kanske ändå sakta ut, ifall man rycker till lite när sätet plötsligt försvinner under en. Vattnet kommer sedan en kort stund att se ut att ”sväva”, eftersom både det och man själv accelererar nedåt med tyngdaccelerationen  $g$  (figur 1).

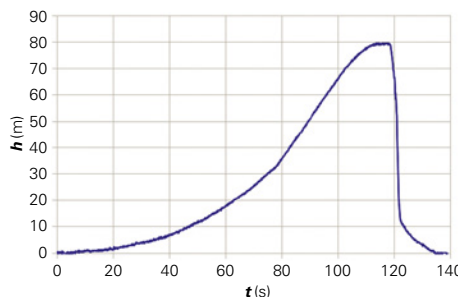
Under Edutainmentdagar på Gröna Lund är det alltid långa köer dit – även om vi uppmanar lärare att fördela eleverna på flera olika attraktioner.

Inte minst är många gymnasielärare angelägna om att deras elever ska få uppleva, och räkna på,  $v = gt$  och  $s = (gt^2)/2$  (där  $v =$  hastighet och  $t =$  tid) när man faller fritt. Däremot kan det vara lätt att glömma att den största accelerationen inträffar under inbromsningar i slutet av åkturen.

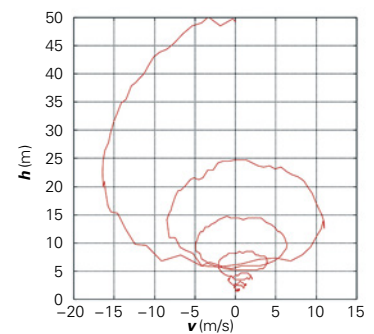
Lisebergs Fritt fall-attraktion heter AtmosFear. Om man känner efter noga på väg upp märker man en liten acceleration



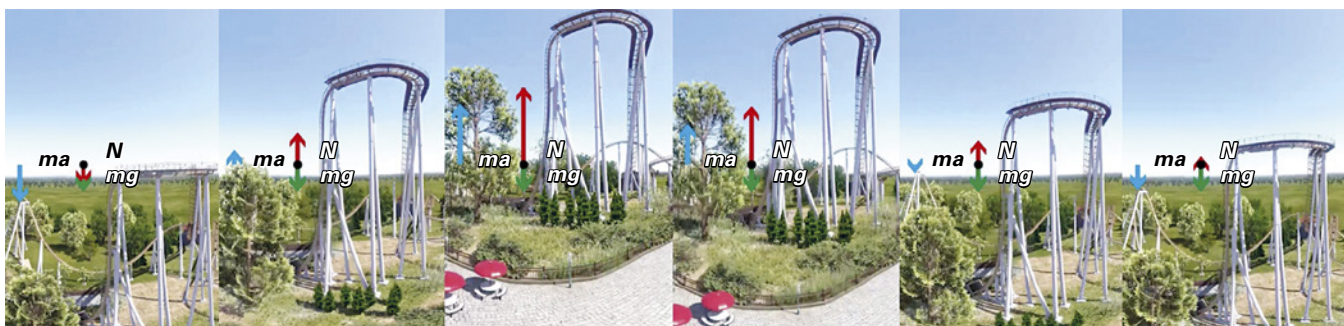
FIGUR 3 Höjd, hastighet och acceleration i Gyldne Tårn på Tivoli i Köpenhamn.



FIGUR 4 Höjd som funktion av tid under en tur i AtmosFear på Liseberg.



FIGUR 5 ”Fasporträtt” över hastighet och höjd för en tur i Gyldne Tårn.



FIGUR 6 En tur i Gyldene Tårn, sett ur åkarens perspektiv. Vektorer för krafter och acceleration är markerade.

uppåt när man kommit en bra bit upp på tornet. Det är när "gondolen" – ringen med de upp till 36 personer som åker – kommer ovanför bromsfenorna som ser till att fallet alltid bromsas in på vägen ner. De fungerar så att magneter i själva gondolen inducerar virvelströmmar i bromsfenorna. Ju snabbare man rör sig desto starkare blir strömmen, som i sin tur leder till magnetfält som motverkar orsaken till sin egen uppkomst (enligt Lenz lag).

Figur 2 visar hur bromsfenornas temperatur varierar under en tur i AtmosFear. Även den långsamma uppfärden leder till viss uppvärmning – en del av effekten från motorn som drar upp gondolen omvandlas alltså till värme tills gondolen har kommit ovanför bromsfenorna. Uppvärmningen blir naturligtvis mycket större när de bromsar in gondolen efter ett par sekunders fritt fall!

### Representationer av rörelsen

Accelerationen i åkattraktioner känns i hela kroppen. Under det fria fallet påverkas man bara av tyngdkraften och upplever tyngdlöshet, medan man under inbromsningen känner sig flera gånger tyngre än vanligt. Förändringarna i hastighet kan fångas med en accelerometersensor, till exempel i telefonen. Som komplement kan mätning av lufttryck ge en indikation om höjden. Figur 3 visar data för höjd, hastighet och acceleration från

fallet och studsar i Gyldene Tårn på Tivoli och figur 4 visar höjden under hela turen i AtmosFear på Liseberg.

Kroppens upplevelser översätts alltså till data, och graferna för höjd, hastighet och acceleration kan användas för att träna elever att se relationen mellan derivata och integral, på ett annat sätt än med formler. Data för hastighet och höjd i studsarna kan också användas för ett "fasporträtt" (figur 5), där man ser hur studsarna blir mindre och mindre och landar närmare och närmare marken.

Man kan också välja att illustrera rörelser med en kort bildsekvens från film, i figur 6 från en VR-version där krafter och acceleration är markerade.

### Fritt fall i berg- och dalbanor

Berg- och dalbanadesigners bygger in kastbanor i spåren. Ett av de tydligaste exemplen är Balder på Liseberg, som invigdes 2003. Trästrukturen har ett eget koordinatsystem med 2,75 m horisontellt avstånd och 2,5 m vertikalt. Kan du utifrån figur 7 uppskatta hur lång tid man kan uppleva tyngdlöshet i det stora krönet?



FIGUR 7 Balder på Liseberg, med koordinatsystemet markerat.

Exempel med fritt fall tillhör standardrepertoaren i fysikundervisning. Ändå svarar studenter ofta fel på frågor om kraft och acceleration i fritt fall, om situationerna inte liknar de typiska exemplen. Mer ovanligt i böckernas exempel är att det är man själv som faller fritt och får uppleva hur det känns att vara tyngdlös, även om det bara är en eller ett par sekunder i taget. Upplevelserna i nöjesparken tillför helt enkelt en ny dimension till undervisningen.

ANN-MARIE PENDRILL  
Prof. em., Göteborgs universitet  
och Lunds universitet

### Läs mer

*Physics Education* 55 055017 (2019)  
doi: 10.1088/1361-6552/ab9872  
*Physics Education* 59 015033 (2024)  
doi: 10.1088/1361-6552/ad125c  
*Physics Education* 58 035021 (2023)  
doi: 10.1088/1361-6552/acc299

Gröna Lund i Stockholm. De tre (egentligen fyra) höga tornen är, från vänster: Fritt fall, Ikaros framför Eclipse, och Katapulten.

# En förening för unga fysikintresserade

Den tolfte februari 2023, i en föreläsningssal på Chalmers, gick startskottet för det som skulle bli Ung Vetenskapssport Fysiker, förkortat **UVS Fysiker**.

**B**ehovet av mötesplatser för unga som älskar fysik har funnits länge. Wallenbergs fysikpris och Lise Meitner-dagarna är exempel på sådana mötesplatser, men vi ville kunna erbjuda något ytterligare för alla unga, oavsett kunskapsnivå eller ålder, och dessutom mer kontinuerligt över året.

På plats för det konstituerande mötet var fem personer. Idag, knappt 1,5 år senare, har vi vuxit till hela 325 st medlemmar över hela landet. Våra aktiviteter riktar sig till alla Sveriges fysikintresserade ungdomar och ordnas främst av ideellt engagerade ungdomar. För att kunna nå ut till samtliga i vår målgrupp erbjuder vi en rad olika aktiviteter, både online och på plats. Vi ordnar läger, gästföreläsningar och tävlingar, allt för att det ska finnas något för alla!

## Fysik- och Astronomilägret

Vår överlägset största aktivitet hittills är Fysik- och Astronomilägret, ofta förkortat FA-lägret, som vi ordnar tillsammans med vår systerförening UVS Astronomer. Lägret sker torsdag till söndag och riktar sig till gymnasieelever. På dessa dagar hinns det med allt ifrån föreläsningar i fysik till labbesök och tävlingar. Föreläsningarna består dels av tävlingsförberedelser inför Wallenbergs fysikpris, dels av annan spännande fysik som man vanligen inte får se under gymnasiet. Varje läger har också en eller flera gästföreläsare i form av personer som forskar inom fysik eller som gjort andra coola fysikrelaterade saker. Redan från första upplagan av FA-lägret har vi fått ekonomiskt stöd av Svenska Fysikersamfundet, vilket har varit otroligt viktigt för att lägret har kunnat ske över huvud taget.

Årets läger kommer ske i två upplagor



Gruppen från Fysik- och Astronomilägret i Göteborg 2023

nu under hösten. Anmälan till detta har tyvärr stängts när denna tidning kommer ut. Under hösten kommer vi utöver FA-lägret ordna både tävlingar och andra roliga aktiviteter.

## Tyngdpunkten och BeReal

Den allra första upplagan av tävlingen Tyngdpunkten kommer att ske denna höst! Det är en lagtävling i fysik, där lagen består av upp till tre personer, som på tre timmar ska lösa så många problem man hinner. Det kommer finnas åldersuppdelade klasser för högstadiet- och gymnasieelever, och tävlingen kan skrivas på distans, så att alla har en chans att vara med.

I våras annordnade vi onlinetävlingen BeReal-veckan på vår instagram, och under hösten återkommer den. Tävlingen är öppen för alla oavsett ålder och går ut på att det under en vecka släpps problem vid olika tider på dygnet. Målet är sedan att så snabbt som möjligt lösa problemen och skicka in rätt svar.

Förutom läger och tävlingar har vi ordnat en del söndagsföreläsningar på vår discordserver. Dessa har hittills främst varit förberedande inför kvalet i Wallenbergs fysikpris, men vi är öppna för att erbjuda andra teman beroende på vad det finns för intresse. I övrigt vill vi göra så

mycket roligt fysikrelaterat som möjligt, så om du har en idé på något kul du skulle vilja ha hjälp att ordna eller bara tipsa oss om, blir vi jätteglada om du hör av dig!

## Information och annat kul

Vi skickar kontinuerligt ut informationsmejl till våra medlemmar. Förutom det är instagram vår främsta informationskanal, där vi inte bara delar våra egna aktiviteter utan också tipsar om andra fysikrelaterade aktiviteter som riktar sig till unga. Vårt förbund Ung Vetenskapssport har också en discordserver där man både kan ta del av tips från andra medlemmar, och prata fysik eller annat kul med likasinnade.

Vi vill samla allt fysikintresse som finns bland Sveriges unga. Är du ungdom så finns det en massa kul aktiviteter att ta del av, och är du inte en ungdom men ändå vill bidra så har vi alltid behov av hjälp med att ordna våra aktiviteter. Tveka inte att höra av dig till oss om du har några frågor eller funderingar!

ELLEN PELANDER  
UVS Fysiker

## Det här är UVS Fysiker

- Grundades år 2023 som en förening i förbundet Ung Vetenskapssport.
- Riktar sig främst till fysikintresserade personer 25 år eller yngre, men alla är välkomna som medlemmar!

## Här hittar du oss

**Instagram:** @uvs\_fysiker

**Discord:** discord.gg/GDfJKkTaqb

**Mejl:** uvs-fysiker@ungvetenskapssport.se

**Bli medlem (gratis):** ebas.ungvetenskapssport.se/forening/uvsfysiker

# Kondensstrimmor och klimatet



Flyget påverkar klimatet i huvudsak på två sätt. Vi har utsläppen av koldioxid och så har vi kondensstrimmor, alltså de vita molnliknande spår som man ibland kan se på himlen. Påverkan från dessa är i stora drag jämförbar med koldioxidutsläppen från flyget. Men hur bildas de? Hur påverkar de klimatet? Och vad man kan göra för att minska dem?

FOTO: HENDRIK HARMS

**K**ondensstrimmor, eller k-strimmor, upptäcktes först i slutet av första världskriget när flygplanen kunde flyga så högt att strimmorna kunde bildas. Ett inofficiellt världsrekord slog piloten Zeno Diemer då han under sommaren 1919 nådde 9300 meters höjd vid flygningar utanför München.

Kondensstrimmor består av iskristaller och är egentligen ett slags ”konstgjorda” moln. Men k-strimmor bildas på ett speciellt sätt.

När man bränner flygbränsle i flygplan får man koldioxid, vattenånga, kväveoxider samt en massa luftburna partiklar (så kallade *aerosoler*) som kan bestå av exempelvis sot eller svavel. I korthet kan man säga att k-strimmor bara kan bildas om den relativa luftfuktigheten (över flytande vatten) överstiger 100 % för de luftmassor som uppstår när avgaserna blandas med den omgivande luften.



Amerikanska B-17 bombplan lämnar k-strimmor efter sig under andra världskriget.

FOTO: US AIR FORCE

**OVAN:** Icke-persistent k-strimma. Iskristallerna sublimerar nästan omedelbart. Villkoren för att k-strimman ska bildas är alltså uppfyllda men inte för att man ska nå persistens (vilket kräver isövermättnad).

kallade Schmidt-Appleman kriteriet som formulerades under 40-talet.

Ytterligare ett villkor är att det finns kondensationskärnor i luften. De tillhandahålls (huvudsakligen) från förbränningen, men de finns också naturligt i luften. Vattenångan från avgaserna kan under dessa villkor kondensera och bilda mikroskopiska vattendroppar som där efter fryser till iskristaller. Det är alltså dessa iskristaller man kan se på himlen som spår efter flygplan.

De här villkoren är typiskt uppfyllda om omgivningens temperatur ligger på under  $-40^{\circ}\text{C}$ . Man behöver normalt sett alltså komma upp på höjder runt 8 km ▶

Himlen ovanför Würzburg i Tyskland. Till vänster en vanlig dag, med bra förutsättningar för k-strimmor. Till höger efter att all flygtrafik stoppats i samband med Eyjafjallajökulls utbrott 2010.



frågan hänger verkligen inte på vad vi gör med k-strimorna.

Men det spelar en stor roll för flygets totala klimatpåverkan. All koldioxid flyget släppt ut hittills ger nu en uppvärmning på ca 0,03 W/m<sup>2</sup>.

Som kuriosa kan också nämnas att uppvärmningen från k-strimmor motsvarar mer än den energi som frigörs i samband med världens totala förbränning av fossila bränslen!

Tittar man på klimateffekten för enskilda flyg så varierar betydelsen av k-strimmor mycket. På global nivå har man uppskattat att enbart 2–3 % av alla flyg ger upphov till ca 80 % av den uppvärmande effekten från k-strimmor.

För ett enskilt flyg kan uppvärmningen vara tio gånger större från k-strimmor än för koldioxiden (exempelvis om man flyger på natten och om de meteorologiska villkoren är de rätta). Å andra sidan kan vissa flyg vara kylande, framför allt om det bildas k-strimmor mitt på dagen.

## Vad man kan göra åt dem?

Det finns egentligen två saker man kan göra för att minska bildandet av k-strimmor eller deras effekt på klimatet. Det ena är att strategiskt försöka undvika områden i flygrummet där k-strimmor kan bildas. Genom att använda meteorologiska modeller kan man göra förutsägelser för områden med ångövertätnad i atmosfären och med bra flygledningssystem kan man leda flygen över, under eller runt dessa

► eller så (men den exakta siffran varierar med flera tusen meter beroende på årstid och breddgrad).

För att förstå lite mer hur det hela fungerar kan man göra ett tankeexperiment och anta att flygplanen blir mer energieffektiva. Vad händer då? Jo, då kommer mindre värme tillföras till de avgaser som blandas med den omgivande luften. Detta luftpaket kommer då få en lägre temperatur (*ceteris paribus*) och kommer kunna hålla en lägre mängd vattenånga, och sannolikheten för att det bildas k-strimmor kommer då alltså att öka. Mer effektiva flyg ger alltså – intressant nog – ökad sannolikhet för att k-strimmor bildas.

## Vad händer med k-strimmor efter att de bildats?

De flesta k-strimmor sublimerar (övergår från is till vattenånga) förhållandevis snabbt efter att de bildats. Det kan handla om enstaka sekunder eller någon minut. Det här är också något man kan bevittna med egna ögon när man tittar upp på flygplan. Men en del har en längre livstid, uppemot flera timmar. Det är dessa som är av betydelse ur ett klimatperspektiv.

För att k-strimmor ska fortleva så pass länge krävs att de bildas i ett område där de omgivande atmosfäriska luftmassorna har ett ångtryck på över 100 % över is (luften måste alltså vara övertätnad). Under dessa meteorologiska villkor kommer vattenånga fortsätta att deponera på iskristallerna och dessa kan då fortsätta att växa till sig. Dessa kan därefter dessutom sprida ut sig till tunna moln, så kallade *contrail cirrus*<sup>1</sup>. Flyg-inducerade moln

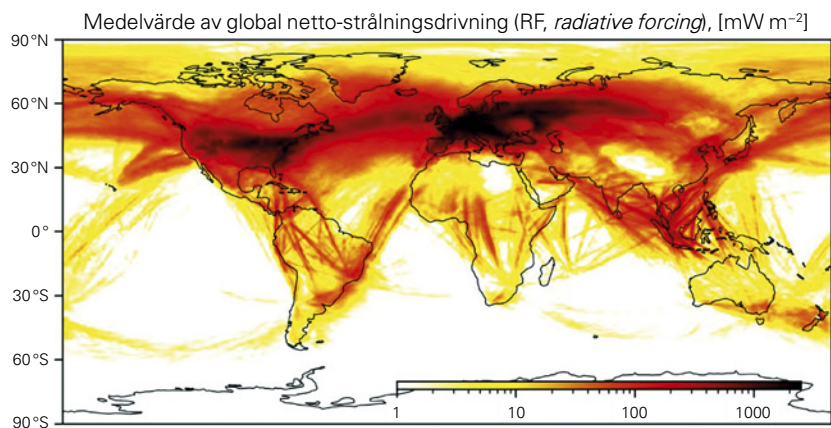
går efter ett tag inte går att särskilja från cirrus-moln.

Studier har visat att ca 33 % av varje flygkilometer (på global nivå) ger upphov till k-strimmor, men bara 5 % av varje flygkilometer ger persistenta k-strimmor.

## Påverkan på klimatet

K-strimmor både kyler och värmer klimatet. De kyler klimatet eftersom inkommande solstrålning reflekteras mot molnen och strålar ut i universum. De värmer planeten eftersom värmestrålning från jordytan absorberas av iskristallerna. Iskristaller är nämligen väldigt effektiva när det gäller att fånga in värmestrålning.

Nettoeffekten på global nivå är värmande. Som ett globalt genomsnitt handlar det om cirka 0,03–0,06 W/m<sup>2</sup> (figur 1). Är det mycket eller lite? Ur ett klimatperspektiv så motsvarar det en uppvärmning på ca 1–2 % av den nuvarande uppvärmningen från koldioxid och de andra viktigaste växthusgaserna. Så klimat-



**FIGUR 1** Modellberäkning av den nettouppvärmande effekten av k-strimmor från det globala flyget år 2019.

KÄLLA: TEOH, R., ENGBERG, Z., SCHUMANN, U., VOIGT, C., SHAPIRO, M., ROHS, S., AND STETTLER, M. E. J.: "GLOBAL AVIATION CONTRAIL CLIMATE EFFECTS FROM 2019 TO 2021", *ATMOS. CHEM. PHYS.*, 24, 6071–6093, 2024. DOI.ORG/10.5194/ACP-24-6071-2024

<sup>1</sup> *Contrail* är en sammanslagning av engelskans ord för kondensstrimmor, *condensation trail*.

områden. Metoder för att göra det här har redan framgångsrikt testats, exempelvis i ett samarbete mellan AI-experter på Google och American Airlines.

En annan åtgärd är att flyga med renare bränslen, exempelvis vätgas. Man får då inga kondensationskärnor från bränslet. Men man får samtidigt mer vattenånga (per MJ energi) och det finns även kondensationskärnor naturligt i atmosfären, samt från oljor i motorn, så det kan ändå bildas k-strimmar. Vid avdelningen för fysisk resursteori på Chalmers pågår nu ett projekt där vi beräknar klimatpåverkan från k-strimmar med flyg som drivs med alternativa bränslen.

### Jämförelse med koldioxid

I ett annat forskningsprojekt undersöker vi hur man kan jämföra klimateffekten från flygets koldioxidutsläpp med dem från k-strimorna. Det är viktigt eftersom man vill att klimatpolitiken ska vara effektiv, och då måste klimatvinsten av en åtgärd för att minska k-strimmar (till exempel att flyga på lägre höjd) kunna jämföras med de högre koldioxidutsläpp man får genom att man tar en omväg. K-strimmar och koldioxid måste alltså kunna jämföras på samma skala.

Men det är inte ett trivialt problem. Forskare har i flera decennier funderat på hur man ska jämföra utsläpp av växthusgaser med varandra om de har olika livslängd. K-strimorna stannar i atmosfären i några timmar, på sin höjd. Ett utsläpp av koldioxid finns däremot kvar mycket länge. Efter 100 år finns ca 40 %, och efter 1 000 år finns 20 % av utsläppet kvar. Därefter tar det ytterligare tiotusentals (sic!) år innan de sista resterna är borta.

Det gör att det inte finns något entydigt korrekt svar på frågan om hur viktiga k-strimmar är i relation till koldioxid, utan det beror bland annat på över hur lång tid analysen ska ske, samt om man bara ska titta på bara den upp-

2 GWP står för *Global Warming Potential*, ett mått på den uppvärmande effekten av ett utsläpp av 1 kg av en viss gas i relation till ett utsläpp på 1 kg av koldioxid över en given tidsperiod.

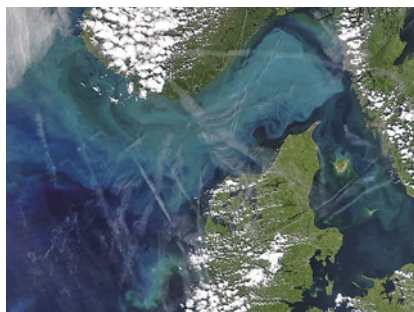


FOTO: J. SCHMALTZ/NASA/GSFC

K-strimmar över Nordjön och Skagerrak

värmande fysiska potentialen eller också de klimatekonomiska skador som uppstår.

Det som till synes ser ut som en teknisk, naturvetenskaplig fråga blir därmed en etisk och ekonomisk värderingsfråga, och i slutändan också en politisk fråga.

Det här är också frågor som EU brottas med nu, då man planerar att införa kondensstrimmar i EU:s system för handel med utsläppsrätter för koldioxid.

Enligt vår senaste studie får vi att den uppvärmande effekten – om man räknar över en hundraårsperiod med det så kallade GWP-måttet<sup>2</sup> – att k-strimorna motsvarar en uppvärmande effekt på ca 35 % procent av flygets klimatpåverkan från koldioxid. Ett mått som baseras på de klimatekonomiska skadorna hamnar istället på ca 20 %, men osäkerheterna är stora.

CHRISTIAN AZAR

Professor, avdelningen för Fysisk resursteori, Institutionen för Rymd-, geo- och miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola

### Läs mer

Schumann, U. 1996. "On conditions for contrail formation from aircraft exhausts". *Meteorologische Zeitschrift*, 5(1), pp 4-23. [elib.dlr.de/32128/1/mz-96.pdf](http://elib.dlr.de/32128/1/mz-96.pdf)

Lee, DS. et al. 2021. "The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018". *Atmospheric Environment* Vol. 244, p. 117834. [doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834) [blog.google/technology/ai/ai-airlines-contrails-climate-change/](https://blog.google/technology/ai/ai-airlines-contrails-climate-change/)

Johansson, D., Azar, C., Pettersson, S., and Sterner, T.: "Trade-offs and Social Cost Estimates: Focus on CO2 and Contrail Cirrus", *EGU General Assembly 2024*, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-19046, [doi.org/10.5194/egusphere-egu24-19046](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-19046)

### Sekelskiftets fysiker och förståelsen av k-strimmar

Det är värt att nämna några av de stora fysikerna från förra sekelskiftet, bland annat Kelvin, Clausius, Boltzmann, Rayleigh, Maxwell och Schrödinger, eftersom många av deras resultat är av central betydelse när det gäller vår förståelse av k-strimmar och klimatet.

**Clausius-Clapeyrons** ekvation bestämmer ångtrycket, och **Kelvin-effekten** visar att ångtrycket över krökta ytor (till exempel molndroppar) är högre än över platta, vilket får en stor betydelse för när k-strimmar kan bildas. **Stefan-Boltzmanns** ekvation är central för att bestämma hur mycket moln påverkar klimatet. Höga moln värmer mer än låga, eftersom höga moln är kallare och därmed strålar betydligt mindre. Utstrålningen är som bekant proportionell mot temperaturen upphöjt till fyra. Det är därför den värmande effekten av k-strimmar, som ju ligger högt uppe i atmosfären, blir betydande.

Spridning av elektromagnetisk strålning, **Rayleigh-spridning**, innebär att spridningen är omvänt proportionell mot våglängden upphöjt till fyra. Det här förklarar varför himlen är blå och solnedgångar rödskimrande (blått ljus sprids lättare bort och lämnar därmed ett rödskimrande ljus efter sig). Men Rayleigh-spridning sker mot kväve och syremolekyler i atmosfären. För större partiklar, som i moln, är spridningen oberoende av partiklarnas storlek – givet att storleken på partiklarna och ljusets våglängd är ungefär lika stora. Därför har det reflekterade ljuset i stort sett samma frekvensfördelning som det inkommande. Reflektionen kan även ske "framåt" – vilket förklarar varför vi kan se moln (och k-strimmar) underifrån. Det här kallas ibland för **Mie-spridning**, efter den tyske fysikern Gustav Mie, som fann en lösning till **Maxwells ekvationer** för interaktion med sfäriska partiklar.

I grunden är kvantmekaniken nödvändig för att förstå hur växthusgaser absorberar långvägig strålning. För gaser finns det kvantiserade övergångar, inte mellan olika elektron-orbitaler, utan mellan olika kombinerade rotations-vibrationsstillstånd i molekyler som ger distinkta, kvantiserade, energitillstånd och övergångar mellan dessa. Men för iskrustaller har vi en annan situation, där har vi hela band som absorberar. En favorituppgift under min utbildning på Chalmers var när vi skulle räkna ut tillåtna energitillstånd (genom att lösa **Schrödingerekvationen**) för ett partikel-i-lådan problem, fast där det fanns oändligt många lådor bredvid varandra. Då uppstod tillåtna, kontinuerliga band, vilket jag tyckte var så fascinerande att jag minns det än idag. Det är också denna typ av band som uppstår i iskrustallerna, och som förklarar varför de blir så effektiva när det gäller att absorbera värmestrålning.

# Svenska antenner på Webb-teleskopet

Vid det här laget har väl alla rymdintresserade njutit av de vackra bilder som rymdteleskopet James Webb producerat sedan uppskjutningen, men visste du att all kommunikation sker via ett **antennsystem** som konstruerats och byggts i Sverige?

På juldagen 2021 sköts James Webb Space Telescope (JWST) upp med en Ariane 5-raket från Kourou i Franska Guyana (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2021). Uppskjutningen var kulmen på många års arbete med tusentals involverade, med en budget på ca 10 miljarder dollar. Planerna för JWST som efterföljare till Hubble-rymdteleskopet började att ta form i början av 2000-talet, och NASA involverade även de europeiska och kanadensiska rymdflygstyrelserna ESA och CSA. Huvudkontraktet gick till det amerikanska företaget Northrop Grumman, som i sin tur anlätade ett stort antal underleverantörer i Nordamerika och Europa. Ett av dessa företag var RUAG Space (numera Beyond Gravity Sweden) som fick förtroendet att leverera antennsystemet, och anläggningarna i Göteborg och Linköping drogi gångarbetet 2009.

Dagens vetenskapliga satelliter genererar enorma datamängder som behöver skickas ner till jorden, och JWST är med sina 57 Gbyte per dygn inget undantag. Utöver data som ska skickas finns också kommunikationsbehov för positionsbestämning samt överföring av telemetri och kommandon. Mikrovågsområdet mellan 1 och 30 GHz är väl lämpat för rymdkommunikation tack vare låg dämpning genom atmosfären – förutom en liten absorptionstopp för vattenånga vid 22 GHz är detta ”fönster” fritt från ogynnsamma molekylresonanser. Men valet av frekvensband är förstås inte godtyckligt, utan följer internationella

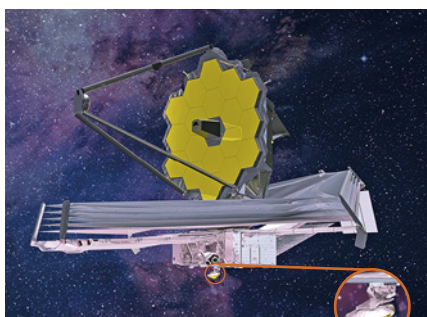


Illustration av rymdteleskopet James Webb. Solsidan, med antennerna för kommunikation, är nedåt i bild.

överenskommelser. I JWST:s fall sänds data ner på det så kallade K-bandet, vid 26 GHz, där en datatakt på 28 Mbit/s kan uppnås. Telemetri skickas ner på S-bandet (2,0–2,3 GHz) med 40 kbit/s, och kommandon skickas upp på samma band med 16 kbit/s.

NASA:S MARKSTATIONSNET Deep Space Network (DSN) är lokaliserat till tre platser: Goldstone (Kalifornien, USA), Madrid (Spanien) samt Canberra (Australien). Placeringen i dessa torra områden är fördelaktig då regn ger en dämpning av signalen, och genom jordrotationen kan de tre stationerna successivt lämna över kontakten till varandra. Varje DSN-anläggning har ett antal reflektorantennor med diameter på 34 respektive 70 m, utrustade med extremt känsliga mottagare och sändare med hög effekt. Förutom JWST kommunicerar DSN med ett antal rymdsonder, bland annat Voyager 1 som nu, efter 47 års resa,

befinner sig 24,5 miljarder km från jorden ([science.nasa.gov/mission/voyager/voyager-1](https://science.nasa.gov/mission/voyager/voyager-1)).

JWST ligger i en så kallad halobana kring den andra Lagrangepunkten (L2). De fem Lagrangepunkterna definieras som områden där det råder balans mellan gravitationen från solen och jorden samt centripetalaccelerationen i ett medroterande referenssystem. L2 ligger ca 1,5 miljoner km från jorden, i förlängningen av linjen mellan solen och jorden. JWST:s känsliga teleskop är alltid avskärmat från solen och jorden genom ett stort solskydd, medan antennerna är placerade på solsidan, som följaktligen alltid är vänd mot jorden.

Signalen från JWST har alltså en lång väg att färdas innan den når jorden. Så hur svag är den när den kommer fram? Detta kan beräknas med Friis formel, där den mottagna effekten  $P_m$  i förhållande till den utsända effekten  $P_s$  på ett avstånd  $R$  ges av:

$$\frac{P_m}{P_s} = G_s G_m \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$G_s$  och  $G_m$  betecknar här sändarens respektive mottagarens *antennvinst* och  $\lambda$  är våglängden. Antennvinst är ett mått på hur mycket en antenn koncentrerar strålningen i en viss riktning, jämfört med ett teoretiskt fall där man strålar lika mycket i alla riktningar. En antenn med smal strålningslob ger alltså hög antennvinst. Friis formel antyder att vi bör sträva efter så hög antennvinst som möjligt, men det finns en hake med detta. Eftersom jorden bara upptar ca 0,5° sett från L2

ILL: NASA, ESA, CSA, NORTHROP GRUMMAN



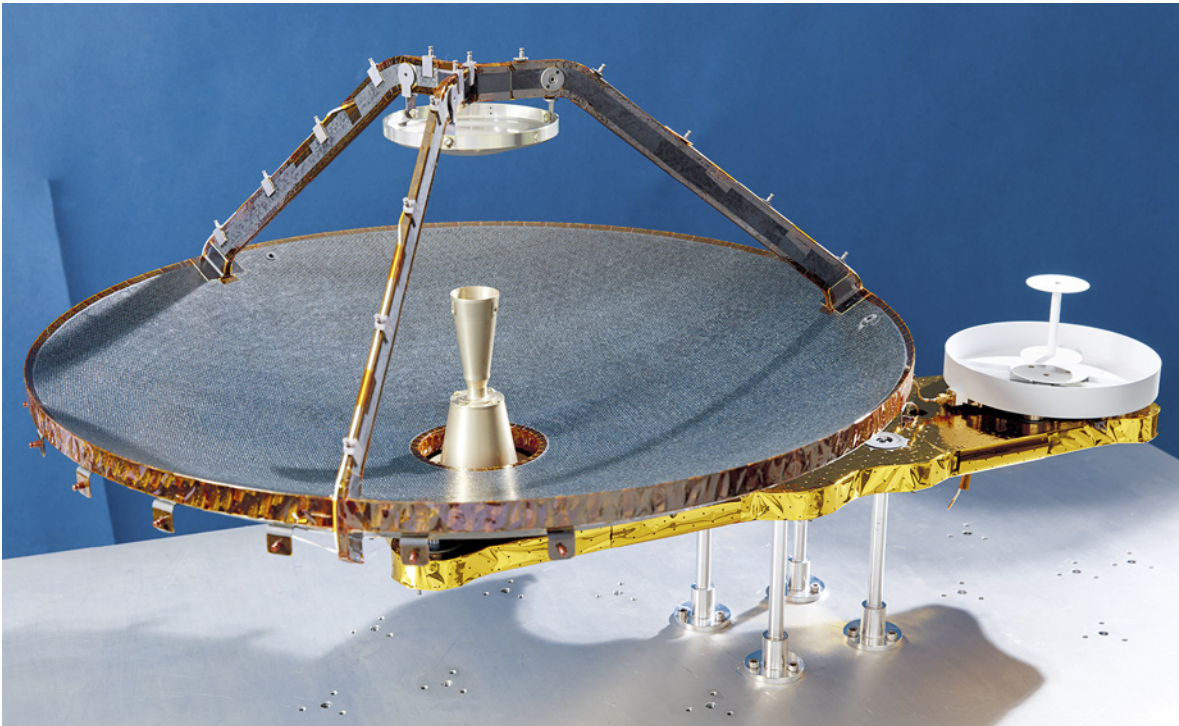


FOTO: BEYOND GRAVITY SWEDEN AB

JWST:s antennsystem: reflektorantenn med 0,6 m diameter för datanedlänk på K-bandet (vänster) och bredlobbsantenn för telemetri och kommando på S-bandet (höger).

skulle en för smal antennlob behöva pekas om oftare, då vinkeln till jorden ändras i halobanan. Men för att vibrationer inte ska störa teleskopet pekar man inte om antennen oftare än var tredje timme, och då visar sig en antenn med ca 0,6 m diameter och 1° lobbredd vara optimal. Vid 26,5 GHz ( $\lambda \approx 11$  mm) har JWST-antennen  $G_s \approx 1,6 \cdot 10^4$  och en 34 m DSN-antenn  $G_m \approx 5,8 \cdot 10^7$ . Friis formel ger då att den mottagna signalen är ca  $3 \cdot 10^{-13}$  gånger den utsända effekten från L2-banan. DSN kan följas i realtid på nätet ([eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html](https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html)), och den mottagna signalnivån från JWST ligger typiskt på ca 0,5 pW – vilket är tillräckligt starkt i jämförelse med mottagarens brusnivå på ca 20 fW.

**VILKA ÄR DÅ SVÄRIGHETERNA** med att bygga en antenn för rymdbruk? Svaret ligger framför allt i den extrema miljön som den utsätts för. Under uppskjutningen ger buller från raketmotorerna och aerodynamiska påfrestningar höga vibrationsnivåer. Väl ute i rymden gör solinstrålningen i kombination med vakuum att antennen i värsta fall kan komma upp i +150 °C på den belysta sidan, medan det

på skuggsidan i stället kan bli -150 °C. UV-strålning och laddade partiklar kan förstöra färg och plastmaterial samt ladda upp strukturen så att man får överslag och störningar. Allt detta leder till en omfattande kravspecifikation där man behöver göra lämpliga avvägningar mellan ibland motstridiga krav, och experter från många olika discipliner behövs i projektet.

Bilden ovan visar JWST:s antennsystem, där två antenner sitter på en gemensam bottenplatta som monteras på en pekmekanism. Antennen för K-band är en dubbelreflektor av Cassegraintyp<sup>1</sup>, där huvudreflektorn är uppbyggd som en sandwich av kolfiberkomposit. Kolfiberkomposit ger hög styrka och låg vikt, och har nära noll i längdutvidgning som funktion av temperatur. Tre kolfiberstöttor bär upp subreflektorn i aluminium, och i huvudreflektorns mitt

<sup>1</sup> En *Cassegrain-antenn* är en antenn där en matarantenn sitter vid eller bakom ytan av den paraboliska huvudreflektorn, riktad mot en mindre, hyperbolisk subreflektor som sitter framför huvudreflektorn. Signalen skickas från mataren, reflekteras av subreflektorn tillbaka mot huvudreflektorn, som i sin tur reflekterar den framåt mot målet.

sitter en cirkulärpolariserad hornantenn som matare.

S-bandsantennen består i sin tur av en cylindrisk kopp och ett torn med tre cirkulära skivor. Den nedersta skivan matas i fyra punkter från ett fördelningsnät inneslutet i en metallbox under koppen, och genom en korrekt fasförskjutning mellan de fyra matningarna får man cirkulär polarisation. Lobbredden är ca 45°, vilket gör att telemetri- och kommandofunktionen kan tolerera en stor felpekning ifall något skulle gå fel.

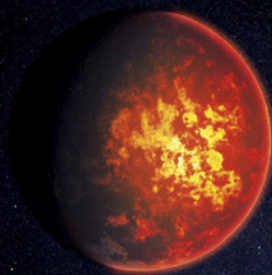
**TILL DAGS DATO HAR** mer än 1 600 vetenskapliga artiklar baserats på data från JWST. Om vi har tur kommer data fortsätta att strömma genom antennerna en bit in på 2040-talet. JWST kan liknas vid ett nutida katedralbygge, och att ha fått bidra med en liten men viktig byggsten var en yrkesmässig höjdpunkt för oss som var involverade.

JOAKIM JOHANSSON

F d chefsingenjör på antennavdelningen vid Beyond Gravity Sweden, Göteborg

**Läs mer** om nya resultat från James Webb-teleskopet på nästa upplag!

En illustration av hur lavaplaneten 55 Cancri e skulle kunna se ut.

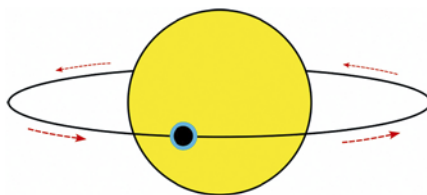


ILL: NASA, ESA, CSA, DANU PLANETISTSCI

# Ett nytt fönster mot exoplanetatmosfärer

Det nya rymdteleskopet James Webb överträffar våra högt ställda förväntningar och hittar både koldioxid och vatten i **atmosfärer på exoplaneter**, det vill säga planeter runt andra stjärnor. Resultaten förebådar en ny guldålder för exoplanetforskningen.

Det är snart 30 år sedan vi lärde oss att det finns planeter runt andra stjärnor än solen. Idag vet vi att det förmodligen finns fler planeter än stjärnor i galaxen. Att hitta planeter har inte varit lätt eftersom de är så små och obetydliga jämfört med de stjärnor de kretsar kring. Svårigheten har gjort att det är först nu vi har börjat besvara frågor om andra världar som det spekulerats i ända sedan antiken. Till vår hjälp har vi sedan 2022 rymdteleskopet James Webb (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2021 och på föregående uppslag), som byggts för att besvara frågor om det tidiga universum, galaxers och stjärnors utveckling, men även om exoplaneters egenskaper.



**FIGUR 1** När en planet passerar framför sin stjärna går en liten del av dess ljus genom planetens atmosfär. Genom att mäta ljuset när planeten är antingen framför eller bakom stjärnan kan man få ett spektrum av planetatmosfären.

Webbs främsta förmåga är dock inte att upptäcka *nya* planeter, utan att detaljstudera redan kända. Genom att utnyttja teleskopets exceptionella stabilitet kan

vi mäta atmosfärens kemiska sammansättning och lära oss mer om planeternas egenskaper, hur vanliga de är och hur de har bildats. Eftersom vi oftast inte direkt kan särskilja planetens ljus från det från stjärnan använder vi oss av två indirekta metoder:

1. Vi mäter hur ljuset från stjärnan ändras när planeten passerar *framför* och skymmer en del av ljuset. En väldigt liten del av ljuset kommer då att gå genom planetens atmosfär, där den kemiska sammansättningen ändrar ljusets karaktär (figur 1). Genom att sprida ljuset i en spektrograf och jämföra med det ostörda ljuset innan passagen får vi ett *transmissionspektrum* av planetatmosfären.

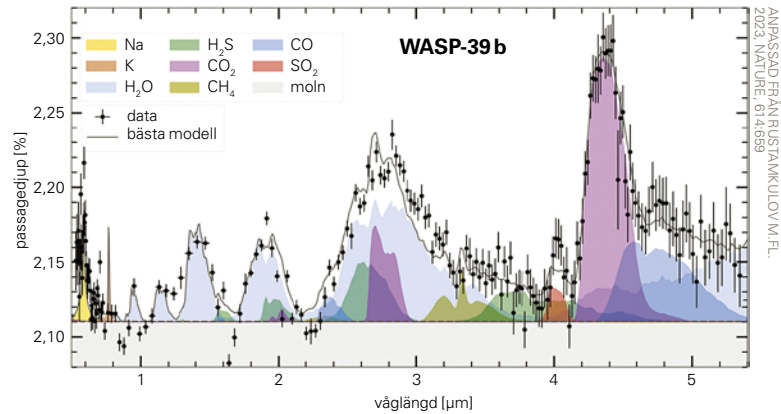
2. Vi mäter ljuset från stjärnan + planeten, och studerar hur det ändras när planeten går *bakom* stjärnan, så att ljuset från planeten skymms. Genom att subtrahera bort signalen vi får när bara stjärnan syns från det vi får när vi ser både stjärnan och planeten, så kan vi mäta vad planetens bidrag är. Detta kallas ett *ockultations-spektrum*, och mäter alltså emissionen från planetens dagsida.

De här metoderna fungerar förstås bara om synvinkeln från oss är sådan att vi ser planeten gå framför eller bakom stjärnan, och de kräver en extrem stabilitet eftersom signalen från planeten är från några tusen till miljoner gånger svagare än den från stjärnan.

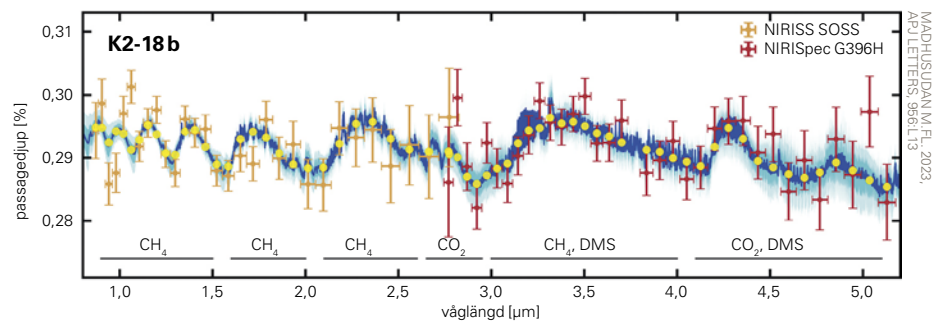
WEBB ÄR ÄN SÅ länge bara i början av sin mission och har därför mestadels tittat på de säkraste korten, för att visa vad som går att göra och underlätta framtida, mer utmanande observationer. Av resultaten hittills finns det tre planeter som sticker ut: WASP-39 b, K2-18 b, och en där vi från Sverige varit ledande forskare: 55 Cancri e.

WASP-39 b är en så kallad "het Jupiter" som kretsar väldigt nära sin stjärna, som är av soltyp. Närheten till stjärnan hettar upp planetens dagstemperatur till 900 °C. Tillsammans med dess storlek (25 % större än Jupiter) och korta omloppstid på 4 dygn gör detta det enklare för Webb att mäta atmosfärens sammansättning (figur 2). För att vara ett spektrum av en exoplanet är det fantastiskt tydligt, med otvetydiga signaturer av koldioxid och vattenånga, men även svaveldioxid, vilket var oväntat och indikerar att starkt ultraviolett ljus från stjärnan påverkar atmosfärens kemi.

K2-18 b är en betydligt mindre planet med en diameter bara 2,6 gånger så stor som jordens, en så kallad mini-Neptunus. Den kretsar också på ett större avstånd från en mindre och svalare stjärna, en K-dvärg, vilket möjliggör existensen av en planettäckande ocean av vatten under en atmosfär av vätgas – en *hycean* (sammandragning av "hydrogen" och "ocean"). Det intressantaste med hyceaner är kanske att de föreslås vara miljöer där liv som vi känner det skulle kunna överleva. Förutom tydliga detektioner av metan och kol-



FIGUR 2 Ett transmissionsspektrum från WASP-39b som visar olika molekylers bidrag.



FIGUR 3 Ett transmissionsspektrum från K2-18 b.

dioxid i atmosfären (figur 3), så fann Webb också en antydning av dimetylsulfid (DMS), som på jorden endast produceras av liv. Givet den osäkra signalen är det dock i nuläget troligare att den beror på en brusfluktuation. En bekräftelse av DMS på K2-18 b vore minst sagt sensationellt, men vi gör bäst i att vänta på uppföljande observationer innan vi börjar dra för långtgående slutsatser om utomjordiskt liv.

HOS JORDLIKA "STENPLANETER" är atmosfärer betydligt svårare att detektera eftersom de är så jämförelsevis tunna. Om man minskade ner jorden till storleken av ett äpple skulle det mesta av atmosfären rymmas inom äppelskalets tjocklek. Det är först med Webb som vi bekräftat en atmosfär runt en stenplanet, superjorden 55 Cancri e. Planeten är dubbelt så stor som jorden men kretsar extremt nära sin sol-liknande stjärna med ett varv på bara 18 timmar. Detta gör att ytan på dagen är så varm att sten smälter – vi får en lavaplanet. Istället för att försöka mäta transmission i den väldigt tunna atmosfären, observe-

rade vi planetatmosfärens värmestrålning vid ockultation. Vad vi såg är att planeten är täckt av en koloxidatmosfär. Genom att upprepa observationerna såg vi också att atmosfären varierar mycket, att planeten alltså har extrema väderskiftningar som än så länge är svårförklarade.

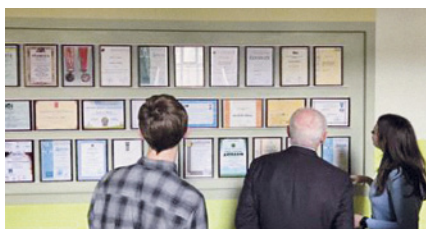
KVALITÉN I RESULTATEN från Webbs första år har överträffat förväntningarna. Detta kommer utnyttjas i kommande observationer, som till exempel i försök att karakterisera atmosfärer hos alltmer jordlika planeter. Vi kommer att lära oss hur vanligt det är med olika miljöer och om vilka förutsättningar det finns för liv.

Att hitta otvetydiga tecken på utomjordiskt liv ligger dock troligen bortom Webbs förmåga och är något vi får vänta på tills nästa generations rymdteleskop, som än så länge bara finns på planeringsstadiet.

ALEXIS BRANDEKER  
Inst. för astronomi  
Stockholms universitet



Några bilder från besöket på Skola 145. Ovan syns Mats Larsson med lärare och elever. Till höger ett klassrum, ett intyg från Sovjet-tiden, väggen med diplom som elever från skolan erhållit i olika tävlingar, samt Mats Larsson med rektor Mykola Levtyk framför skolan.



# På studiebesök i Kiev

Hur lägger man egentligen upp en **elitutbildning i fysik** för gymnasiet? Mats Larsson besökte Skola 145 i Kiev i Ukraina för att se hur de gör.

**A** nne-Sofie Mårtensson har i en serie artiklar beskrivit gymnasiefysiken i Danmark (*Fysikaktuellt* nr 3/2019), Norge (1/2020), Finland (3/2020) och Island (1/2022). Dessutom har hon bidragit med en artikel om IB-programmet (1/2021) och en intervju med dåvarande skolminister Lina Axelsson Kihlblom med fokus på frågan varför Sverige, till skillnad från vår grannländer, inte har nationella prov i fysik på gymnasienivå (2/2022).

Jag ska i den här artikeln inte beskriva gymnasiefysiken i Ukraina på djupet, utan istället fokusera på hur en elitskola med det prosaiska namnet 145 fungerar. Den ligger i Ukrainas huvudstad Kiev, och det officiella namnet översatt från ukrainska till engelska är Kyiv Natural-Scientific Lyceum No. 145, där *Kyiv* är den engelska translitteringen av stadens namn och *Lyceum* betyder en skola för sekundärutbildning, alltså motsvarande svenskt gymnasium. Det framgår vidare att inriktningen är *Natural-Scientific*, och i praktiken är undervisningen inriktad på

fysik, matematik, datavetenskap och kemi. Skola 145 ligger i Persherskyi-distriktet i Kiev, i själva hjärtat av Ukraina, och tillkom på ett gemensamt initiativ mellan staden Kiev och universitetet i Kiev.

Skola 145 startades 1962 i Ukraina, som då var en del av Sovjetunionen. Redan från början inrättades den som en elitskola. Antagningen var mycket selektiv, med såväl skriftliga som muntliga tester. Man använde alltså inte en antagning baserad på betygen från det vi i Sverige skulle kalla högstadiet, utan det var testerna som var avgörande. Antagningssystemet har varit detsamma sedan starten och ändrades inte när Ukraina lämnade Sovjetunionen 1991. Det enda som tillkommit är att de som klarar testerna nu också får träffa en psykolog som har i uppgift att bedöma studiemotivationen. Studierna i Skola 145 är nämligen mycket krävande och många elever slutar efter första året.

HAR MAN VÄL KLARAT intagningsproven är studierna på Skola 145 kostnadsfria. Lärarna är mycket välutbildade, flera med

en doktorexamen i fysik eller matematik, och med goda kontakter med Ukrainas vetenskapsakademi. Eleverna får också viss tillgång till forskningsutrustning som tillhör akademien. Av 3 000 elever som examinerats från skolan har 80 % fortsatt till högre utbildningar.

GER DENNA elitsatsning resultat? Ja, i allra högsta grad. En av bilderna ovan visar en tavla med diplom som elever från Skola 145 erhållit i olika tävlingar i matematik, fysik, kemi och datavetenskap. Den största vetenskapliga framgången för en alumni har naturligtvis Maryna Viazovska fått, som år 2022 tilldelades Fieldsmedaljen, den högsta vetenskapliga belöningen inom matematiken. Hon blev den andra kvinnan någonsin att belönas med medaljen, och hon fick den för sin lösning av sfärpackningsproblemet i åtta dimensioner från 2017. Problemet är enkelt att förklara i två dimensioner: Antag att du har en utrullad deg som du vill göra runda kakor av, och att du helt enkelt vill packa kakorna så tätt som möjligt så att

deg inte går till spillo i onödan. Problemet i åtta dimensioner är naturligtvis helt abstrakt, men frågeställningen densamma.

Frågan är då vilken fysik som ingår i skolans läroplan? Låt oss först titta på vad som gäller för en vanlig gymnasieskola. Om man väljer fysik som huvudämne så har man i klass 10 (vilket motsvarar andra året i en svensk gymnasieskola) 3 timmar fysik i veckan, totalt 105 timmar. Samma gäller för årskurs 11. Kursinnehållet liknar det man läser i Sverige enligt gällande ämnesplan för fysik.

I skola 145 läser eleverna istället 6 timmar i veckan, totalt 210 timmar, i både årskurs 10 och 11. Redan i årskurs 10 läser man delar av den speciella relativitetsteorin: Michelson-Morleys experiment, Einsteins relativitetsprincip, Lorentztransformationer och begrepp som den fyrdimensionella rumtiden. Kursen i molekylfysik är mycket ambitiös, med koncept som Avogadros tal, den ideala gasen som fysikalisk modell, Brownsk rörelse, fasjämvikt, fasövergångar och de grundläggande begreppen i termodynamik. I mekanikkursen ingår inte mindre än 18 demonstrationer. Kursen i experimentell fysik innehåller 22 laborationer, till exempel elastiska och inelastiska kollisioner.

Läroplanen anger detaljerat vad eleven ska kunna i varje kurs, som sedan avslutas med ett pedagogiskt projekt.

ÅRSKURS 11 INNEHÅLLER en ordentlig dos ellära, och man kommer i kursens andra del in på elektromagnetisk strålning och Maxwells ekvationer. I optikkursen kommer man in på interferens, diffraktion och laserns princip och funktion. I kursen atom- och kärnfysik införs Bohrmodellen, Frank-Hertz experiment diskuteras, liksom Heisenbergs osäkerhetsrelation. I kärnfysik-delen behandlas naturligt och artificiell radioaktivitet, olika typer av radioaktiv strålning, kärnreaktorer och grundläggande partikelfysik.

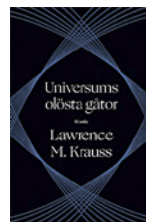
Detta var några axplock i den mycket ambitiösa och krävande kursplanen för fysik i Skola 145, som alltså visar hur en elitesatsning på fysik kan se ut på gymnasienivå.

MATS LARSSON  
professor, Stockholms universitet

# Spännande om vår tids stora gåtor

## Universums olösta gåtor

Lawrence M Krauss  
Översättare:  
Claes Bernes  
Förlag: Fri Tanke  
Antal sidor: 264  
Utgiven: april 2024  
ISBN:  
978-91-89-52606-8



■ Tid, rum, materia, liv och medvetande, visst kittlar det att få veta mer om dessa fem gåtor! Boken är skriven av astrofysikern Lawrence M Krauss, så de fem kapitlen diskuterar frågorna på mycket olika nivåer. Tid, rum och materia ligger nära en fysiker. Här får vi en genomgång av det aktuella forskningsläget, och det är spännande. Kanske trodde vi att begreppet tid är något relativt enkelt, med enheten sekunder, men nej – det är kanske ett av de svåraste begreppen inom den moderna fysiken! Har tiden en början? Kan den upphöra? Går det att resa i tiden?

SÅ STIGER SVÄRIGHETSGRADEN för de tre första kapitlen, och redan i det tredje är det många resonemang som slutar med att ”vi måste erkänna att vi faktiskt inte vet”. Men Lawrence M Krauss har ett inkluderande språk, vi hänger med i hans resonemang och han ger oss flera tankeexperiment för att förstå hur tid, rum och materia hänger samman. Är universum öppet, slutet, plant? Alla

möjligheter diskuteras. Och höjdpunkten, materia, vad är det? Trots att vi endast känner till en lite del om vår omvärld, ty vi har stora okända områden, som mörk materia och mörk energi, kan vi med Krauss följa med på en resa från universum till kvantfysiken. Och i detta kapitel lockar Krauss text mig till att leta efter fler referenser, att läsa vidare.

Så kommer kapitlen om liv och medvetande, och här vet vi än mindre. Krauss leder oss in i sina tankar, mot bakgrund av den vetenskapliga kunskapen vi har idag. En spännande resa, och en utmärkt populärvetenskaplig bok om flera av vår tids stora gåtor.

VARJE KAPITEL INLEDS med några tänkvärda citat, och det citat som står vid efterordet ger ett slags sammanfattning av boken:

*”Vi måste uppleva vår tillvaro sådan den är, antingen den är drömlig eller mardrömsaktig, och vi måste genomleva den i vaket tillstånd. Vi lever i en värld som är helt genomlyst av vetenskapen och som är både helgjuten och verklig. Vi kan inte förvandla den till ett spel genom att bara välja sida.”*

J Bronowski

ELISABETH RACHLEW  
prof.em., KTH

FOTO: ELISABETH RACHLEW



I början av september besökte Lawrence M Krauss Stockholm för att prata om sin bok. Ett motsvarande samtal från juni finns på Fri Tanke's hemsida: [fritanke.se/video/christer-sturmark-meets-lawrence-m-krauss](https://fritanke.se/video/christer-sturmark-meets-lawrence-m-krauss)



# Sugen på damm?

Damm är en obestämmd mängd av **mycket små, torra partiklar** från bland annat textilier, död hud, pollen, jord och papper. Det kan bära med sig mögel, kvalster och bakterier, vilket kan orsaka allergier.

I mitten av 1800-talet påvisade Ignaz Semmelweis hygienens betydelse i sjukvården och Louis Pasteur upptäckte att bakterier kunde orsaka sjukdomar. Bakterier ansågs frodas i smuts, vilket bidrog till intresset för att avlägsna damm.

De första dammsugarna var stora, hästdragna åbäken på hjul. De parkerades utanför huset och med genom fönstren instuckna slangar sögs dammet ut. På Tjolöholms slott finns en sådan från 1905. Första dammsugaren för inomhusbruk kom 1909 då James Spangler fick patent på en bärbar, med växelströmsmotor och påse. Den finansierades och marknadsfördes av William Hoover, vilket fick till följd att "hoover" blev benämningen på dammsugare i England (!). I Amerika kallas den i stället *vacuum cleaner*, vilket är en reklam-eufemism för undertryck.

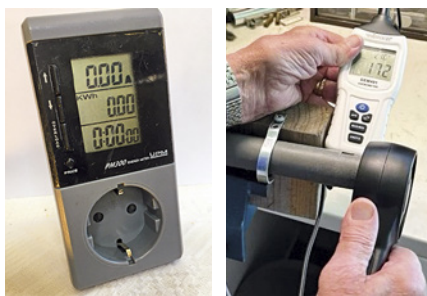
I Sverige började AB Lux 1912 tillverka stående dammsugare, som liknade skurhinkar. Electrolux modell V kom 1921 (figur 1). Den låg på golvet och gled på medar. Den blev vanlig i svenska hem när levnadsstandarden höjdes, elektriciteten byggdes ut och priserna sjönk. Industrialismen innebar urbanisering och att fler yrkesarbetade utanför hemmet. Man kom att bo i lägenhet, lite på avstånd från markens smuts. I Sverige bidrog Lubbe Nordströms rapport "Lort-Sverige" 1938 till ökat intresse för dammsugare. Därefter har både utseende ändrats och prestanda förbättrats, men liknande modeller finns än i dag i många hem. Sedan 1990-talet finns dessutom skaft- och robotdammsugare att tillgå.

## Uppbyggnad

Motorn skapar ett luftflöde som tar med sig dammet in till en behållare. Motorns



FIGUR 1 Till vänster Electrolux modell V som kan ha inspirerat till benämningen "dammsugare" på punschullen till höger.



FIGUR 2 Elmätare till vänster och anemometer till höger, som hålls intill insuget.

effekt visar dammsugarens strömförbrukning, men den säger föga om sugeffekten/ uppsugningsförmågan. Förr skröt tillverkarna med effekter upp mot 2 kW, men i september 2017 skärptes EU-kraven och nya dammsugare får högst ha en effekt på 900 W. Det spar energi och bidrar till en lägre ljudnivå.

Med en elmätare för eluttag (figur 2), kan spänning ( $U$ ), ström ( $I$ ), effekt ( $P$ ) och energi ( $E$ ) mätas. Jag mätte på tre olika 20 år gamla dammsugare, och alla fick lägre värden på effekten än det bekanta sambandet  $P = UI$  ger. Det beror på att mätaren tar hänsyn till den induktiva fasförskjutning som motorn orsakar vid beräkning av effekten.

Vidare är startströmmen något större. Hålls insuget fritt i luften drar dammsugaren en viss ström, men tapper man till en del av insuget hörs tydligt att motorns

varvtal ökar.

Något överraskande minskar då strömmen. Tydligt blir motorn mindre belastad.

Med lägre märkeffekt får munstyckets, rörets och slangens utformning ökad betydelse för sugeffekten ( $P_{\text{sug}}$ ). Den fås som produkten av luftflödet ( $vA$ ) där trycket ( $p$ ), det vill säga  $P_{\text{sug}} = pvA$  där ( $v$ ) luftens fart och ( $A$ ) rörets tvärsnittsarea. *Råd och Rön* mätte 2022 sugeffekter på 20–30 % av märkeffekten. Med anemometern (figur 2) mätte jag upp drygt 15 m/s, vilket med  $A \approx 10 \text{ cm}^2$  ger ett flöde på cirka  $15 \text{ dm}^3/\text{s}$  och med en sugeffekt på 375 W (25 % av märkeffekten 1 500 W) ett (under)tryck på runt 25 kPa.

## Med eller utan filter

Vid insuget sitter en behållare som ska ta hand om dammet. Förr var det en tygpåse som man tog ut och skakade (utomhus). Den ersattes av engångsdammsugarpåsar av papper som var fukt känsliga. Påsar av syntetiska mikrofilter filtrerar bättre, och somliga sägs vara antibakteriella. Före motorn sitter ett filter, som ska skydda den. Det kan lätt tas loss och bör skakas (utomhus) några gånger per år. Om det sätts igen, eller om påsen är full, minskar luftflödet och sugeffekten avtar. I värsta fall kan motorn gå varm och stanna.

På senare tid har påslösa dammsugare blivit populära. Man slipper påsbyte, praktiskt och bra för miljön. Deras vanligtvis transparenta dammbehållare rymmer mindre och behöver tömmas oftare, med risk att sprida innehållet. Det



FOTO: PIXABAY

syns dock när den är fylld och om något önskat sugits upp. På dammsugare utan påse behöver filterbyte utföras oftare, speciellt i hushåll med allergiker eller husdjur.

I utblåset sitter vanligen ett filter av HEPA-typ (High Efficiency Particulate Arresting), som ska hand om det finfördelade damm som passerat påse och motorfilter (figur 3). Ett sådant lär ha utvecklats för tyska gasmasker under andra världskriget och kom att användas i kemiska, biologiska och radiologiska/nukleära sammanhang. De kom ut på marknaden på 1950-talet, och registrerades som varumärke, vilket blivit synonymt med effektiva filter. Det finns olika filterklasser H12 till H17 och för dammsugare anses H13, som ska ta bort 99,97 % av partiklar större än  $0,3 \mu\text{m}$ , vara lämpligt

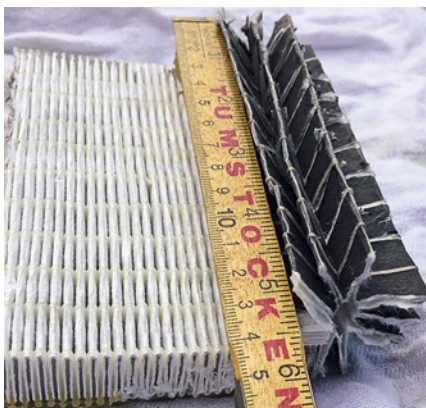
Det vita, pappersliknande fibermaterialet är vikt som ett dragspel. Vikningen ökar filtrets kontaktyta med luftströmmen, vilket förbättrar filtreringen utan att minska luftflödet. Dammets väg genom filtret blir krokig, vilket ökar sannolikheten för absorption via kollisioner. Laddade partiklar fastnar också även om de är mycket små, eftersom filterfibrerna är elektrostatiskt laddade.

## Skaftdammsugare

Edward Yonkers föreslog redan på 1930-talet en påslös variant, där koner eller cylindrar skulle användas för att skapa en virvlande, cirkulär rörelse. En idé som James Dyson plockade upp på 1980-talet. Centrifugalkraften separerar ut tyngre dammpartiklar, som kan fångas upp i en enkel behållare.

Utan påse bibehåller dammsugaren ett ganska konstant luftflöde. Den renade luften passerar sedan ut igen genom ett HEPA-filter, som fångar upp eventuella kvarvarande partiklar.

Enligt *Råd och Rön* ligger sugeffekterna på 30–100 W för motoreffekter på 270–660 W, det vill säga, sugeffekter på 15 % av märkeffekten. Anemometern kom följaktligen bara upp till drygt 6 m/s. Batterikapaciteter på 2,6–5 Ah ger korta drifttider på 10–20 min, och den låga sugeffekten gör skaftdammsugaren mer läm-



**FIGUR 3** Ett HEPA-filter från min ena dammsugare. Arean efter utvikning är cirka 15 gånger större än när det är hopvikt.

FOTO: MAX KESSELBERG

pad som komplement, enkel och snabb att plocka fram.

## Robotdammsugare

Robotdammsugare lanserades i Sverige i början 2000-talet. På undersidan av robotdammsugaren sitter vanligen roterande borstar och rullborstar. Dessa föser ihop dammet som sedan sugs upp. Sugförmågan är mindre än hos en vanlig dammsugare. Dammet samlas i en liten plastbehållare som bara rymmer några deciliter och måste tömmas ganska ofta, varför det finns risk för spridning av innehållet precis som för andra påslösa varianter. Allt vanligare är en rymlig tömningsstation, ibland med påse, där roboten själv kan tömma innehållet.

De första modellerna stötte sig slumpmässigt runt i rummet, missade en del områden på golvet, fastnade på tjocka mattor, kom inte över trösklar, inte under möbler och kunde ramla ner för trappor. Sedan dess har precisionen på rörelsen förbättrats med accelerometer och gyroskop.

Vidare används ToF-sensorer (Time of Flight), som mäter hur lång tid reflexen/ekot tar från närliggande föremål, och beräknar avståndet. De robotar som utnyttjar ultraljud ( $> 40 \text{ kHz}$ ) kan varna för trappor och bestämma olika golvtyper. De fungerar i alla ljusförhållanden oberoende av föremålets färg och optiska reflektans. Vanligast är de robotar, som inspirerade av bilindustrin utnyttjar IR-laser (905 nm) och då främst genom LIDAR (Light Detection and Ranging). Med vanligen

rundstrålande laser genereras en 2D-karta av planlösningen. Det kan dock uppstå problem med oönskade reflexer och under vissa ljusförhållanden, samt om rummet är mycket dammigt.

Top notch är de med kamera-navigation som ger en bild av robotens omgivning, vilket gör att den kan upptäcka och undvika hinder, även om kameror kan ha svårt att upptäcka föremål och navigera i svag belysning. Vissa modeller erbjuder videoströmning i realtid, objektigenkänning och röststyrning. Utöver vanlig fjärrkontroll finns WiFi-appar, för att övervaka och styra robotdammsugaren till att städa var och när man önskar. Men användningen av kameror kan orsaka integritetsproblem, eftersom de kan fånga bilder eller videoklipp av hemmet. Den informationen kan ses ”utifrån”, både av nyfikna och ondsinta personer.

Roboten måste själv avgöra när laddning behövs. Den använder en coulombräknare som mäter hur mycket ström som passerar under viss tid och beräknar kapaciteten. Ligger den under batteriets nominella kapacitet återgår robotdammsugaren till laddstationen. Batterier är vanligen av Li-jon typ.

Ljudtrycksnivån ligger runt 60 dB(A) och tömningsstationer har upp mot 70 dB(A), båda mätt 1,6 m från roboten. Fullt i klass med vanliga dammsugare, medan sugeffekten är en storleksordning mindre.

De flesta av dagens robotar erbjuder sig också att torka golv medelst en mopplingsfunktion. En mikroduk behöver då fästas under roboten och en liten vattenbehållare fyllas på.

Gamla dammsugare ersätts i hemmen alltmer av skaftdammsugare och robot-diton. När vanlig intelligens kompletteras med AI kommer säkert ytterligare finesser att implementeras, men knappast RUT-avdrag.

MAX KESSELBERG  
Fysikum,  
Stockholms  
universitet



# Upptäck och utforska med Stella



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

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

Gör det  
komplicerade  
begripligt



## Tryckt och digitalt i ett paket!

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



Läs mer på [nok.se/stella](http://nok.se/stella)