

Excitoner · Kaffefläckens fysik · Fysikförebilder

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 1 • JAN 2025



**Vackra färger
i vinterskymningen**

ISSN 0283-9148

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: Michael Odelius,
odelius@fysik.su.se

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

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

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

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

Bankgiro: 5402-5499

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

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

Sektioner

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

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos.
Redaktör är Anders Kastberg.

Fysikaktuellt

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

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

Ansvarig utgivare: Michael Odelius.

Kontakta redaktionen via:
fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

Manusstopp och deadline för annonsbokning:
för Fysikaktuellt 2/2025 är 24 mars 2025.

Medlemskap

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

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



Medlemsförmåner

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

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2025



OMSLAGSBILDEN: Polarstratosfäriska moln bildas på hög höjd vid mycket låga temperaturer. Vid rätt belysning skimrar de i regnbågens alla färger, och kallas på "pärlmormoln". Läs mer på sidan 7.

Foto: Peter Dalin

Stödjande medlemmar

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

Stödjande institutioner

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

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 SIGNERAT
Michael Odelius
- 4 AKTUELLT
- 4 LISE MEITNER-DAGARNA
- 6 PARTIKELDAGARNA 2024
- 7 POLARNATTENS
PÄRLEMORSKIMMER
- 10 WALLENBERGS FYSIKPRIS
- 13 FYSIKHISTORIA
Max Planck i Sverige
- 14 AVHANDLINGEN
Ljusets dans med
materia i tunna material
- 17 INTERVJU
Raul Perea Causin
- 18 RECENSION
- 19 SKRIDSKOFYSIK
- 22 TEKNIKENS HUS
Lekfullt lärande väcker
intresse för vetenskap
- 23 BEHÖVS FLER
FYSIKFÖREBILDER?
- 26 GOD FYSIK
Kaffefläckar
- 27 DEBATT
Matematik-
och fysikprovet
- 30 VARDAGENS FYSIK
Brödrosten



Hur funkar egentligen skridskor?
Läs mer om is, friktion och skenor
på sidan 19

Ett mångfacetterat engagemang för fysik

Från årsskiftet har Svenska Fysikersamfundet en ny styrelse, bestående av både erfarna och nya medlemmar. Tillsammans med sekreterare, skattmästare, sektionstyrelser och redaktionerna för *Fysikaktuellt* och *Kosmos* ska vi verka för att sprida intresset för fysik.

Vad den nya styrelsen väljer att prioritera och utveckla kommer att utkristallisera sig det närmaste året, men ett viktigt uppdrag är att driva och stödja de många populära aktiviteterna; särskilt de för yngre och blivande fysiker. Det är ett arbete som genomförs av många aktivitetsansvariga. Vill du som medlem starta eller engagera dig i något projekt, eller har du idéer på något som Fysikersamfundet kan driva, så är du välkommen att kontakta någon i styrelsen. Du hittar kontaktuppgifter i den grå rutan längst till vänster på det här uppslaget.

Varför har då jag, som nu axlar rollen som ordförande, engagerat mig i Svenska Fysikersamfundet? Det här är bara en av många ideella föreningar i landet, men jag har imponerats av det engagemang jag möts av och de aktiviteter som drivs att samfundet. Jag upplever att samfundets aktiviteter i olika sammanhang både är viktiga för ämnet fysik och utgör värdefulla kontaktytor mellan universitet, näringsliv och skola.

Det är väl nu jag också måste erkänna att jag ursprungligen är kemist (hoppas det är okej!). Jag har genomgått en semantisk förvandling från fysikalisk kemist till kemisk fysiker, och arbetar numer med teoretisk kemisk fysik på Fysikum vid Stockholms universitet, där jag även är studierektor för forskarutbildningen. På Fysikum har jag också varit engagerad i samverkansprojekt som Fysiktävling för mellanstadieelever, Fysikshow och Forskarfredag.

Inom min forskningsgrupp använder vi statistisk fysik och kvantkemi för att med datorsimuleringar studera ultrasnabb molekylodynamik i vätskor och



elektroniska processer i solcellsmaterial. Vi arbetar ofta i nära samarbete med experimentella kollegor, och använder beräkningar exempelvis för att simulera röntgeninducerade processer som kan mätas vid synkrotronljusanläggningen MAX IV i Lund.

Jag har förstås ett brinnande intresse för forskning och högre utbildning, som är urvalskriterier i universitetsrollen, men jag har fått mycket energi av möten med engagerade lärare på olika nivåer. Jag vill därför gärna arbeta för ökad växelverkan mellan fysiker på skolor, gymnasium och universitet, och med fysiker i andra roller på andra myndigheter och i näringslivet.

Jag tror Svenska Fysikersamfundet har en viktig uppgift i att tydliggöra de olika roller som fysiker kan ha, och samfundets alla medlemmar kan bidra till detta, till exempel genom att engagera sig i föreningen eller skicka in artikelförslag till *Fysikaktuells* redaktion.

Jag tackar för förtroendet, och hoppas att vi ses under Fysikdagarna i Luleå i sommar!

MICHAEL ODELIUS
ordförande i Svenska Fysikersamfundet

Ny styrelse på plats

■ Vid årsskiftet tillträdde en ny styrelse för Fysikersamfundet, enligt det förslag som presenterades i *Fysikaktuellt* nr 3/2024. Den nya styrelsen ser ut som följer:

Ordförande

Michael Odelius (SU)

Styrelseledamöter

Urban Eriksson (UU) – omval

Herbert Gunnel (UmU) – omval

Julia Järlebark (Chalmers)

Emely Kjellsson Lindblom (SU)
Linda Megner (SU) – omval
Susanne Tegler (Spyken, Lund)
Peter Christiansen (LU)
Katarina Wilhelmson (FOI) – omval
Maria Åstrand (Epiroc)
IVA
Mattias Marklund (GU)
KVA
Richard Brenner (UU)
Göran Johansson (Chalmers)
Eva Lindroth (SU)

Webbtipset



KVA på Youtube

■ Du har väl inte missat att KVA har en egen kanal på Youtube? Här kan du både se både inspelade och pågående föreläsningar.

Bland annat pratar Eva Malmström Jonsson, professor i ytbehandlingsteknik vid KTH, om nya material baserade på träåvara, Ericka Johnson, professor i genus och samhälle vid Linköpings universitet, om hur fördomar påverkar AI, och Jan-Erik Wahlund, docent i Rymdfysik vid Uppsala universitet, berättar mer om JUICE-projektet

www.youtube.com/user/Vetenskapsakademien



Saknar du medlemsavin?

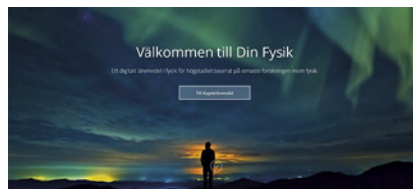
■ Har du inte fått din medlemsavi? Vi har haft problem med att mejlen med avier för medlemskap "studsar". Mejlen skickades ut under januari, så om du inte har fått din avi: kolla gärna så att den inte hamnat i skräpposten, att din mejlkorg inte är full eller att du inte har en gammal adress i medlemsregistret!

Behöver du en ny avi? Mejla samfundets skattmästare på lage.hedin@physics.uu.se! Du kan också betala din medlemsavgift direkt till bankgiro **5402-5499**. Kom i så fall ihåg att ange namn och adress.

Nytt läromedel i fysik på gång

■ *Din Fysik* är ett nytänkande digitalt läromedel i fysik för högstadiet som Svenska fysikersamfundet stöttar. Projektet har nu beviljats medel från Kungl. Fysiografen och kommer att börja skrivas under 2025.

Genom att låta svenska fysiker skriva texterna vill vi att *Din Fysik* ska bli Forskarsveriges läromedel. *Din Fysik* kommer att vara fritt tillgängligt och därmed också en källa till fysikkunskap för en intresserad allmänhet. Vi ser



det som en möjlighet att på lång sikt förändra samhällets syn på fysik och naturvetenskap.

Projektet leds av en redaktion bestående av, förutom Johan Mauritsson och Christina Kjellstrand från *Fysikaktuells* redaktion, Ami Knee och Adam Arvidsson som båda är lärare i fysik.

LISE MEITNER-DAGARNA

Uppskattad fysikhelg på AlbaNova

Sista helgen i november arrangerades de tionde **Lise Meitner-dagarna** på AlbaNova i Stockholm med stor framgång.

I år deltog 130 gymnasieelever, det största antalet sedan innan pandemin. Eleverna fick gå på intressanta föreläsningar inom olika fysikrelaterade ämnen, delta på aktivitetsspass hållna av olika utställare och även göra roliga laborationer på Vetenskapens Hus med Wallenbergs fysikpris. Oseenmedaljen delades även ut under dagarna, och årets pristagare Max Karlsson höll ett tal i samband med detta (läs mer om Max forskning i *Fysikaktuellt* nr 2/2024).

Bland annat föreläste Imre Pázsit om framtidens reaktorer och Kim-Ngan Nhu-Hoa Tarnawski om hur det kom sig att hon började jobba med fysik. De båda är också författare till en bok om upptäckten av fission och Lise Meitners roll i detta, som delades ut till alla deltagare, något som uppskattades av både deltagarna och författarna.

På lördagskvällen hölls en finsittning för deltagarna på Hotell Birger Jarl, likt sådana som förekommer i universitetlivet. Där fick deltagarna mingla och sjunga många sånger med fysiktema, tagna direkt från olika lärosäten i Sverige.

Låter detta intressant? Är du elev eller fysiklärare på gymnasiet? Planeringen för de elfte Lise Meitner-dagarna är i full gång. De kommer äga rum runt november 2025. Titta gärna in på vår webbplats (lisemeitnerdagarna.se) för mer information om innehållet och hur anmälan går till!

EMMA ERICSSON

Arrangörgruppen för Lise Meitner-dagarna 2024



De 130 deltagarna demonstrerar högerhandsregeln på AlbaNova i Stockholm.

FÖR LÄRARNA

Föredrag, finaluppgifter och labbar med mobilen

■ I samband med Lise Meitner-dagarna för gymnasieelever anordnade undervisningssektionen även en fortbildning för ett tjugotal lärare på AlbaNova de två sista dagarna i november. Delar av programmet bestod av föredrag gemensamt med gymnasieeleverna, medan andra delar var enbart för lärarna.

Det lärarspecifika programmet inleddes efter lunch första dagen med att Max Kesselberg höll ett föredrag, där han tipsade om och visade ett stort antal spännande experiment. Därefter följde ett laborationspass, där deltagarna i mindre grupper fick prova på tidigare uppgifter från finalen i Wallenbergs fysikpris, såväl som ett antal nya laborationer som utnyttjade mobiltelefonappen Phyphox. Dagen avslutades med en gemensam, trevlig och god middag på restaurang.

På förmiddagen den andra dagen fortsatte lärarprogrammet med en blandning av föredrag, informations- och diskussionspunkter. Jesper Haglund höll ett uppskattat föredrag med didaktisk inriktning om användning av värmekameror för ökad förståelse i fysikundervisningen och Johan Maurittsson tog upp ett stort antal fascinerande exempel på fysik inom matlagning. Mellan de båda föredragen diskuterades den nya gymnasierformen Gy25 och Sam Edgecombe informerade om IYPT (International Young Physicists' Tournament), där den stora "världsfinalen" arrangeras i Lund till sommaren (läs mer om det i *Fysikaktuellt* nr 4/2024).

Efter lunch var lärarfortbildningen slut, men några av deltagarna valde att stanna kvar och lyssna på fler föredrag tillsammans med eleverna på Lise Meitner-dagarna.

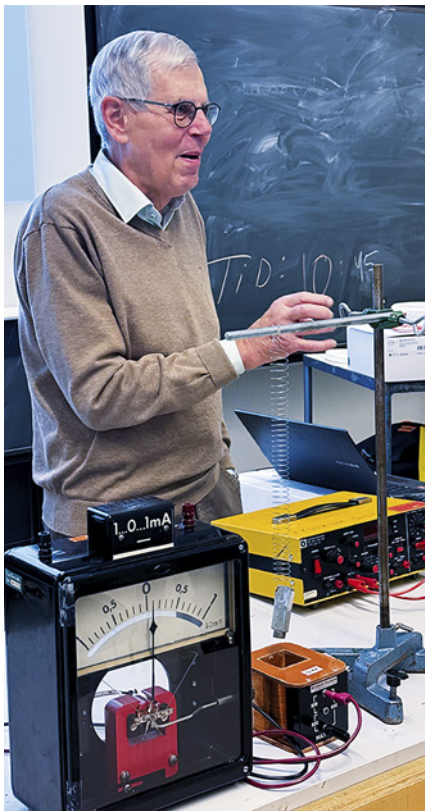
HANS JAKOBSSON
ordförande i Undervisningssektionen



Max Karlsson presenterar sin prisvinnande avhandling.



Fredagens utställning: universitet och föreningar pratade om sina verksamheter.



Max Kesselberg höll föredrag för lärarna under deras fortbildningsdagar.

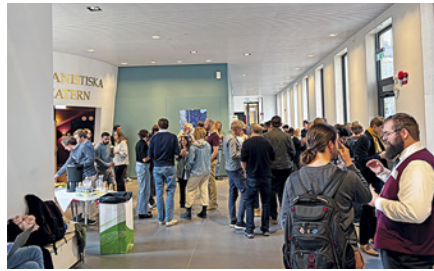


FOTO: NILS HERMANSSON-TRUEDSSON

Uppsala bjöd på strålände höstväder och spännande fysik.

Partikeldagarna 2024

Löv, långsamt singlande ned i Fyrisån för att sedan raskt föras bort med vattnet. Bara men likväl ståtliga träd i ett hav av gult, utanför Humanistiska Teatern i Engelska Parken. Det var ett Uppsala i höstskrud som väntade **Sveriges partikelfysiker** under Partikeldagarna i oktober 2024.

Partikeldagarna är ett årligt återkommande möte för Svenska Fysikersamfundets sektion för elementar- och astropartikelfysik. Målet är att samlas fysiker för att diskutera aktuell svensk forskning inom fältet. I Uppsala samlades cirka 70 forskare för ett tvådagarsprogram, med 40 föredrag om både teoretiska och experimentella studier.

Den första dagen började med en rejäl dos teori, om precisionstest av partikelfysikens Standardmodell, teoretiska omformuleringar för att förenkla de oftast komplicerade beräkningar som krävs för att förstå vad som händer vid till exempel den stora hadronkollideraren (LHC) på CERN, samt eventuella utvidgningar av Standardmodellen som kan lösa några av de riktigt stora frågor vi har om hur mikrokosmos är beskaffat. Efter en

kaffepaus med ingående fysikdiskussioner och kära återseenden blev det ett inbjudet föredrag av Mauricio Bustamante från Niels Bohr-Institutet i Köpenhamn. Detta var en utmärkt överblick om högenergetiska kosmiska neutriner och vad vi vet om dem i nuläget, samt vad vi tror och hoppas kommer kunna veta inom en rimlig framtid. I Sverige har vi mycket neutrinforskning, bland annat för IceCube-experimentet på Sydpolen, som under mötet diskuterades i olika föredrag.

DET VETENSKAPLIGA programmet fortsatte med mörk materia som gäckt fysiker i snart hundra år. För att kunna förklara observationer inom astronomin vet vi att den mörka materien måste finnas, och det var Lundaprofessorn Knut Lundmark som myntade begreppet år 1930. Den mörka materiens natur är fortfarande ett mysterium eftersom vi hittills inte har kunnat studera den i partikelfysikexperiment, som LDMX eller ALPHA där Sverige är involverat. Detta spännande fält är utan tvekan något att hålla ett öga på för framtiden.

Efter avslutande föredrag om tungjonsfysik och experimentella test av fundamentala symmetrier vid LHCb och BESIII var det dags för den efterläng-

tade konferensmiddagen. En kort promenad förbi Domkyrkan ledde oss till en italiensk restaurang, där vi åtnjöt en trerättersmeny med tillhörande alkoholhaltig eller -fri dryck. Mätta och belåtna på både gnocchi och fysik återvände vi sedan till våra hotellrum, med höga förhoppningar för den stundande morgondagen.

DAG TVÅ AV PROGRAMMET började med rapporter från allehanda kommittéer, som exempelvis European Committee for Future Accelerators. Partikeldagarna är ett utmärkt forum att få en inblick och diskutera partikelfysik i ett bredare perspektiv. Sarah Williams, inbjuden från University of Cambridge, gav sedan en intressant och välstrukturerad översikt om utforskandet av fysik bortom Standardmodellen vid LHC och framtida uppgraderingar. Sverige är starkt involverat i olika typer av fysikexperiment på CERN, och som en del av samhället måste vi även ta ansvar för den klimatpåverkan vår forskning har på vår planet. Det var motiverande och uppfriskande att se ett stort intresse och engagemang för denna fråga under andra dagens eftermiddag. Konferensen avslutades med föredrag om bland annat kosmologiska fasövergångar, fundamentalfysik som i framtiden ska studeras vid European Spallation Source i Lund, samt händelsegeneratoren Pythia och dess roll som forskningsinfrastruktur av nationellt intresse.

Partikeldagarna är ett mycket viktigt forum för svensk partikelfysik, där svenska intressen och framtida planer diskuteras ingående. För unga forskare är det även en utomordentlig möjlighet att nätverka på nationell nivå, och för de riktigt unga kan det vara en bra plats att ge sitt första vetenskapliga föredrag. Mötet i Uppsala blev mycket lyckat, och vi är säkerligen många som ser fram emot nästa omgång av Partikeldagarna.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
University of Edinburgh

Läs mer

indico.uu.se/event/1633/timetable/#all.detailed



Polarstratosfäriska moln över Kiruna.

FOTO: PETER DALIN

Polarnattens pärlemorskimmer

Kalla vinterkvällar kan man ibland få se tunna moln i regnbågens alla färger pryda himlen. Dessa pärlemormoln är egentligen bara en del av de så kallade **polarstratosfäriska moln** som bildas vid speciella förhållanden runt polerna.

Polarstratosfäriska moln (*Polar Stratospheric Clouds*, PSC) är en typ av moln som förekommer på mellan 15 och 35 km höjd. De bildas alltså på högre höjd än de flesta ”vanliga” moln, men lägre än de nattlysende moln du kunde läsa om i *Fysikaktuellt* nr 2/2024. För att de ska kunna bildas måste temperaturen i stratosfären vara lägre än 193 K

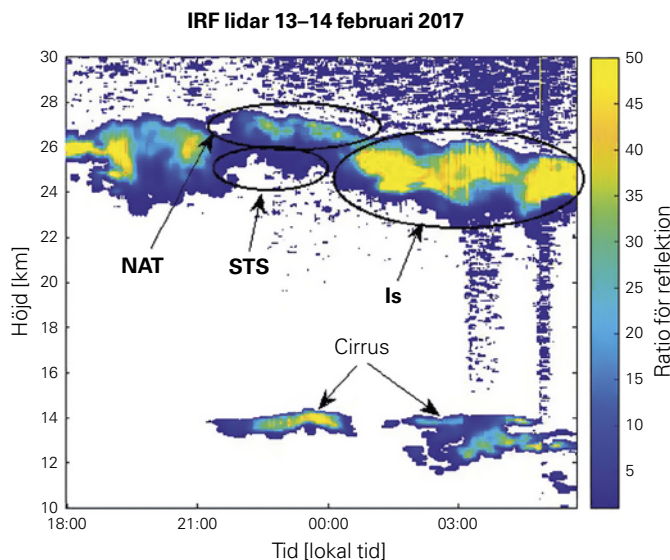
(ca -80°C). Sådana förhållanden kan bara uppstå i polarregionerna, och bara på vintern. Då är instrålningen från solen låg, vilket leder till att det bildas en virvel runt polen. Inuti virveln kyls luften gradvis ner, och så småningom når delar av den temperaturen där polarstratosfäriska moln kan bildas. I Arktis förekommer sådana moln framför allt norr om polcirkeln, men på

grund av topografin tenderar den arktiska polarvirveln att vara asymmetrisk. Och på grund av den asymmetrin kan man ibland se polarstratosfäriska moln även över södra Sverige.

Polarstratosfäriska moln kallas ofta pärlemormoln, men begreppet är inte synonyma. Polarstratosfäriska moln betecknar en specifik typ av moln, med ►

POLARSTRATOSFÄRISKA MOLN

Mätningar av ett polarstratosfäriskt moln med en markbaserad lidar i Kiruna natten mellan 13 och 14 februari 2017. Förhållandet för återreflektion hos den uppmätta signalen, det vill säga förhållandet mellan hela signalen och signalen utan molnet, visas. Atmosfäriska vågor påverkade såväl höjd som sammansättning hos det polarstratosfäriska molnet. I perioder uppstod ett cirrusmoln på lägre höjd, vilket påverkade brusnivåerna.



► utgångspunkt i var man hittar dem. ”Pärlemormoln” å sin sida refererar till molnets visuella utseende, och namnet syftar till de många färger som man kan se. Färgerna kan uppstå när molnet belyses underifrån när solen är nära eller under horisonten. Men molnpartiklarna måste också vara relativt små för att de färgspektrum som är typiska för pärlemormoln ska uppstå, och de partiklar som moln bildas kring i troposfären är oftast för stora för att man ska kunna se så många färger. Därmed är pärlemormoln i de flesta fall polarstratosfäriska moln, men väldigt många polarstratosfäriska moln ser för en betraktare inte ut som pärlemormoln, utan som vanliga tunna troposfäriska moln.

EN AV DE SAKER som skiljer polarstratosfäriska moln från andra typer av moln är att de kan innehålla andra kemiska föreningar än vatten. Man skiljer på tre huvudtyper av moln, baserat på deras sammansättning:

- NAT (*Nitric Acid Trihydrate*) – En blandning av salpetersyra (HNO_3) och vatten (H_2O) i form av väldigt små, fasta partiklar.
- STS (*Supercooled Ternary Solution*) – En blandning av svavelsyra (H_2SO_4), salpetersyra och vatten i form av små droppar, det vill säga i flytande form.
- Is – Ren is av vatten i form av relativt stora, fasta partiklar.

För NAT och STS-moln ligger medelradien för molnpartiklarna typiskt på $\leq 1 \mu\text{m}$, men för is-moln kan den vara upp till ett par μm . Dessa tre typer beskriver den övervägande majoriteten av polarstratosfäriska moln, men andra sammansättningar har föreslagits för att förklara moln som inte passar in någon av kategorierna.

EFTERSOM UTFÄLLNING OCH kondensation sker vid olika temperatur för de olika föreningar som förekommer i polarstratosfäriska moln så är molnets sammansättning beroende av temperaturen. De ”varmaste” polarstratosfäriska molnen är vanligen NAT-moln, medan de kallaste är is-moln.

När polarstratosfäriska moln sjunker från de höjder där de normalt finns leder förändringarna i atmosfäriska förhållanden till att molnpartiklarna skingras. Därmed påverkar polarstratosfäriska moln inte den kemiska sammansättningen av troposfären. Trots detta kan polarstratosfäriska moln, beroende på deras sammansättning, påverka jordens ozonlager. Vissa kemiska föreningar som bidrar till att ozonmolekyler löses upp binds, och neutraliseras därmed, av prekursorer¹ till partiklar som bildar polarstratosfäriska moln, i synnerhet NAT-moln.

¹ En prekursor är inom kemien ett utgångsämne som kan användas för att framställa ett annat ämne.

Därmed förstärker bildandet av polarstratosfäriska moln, och den resulterande minskningen av prekursorer, en försvagning av ozonlagret under vintersäsongen. Detaljerna kring hur partiklarna som polarstratosfäriska moln består av bildas är dock inte helt kartlagda, och forskning på området pågår.

DET FAKTUM ATT polarstratosfäriska moln bara förekommer på hög höjd över de mest avlägsna områdena på vår planet gör det utmanande att studera dem. Satelliter för att observera jorden har dock drastiskt förbättrat våra möjligheter. Med hjälp av satelliter kan man göra observationer som täcker i det närmaste hela jorden, oberoende av väder. Sådan data har gjort att man kunnat få fram en sammanfattning av intervallen för typiska egenskaper för polarstratosfäriska moln för både Arktis och Antarktis. Den här typen av forskningssatelliter kretsar kring jorden i solsynkrona polära banor, vilket innebär att de alltid passerar ekvatorn vid samma tid (lokalt) och, beroende på exakt hur banan ser ut, passerar samma område var tionde till tjugonde dag.

Två typer av fjärranalystekniker används för satellitobservationer: passiv och aktiv. Passiv fjärranalys bygger på att man detekterar emission av ljus vid vissa våglängdsområden. Emissionerna kommer framför allt från gaser, men också från partiklar. Med den här metoden kan man övervaka inte bara gaser – i synnerhet de som är inblandade i bildandet av polarstratosfäriska moln – utan också fördelningen av moln. Under mer än tio år utförde instrumentet MIPAS (earth.esa.int/eogateway/instruments/mipas) sådana mätningar ombord på ESA:s plattform Envisat. Idag ger MLS (mls.jpl.nasa.gov) på NASA:s Aura-satellit liknande data.

Passiv fjärranalys ger exakt data om de kemiska föreningarna, men upplösningen i höjddled för den här tekniken är i regel låg, i bästa fall ett par km. Därmed kan man inte dra några slutsatser om molnens vertikala struktur. Sådan information kan däremot fås från aktiv fjärranalys. I den kategorin är lidar det mest användbara verktyget för forskning på polarstratosfäriska moln. Den här typen

av instrument sänder ut monokromatiska pulser (genererade med laser) i det synliga eller det nära infraröda spektrumet och registrerar de ekon som reflekteras tillbaka från atmosfären. Lidar-mätningar kan ge profiler genom ett polarstratosfäriskt moln med god upplösning i höjdlid (typiskt 100 m eller bättre). På så sätt kan man undersöka det polarstratosfäriska molnets struktur. Dessutom kan man, genom att kombinera intensitet och polarisation hos ekot, dra slutsatser om vilken typ av polarstratosfäriskt moln det rör sig om. Fram tills nyligen utfördes den här typen av mätningar av CALIOP, en amerikansk-fransk lidar på CALIPSO (www-calipso.larc.nasa.gov), en av plattformarna som utgjorde en del av en grupp satelliter som gick under namnet A-Train. 2023 utvecklades CALIPSO efter 17 års framgångsrikt arbete. De här tre instrumenten – MIPAS, MLS och CALIPSO – har gett oss ovärderlig data som både hjälpt oss förstå mer om hur polarstratosfäriska moln utvecklas över en vintersäsong, och orsa-

kerna och effekterna av årliga variationer hos polarstratosfäriska molns egenskaper.

OBSERVATIONER FRÅN MARKEN kan inte ge samma typ av globala data som satelliter ger, men de är bättre lämpade för att studera specifika, lokala egenskaper hos polarstratosfäriska moln över korta perioder, från timmar till dagar. Lidar är det vanligaste verktyget för sådana observationer. Det finns ett flertal i såväl Arktis som Antarktis, och flera av dem används regelbundet för att undersöka lokala egenskaper hos polarstratosfäriska moln. I Sverige används två lidar längst i norr för den här sortens forskning – en i Kiruna, som drivs av Institutet för rymdfysik, och en på Esrange, som drivs av Meteorologiska institutionen vid Stockholms universitet. Båda instrumenten har använts för att undersöka hur atmosfärisk dynamik, i synnerhet atmosfäriska vågor, påverkar polarstratosfäriska molns egenskaper. Kiruna har också varit bas för flera internationella mätkampanjer för att undersöka mikro-

fysiken och kemin hos polarstratosfäriska moln med hjälp av *in situ*-mätningar från både ballonger och höghöjdsplan.

Vi har under de senaste decennierna lärt oss oerhört mycket om polarstratosfäriska moln, men det finns fortfarande en mängd obesvarade frågor, i synnerhet gällande hur processer i troposfären påverkar dem, och de kemiska processerna kring deras uppkomst. Klimatförändringarna väntas dessutom påverka stratosfären och därmed även förekomsten av polarstratosfäriska moln.

PETER VOELGER

Institutet för rymdfysik (IRF), Kiruna
Översättning: Christina Kjellstrand

Läs mer

I. Tritscher, M. C. Pitts, L. R. Poole, S. P. Alexander, F. Cairo, M. P. Chipperfield, J.-U. Groß, M. Höpfner, A. Lambert, B. Luo, S. Molleker, A. Orr, R. Salawitch, M. Snels, R. Spang, W. Woiwode, and T. Peter (2021): "Polar stratospheric clouds: Satellite observations, processes, and role in ozone depletion", *Review of Geophysics*, 59(2), e2020RG000702. <https://doi.org/10.1029/2020RG000702>

13-15
augusti

Fysikdagarna i Luleå

Svenska Fysikersamfundet
välkomnar dig till Fysikdagarna 2025
på Luleå tekniska universitet!

Här möts framtidens forskningsidéer
och erfarna pionjärer för att tillsammans
utforska det senaste inom fysikens värld.

Fysikdagarna innehåller föreläsningar,
workshops och studiebesök.

Ta chansen att knyta värdefulla kontakter
med kollegor och framtida
samarbetspartners.

Skanna koden
och läs mer om
Fysikdagarna.

Registreringen öppnar
längre fram i vår.



Plenarseminarier

Attosecond lasers

Anne L'Huillier, Lund University.

Trapping particles: From research on anti-matter to teaching experimental physics in high-schools

Dag Hanstorp & Jonas Enger, University of Gothenburg.

Molecular spectroscopy with frequency combs

Aleksandra Foltynowicz, Umeå University.

Quantum Computing

Per Delsing, Chalmers.

Post-Li batteries

Axel Gross, Ulm University.

Can you learn by playing games?

Erik Elfgren, Luleå University of Technology.

The second AI revolution in fundamental science research

Tommaso Dorigo, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.



FOTO: SIMON HOLMSTRÖM

Vinnande skollaget 2025 på plats i Katedralskolans labsal. Från vänster: Alexander Mossblad, Johannes Fager och Allan Ismail.

Vinnande skolor 2025

1	Katedralskolan, Växjö	76 p
2	Danderyds gymnasium, Danderyd	73 p
3	Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg	69 p
3	Katedralskolan, Lund	69 p
5	Peder Skrivares skola, Varberg	66,5 p
6	Polhemskolan, Lund	65 p
7	GTG, Göteborg	62 p
7	Minerva Gymnasium, Umeå	62 p
9	Erik Dahlbergsgymnasiet, Jönköping	61 p
10	Berzeliuskolan, Linköping	60 p

Katedralskolan i Växjö vinnare i skoltävlingen

För andra året i rad var det ett småländskt gymnasium som tog hem första platsen i skoltävlingen i **Wallenbergs fysikpris**. I år var det Katedralskolan i Växjö som tack vare eleverna Allan Ismail, Alexander Mossblad och Johannes Fager kunde kliva upp överst på prispallen och ta emot 15 000 kr till skolans fysikinstitution samt 4 000 kr var till eleverna.

En riktig ljusglimt i mörka januari är uttagnings tävlingen till Wallenbergs fysikpris som alltid hålls torsdagen i vecka 5. I år var det 445 elever från 59 olika skolor som deltog. Under fem timmar fick de försöka lösa sex kluriga teoretiska uppgifter som var och en kunde ge maximalt 5 poäng. I år hamnade gränsen för att gå till final på 22,5 poäng och flest poäng av alla, 29, samlade Allan Ismail från Katedralskolan i Växjö ihop.

Men Allan blev inte den ende finalisten från Katedralskolan. Även Alexander Mossblad och Johannes Fager kvalade in bland de arton bästa och får därför senare i vår tävla om att gå vidare ända till den in-

”Vi har många duktiga fysik-elever på Katedralskolan i Växjö.”

SIMON HOLMSTRÖM, KONTAKTLÄRARE PÅ KATEDRALSKOLAN I VÄXJÖ

ternationella fysikolympiaden. Totalt fick de tre eleverna ihop 76 poäng vilket gör Katedralskolan till segrare i skoltävlingen där resultaten från de tre bästa eleverna på varje skola adderas.

SIMON HOLMSTRÖM ÄR kontaktlärare på Katedralskolan och tror att tävlingar är en bra motivationshöjare i undervisningen:

– Vi har många duktiga fysikelever på Katedralskolan i Växjö och vi har deltagit i Wallenbergs fysikpris i flera år. Resultatet i årets lagtävling är det bästa hittills, även om vi haft bra resultat även tidigare år. Kanske beror årets fina resultat på att fler elever har deltagit i tävlingarna under de senaste åren. Sedan är ju Allan, ▶

Årets tävlingsuppgifter: Fotogen och is i salig blandning

■ Uttagningstävlingen innehöll som vanligt sex uppgifter som var och en kunde ge maximalt fem poäng. Det gällde att kunna bemästra såväl klassisk mekanik som praktiska tillämpningar där en flytande stav används för att signalera när ett lager av flygfotogen behöver fyllas på. Dessutom skulle förhållandena på den väldigt jordlika planeten Kepler-452b studeras, mängden is som smälter när du ger dig ut på en skridskotur uppskattas och, i uttagningstävlingens sista uppgift, rörelseenergin för en elektron på utflykt bestämmas.

Men den i särklass svåraste uppgiften, nummer 5, gällde

den till synes enkla rörelsen hos en liten vikt som hängts upp i en fjäder med en stump tråd. När rättningsgruppen summerade sitt arbete kunde den konstatera att lösningsfrekvensen för denna uppgift stannade på 6% och att en enda elev, Allan Ismail från Katedralskolan i Växjö, hade tilldelats full pott.

Blir du nyfiken och vill testa själv? Nedan presenteras denna uppgift tillsammans med skridskouppgiften i sin helhet. Ett lösningsförslag återfinns på tävlingens hemsida, www.fysikersamfundet.se/wallenbergs-fysikpris.

Uppgift 2: En skridskotur

■ En skridskoåkare glider på en skridsko. Friktionen mellan skridsko och is är mycket låg, friktionskoefficienten är endast $\mu = 0,01$. En viktig del för att beskriva friktionen vid skridskoåkning är bidraget från friktionssmältningen där vi kan anta att hälften av friktionsarbetet går till att smälta isen.

Skridskoåkaren väger 80 kg. Skenans bredd är 1,4 mm. Antag all smält is är rakt under skenan och att isen är nollgradig.

Hur tjockt är lagret av smält is under skenan på grund av friktionssmältningen?

Friktionssmältningen spelar en viktig roll för friktionen vid skridskoåkning.



FOTO: DDERMOTT

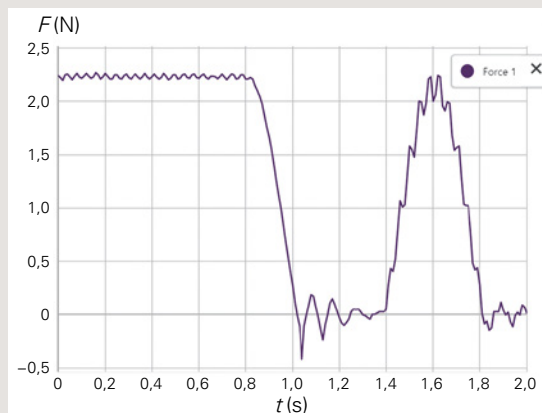
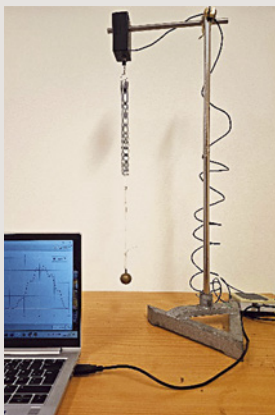
Uppgift 5: Fjäder med vikt

■ En vikt med massan 70 g hänger i ett snöre i en fjäder, se figur.

Vikten dras ner en liten bit och släpps (vid $t = 0,82$ s i diagrammet). Kraften i fjädern mäts, se diagrammet till höger.

- Bestäm fjäderkonstanten
- Bestäm viktens högsta läge, mätt från där den släpptes.

Experimentuppställning och diagram.





► Alexander och Johannes mycket duktiga elever

FÖR NÅGRA ÅR SEDAN la Katedralskolan in extra lektioner för att träna de som ville inför tävlingen, dock inte i år. Men flera av eleverna har själva tränat på gamla tävlingsuppgifter och också varit med på tävlingar i andra ämnen. Så tävlingsvana finns.

– Tävlingar är viktiga och bra för motivationen. De är utmanande och roliga! säger Allan, Alexander och Johannes

samstämmigt. De är också överens om att fysik och astronomi, men också matte och kemi, är extra intressanta ämnen.

– Det finns en logik i fysikämnet som gör att man inte behöver så mycket faktakunskap. Det är också ett ”konkret” ämne som passar den som gillar problemlösning.

Favoriten bland årets tävlingsuppgifter var nummer 5, läs mer om den på föregående sida!

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
Göteborgs universitet

”Det finns en logik i fysikämnet som gör att man inte behöver så mycket faktakunskap.”

ALLAN ISMAIL, ALEXANDER MOSSBLAD
OCH JOHANNES FAGER, KATEDRALSKOLAD, VÄXJÖ

Lördagsnöje i januari

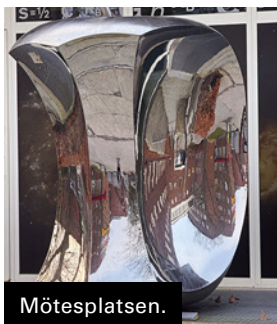
■ Lördagen i vecka 6 är det samling utanför entrén till Fysikcentrum i Göteborg kl 9.00 som gäller. I alla fall om man som fysiklärare eller tidigare tävlande vill vara med och bedöma alla lösningar som

kommer in till Wallenbergs fysikpris. I år var vi 31 stycken som hörsammat inbjudan och i grupper, en för varje uppgift, diskuterade och bestämde hur poängsättningen skulle se ut.



FOTO: JOHAN MAURITSSON

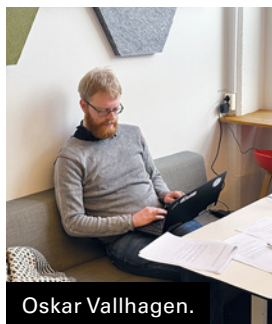
Gruppen som tog sig an uppgift 1: Sven Ljungfelt och Kerstin Ahlström i förgrunden och de tidigare olympiaddeltagarna Julia Järlebark, Lennart Küssner och Lucas Unnerfelt i bakgrunden.



Mötesplatsen.



Lucas Unnerfelt och Lage Hedin.



Oskar Vallhagen.

Finalister 2025

- 1 **Allan Ismail**, Katedralskolan, Växjö (29p)
- 2 **Leshi Zhang**, Danderyds gymnasium, Danderyd (28p)
- 3 **Noa Torstensvik**, Peder Skrivares skola, Varberg (27p)
- 3 **Ossian Wellmark**, GTG Göteborg (27p)
- 5 **Dag Sochman**, Nacka Gymnasium, Nacka (26,5p)
- 6 **Jacob Brzezinski Ädelroth**, Danderyds gymnasium, Danderyd (26p)
- 7 **Elmer Brännström**, Minerva Gymnasium, Umeå (24p)
- 7 **Jiachen Mi**, Katedralskolan, Lund (24p)
- 7 **Alexander Mossblad**, Katedralskolan, Växjö (24p)
- 10 **Erik Bengtsson**, Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg (23p)
- 10 **Olle Berg**, Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg (23p)
- 10 **Max Bylund**, Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg (23p)
- 10 **Johannes Fager**, Katedralskolan, Växjö (23p)
- 10 **Philip Franzén**, Rudbecks-gymnasiet, Örebro (23p)
- 10 **Yujing Jiang**, Katedralskolan, Lund (23p)
- 10 **Tor Lonnert**, Polhemskolan, Lund (23p)
- 10 **Jack Tjärlund**, Tycho Brahe-skolan, Helsingborg (23p)
- 18 **Loke Dennefors**, Peder Skrivares skola, Varberg (22,5p)

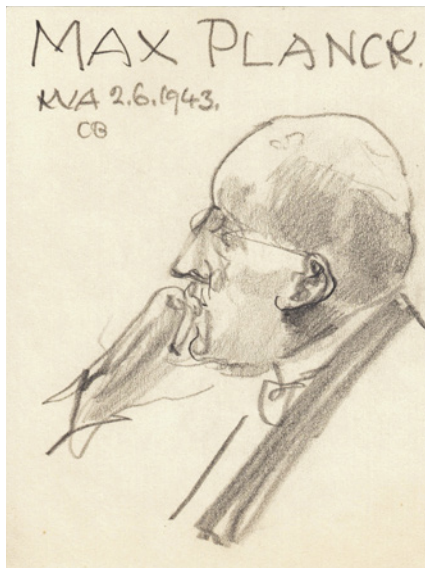
Max Planck i Sverige

År 2025 har utsetts till **Kvantmekanikens år** av FN.
Vi tittar lite närmare på teorins grundare, Max Planck.

I början av juni 1943, några månader sedan den nazityska krigslyckan vänt i öster efter slaget vid Stalingrad, reste den tyske fysikern och Nobelpristagaren Max Planck (1858–1947) med flyg till Stockholm. De nazityska myndigheterna hade nog tänkt sig att det hela var fråga om vetenskaplig diplomati, när man lät Planck besöka det neutrala Sverige. Han intervjuades i svenska tidningar och deltog tålmodigt i ett långt möte, som hölls på svenska, vid Vetenskapsakademien den 2 juni.

Planck var emellertid inte en lydiga undersåte. I Sverige kunde han nämligen få återse sin gamla kollega från Berlin, Lise Meitner (1878–1968), som sedan 1938 befann sig i Stockholm dit hon tvingats fly, då hon var av judisk börd. Nobelpristagaren i fysik 1914, Max von Laue (1879–1960) hade även han besökt Sverige tidigare under året, och hemkomsten fått skarpa reprimander från de nazityska myndigheterna efter att i Stockholm ha talat om de för nazisterna misshagliga relativitetsteorierna. Inte heller Planck räddes sådana uppsträckningar utan gav i svenska tidningar dessa teorier "sitt stora erkännande", han kommenterade även möjligheterna för en "uranmaskin". På mötet i Vetenskapsakademien träffade han förstas sina svenska kollegor. En av dem var C. W. Oseen (1879–1944) som var en central person i Nobelkommittén för fysik sedan drygt 20 år. De två hade stått i brevkontakt 1914–1915 om svårigheterna med att få ihop den klassiska elektrodynamiken med Plancks kvantfysik. Oseen hade publicerat en uppsats om dessa svårigheter och Planck skrev att han uppskattade kritiken och arbetade med att modifiera sin teori, men svårigheterna kvarstod.

I STOCKHOLM HADE Planck varit tidigare, när han tog emot det reserverade



Max Planck tecknad av Carl Benedicks (1875–1958) under Vetenskapsakademiens sammankomst 2 juni 1943.



Fem tyska och en brittisk Nobelpristagare med fruar på plats i Stockholm i juni 1920. Övre raden: Fritz Haber, Charles Barkla, Max Planck med hatt, Richard Willstätter, Johannes Stark och Max von Laue.

Nobelpriset i fysik för 1918, beslutat 1919 och utdelat 1 juni 1920. Ett år när man gjorde ett engångsförsök att flytta Nobelprisutdelningen. Planck fick sitt Nobelpris "såsom ett erkännande av den förtjänst han genom upptäckten av elementarkvanta inlagt om fysikens

utveckling". Redan 1908 hade han varit föreslagen av fysikkommittén "i anledning af dennes arbete angående värme-strålningens lagar." Likaså hade fysikklassen tillstyrkt, men akademien *in pleno* hade istället beslutat att Gabriel Lippman (1845–1921) skulle tilldelas priset för dennes "lösning af färgfotograferingens problem." eller som det formulerades på diplomaten: "för hans på interferensfenomenet grundade metod att fotografiskt återgiva färger." Och därefter fick Plancks kandidatur anstå.

PLANCKS STORA INSATS består i att han år 1900 hade studerat svartkroppsstrålningen teoretiskt och då infört en konstant, h , och på så vis fått en överensstämmelse med uppmätta data.

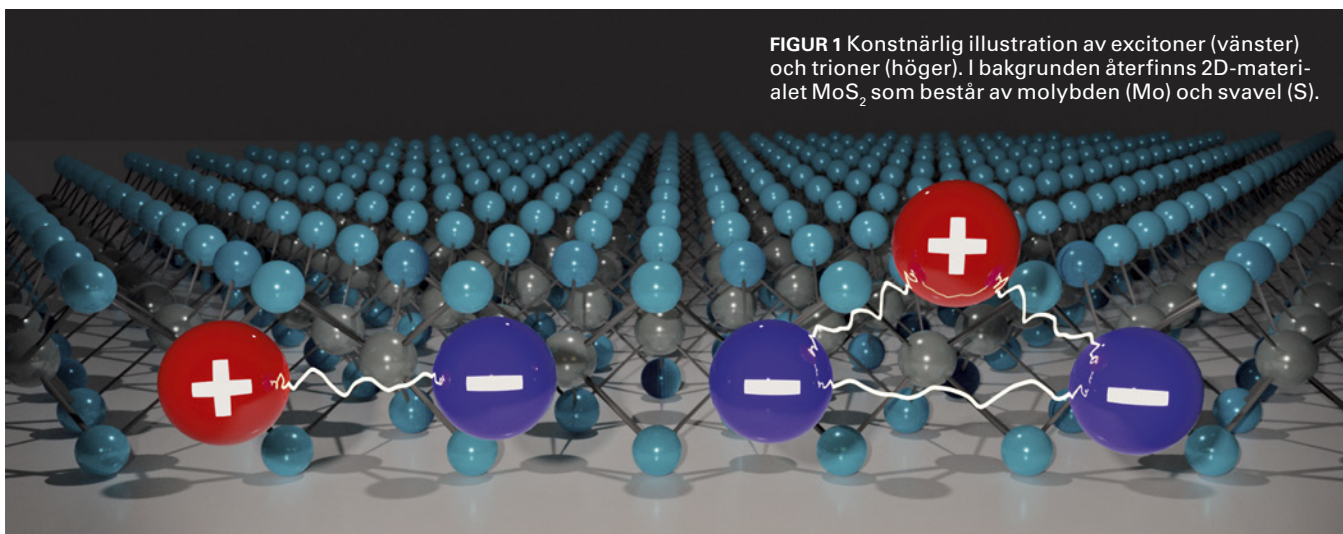
Konstanten innebar att energin måste vara kvantiserad och detta kom att utgöra grunden för utvecklingen av kvantfysiken. Einstein kom att använda Plancks resultat även om Planck själv var försiktigare i tolkningen av vad den införda konstanten innebar, men kom att fortsätta arbetet några år senare som vi sett ovan. Även om hans Nobelpris dröjde kom han att utgöra en centralgestalt för den dramatiska utvecklingen inom fysiken som följde.

KARL GRANDIN
Centrum för Vetenskapshistoria, KVA

Läs mer

Den som närmre vill lära känna Max Plancks liv och gärning har en utmärkt möjlighet då den amerikanske fysikern Brandon R. Browns biografi över Max Planck nu finns på svenska: Brandon R. Brown, *Max Planck* (Fri Tanke, 2024).

Bengt Nagel, "The discussion concerning the Nobel Prize for Max Planck" i *Science, Technology and Society in the Time of Alfred Nobel* (Pergamon Press, 1982), 352–376.



FIGUR 1 Konstnärlig illustration av excitoner (vänster) och trioner (höger). I bakgrunden återfinns 2D-materialet MoS₂ som består av molybden (Mo) och svavel (S).

AVHANDLINGEN

Ljusets dans med materia i tunna material

Morgondagens material har tjockleken av en atom och är inte alls så sällsynta som man skulle kunna tro. I sin avhandling har **Raul Perea Causin** undersökt fysiken hos excitoner och andra komplex av laddningar, med förhoppningen att kunna förbättra morgondagens 2D-halvledare.

År 2004 realiseras för allra första gången ett atomärt tunt material i ett labb av Novoselov och Geim, som bara några år senare, 2010, kom att belönas med Nobelpriset i fysik för sin bedrift. Materialet i fråga är grafen: ett enda lager av kolatomer arrangerade i ett gitter där atomerna är ordnade i samma hexagonala mönster som återfinns i en bivaxkaka. Grafen förekommer även dolt i kärnan av våra blyertspennor, där ett stort antal grafenlager tillsammans bildar grafit. Eftersom dessa lager endast är svagt sammanlänkade med varandra kan grafenet erhållas genom exfoliering, det vill säga genom använda tejp och skala av lager för lager tills endast ett lager återstår. På samma sätt som lager av grafen lossnar

Microscopic Theory of Charge Complexes in Atomically-Thin Materials

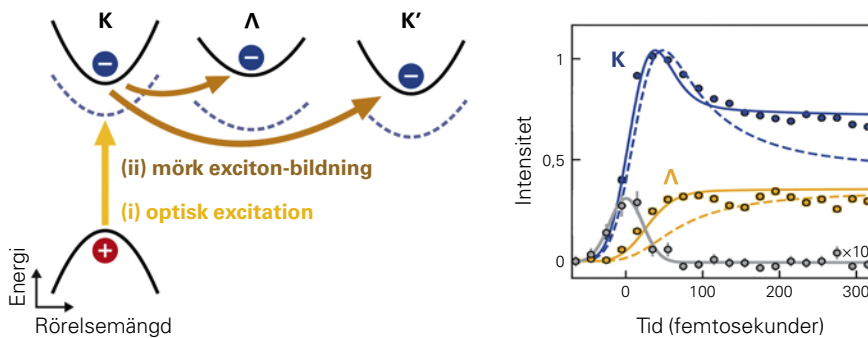
- Författare: Raul Perea-Causin
- Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2023
- ISBN: 78-91-7905-877-7
- Länk till avhandlingen: research.chalmers.se/publication/536055/file/536055_Fulltext.pdf
- Handledare: Ermin Malic, professor, Chalmers, kondenserad materie- och materialteori, fysik.
- Opponent: Prof. Atac Imamoglu, ETH Zürich, Schweiz



från pennspetsen och hamnar på pappret när man skriver med en blyertspenna kan man alltså isolera enskilda grafenlager från grafit med tejp.

Vad som gör grafen särskilt spännande och som särskiljer det från andra material är dess tvådimensionella natur, vilket lett till helt ny och revolutionerande fysik. Vid det här laget har grafen etablerats som en plattform för att studera exotiska kvantmekaniska fenomen, men materialet används även för att finna nya tekniska lösningar inom såväl elektronik och batteriteknik som medicinteknik.

KORT EFTER ATT grafen upptäcktes, isolerades även andra atomärt tunna material. År 2005 lyckades man isolera ett



FIGUR 2 Illustrationen till vänster visar den optiska excitationen av en elektron från valensbandet till ledningsbandet kring en rörelsemängd motsvarande K-punkten. Elektronen lämnar efter sig ett positivt laddat hål och tillsammans bildar elektron-hål-paret en exciton. Strax därefter får elektronen en annan rörelsemängd genom att kollidera med fononer och kan därmed forma mörka excitoner med lägre energi (streckade linjer).
 I takt med att signalen för elektroner vid K-punkten klingar av (blå punkter i den högra figuren), ökar intensiteten för elektroner vid Λ -punkten (orange punkter) strax efter den optiska excitationen. De blåa och orange punkterna (experimentell data) och de heldragna linjerna (simulerad data) visar på god överensstämmelse mellan experiment och teori.

enda lager av halvledaren MoS_2 och efter att dess optiska egenskaper kartlagts bara några år senare öppnades ett helt nytt forskningsfält på tvådimensionella (2D) halvledare. Likt grafen är MoS_2 i bulkform ganska vanligt förekommande, och används ofta som smörjmedel. Ett enda lager av MoS_2 har dock exceptionella egenskaper – det kan absorbera upp till 20% ljus, vilket är mycket imponerande för ett material som är nästan en miljon gånger tunnare än papper.

Den effektiva absorptionen av ljus i ett enda lager är en egenskap som delas av flera 2D-halvledare, och är en konsekvens av den starka attraktionen mellan elektroner och en typ av (kvasi)-partiklar kallade *hål*. I halvledare befinner sig elektroner på energinivåer i den så kallade bandstrukturen, vilken huvudsakligen består av valensbandet – som är fullt av elektroner – och ett tomt ledningsband. När ljus infaller på materialet får elektronerna en högre energi som gör att de hoppar från valensbandet till ledningsbandet. De lämnar då positivt laddade hål bakom sig i valensbandet. Coulomb-attraktionen mellan den negativt laddade elektronen och hålet resulterar i en bunden partikel kallad *exciton* (figur 1), som uppvisar likheter med en väteatom.

I konventionella halvledare spelar excitoner en mindre roll eftersom Coulomb-växelverkan är svag och det

elektriska fält som laddningarna ger upphov till är kraftigt "skärmat" av alla andra laddningsbärare i materialet. 2D-halvledare tillverkade i ett laboratorium befinner sig emellertid oftast i en mindre skärmad miljö (typiskt i luft, glas eller bornitrid), vilket möjliggör en stark Coulomb-växelverkan och hårt bundna excitoner.

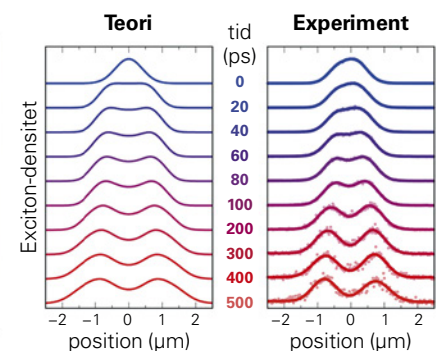
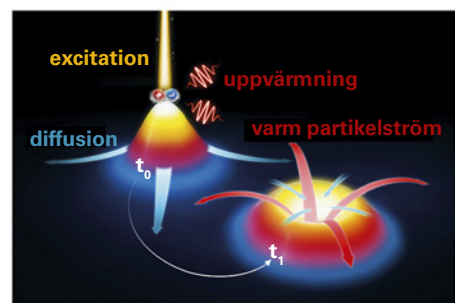
I MIN AVHANDLING HAR jag utvecklat teoretiska modeller för att beskriva fysiken hos excitoner och andra komplex av laddningar, med målet att förstå några av processerna som potentiellt kan spela en viktig roll i optoelektroniska applikationer baserade på atomärt tunna halvledare.

Den första sådana processen är den optiska excitationen, där ljus absorberas

av materialet och excitonerna skapas. Efter att excitonerna skapats gör de sig av med sin överskottsenergi genom kollidera med fononer (kvasi-partiklar som beskriver kollektiva vibrationer hos den underliggande kristallstrukturen) tills de uppnår termisk jämvikt med atomgittret och större delen av excitonerna befinner sig i de energitillstånd som har lägst energi.

I WS_2 , ett material som tillhör samma materialklass som MoS_2 , förekommer det två typer av excitoner, ljusa (*bright*) och mörka (*dark*), där de mörka har lägst energi. Medan ljusa excitoner skapas direkt vid en optisk excitation, kan mörka excitoner inte växelverka alls med ljus. För att kunna observera mörka excitoner har experimenter från Tyskland och Japan uppmätt energin och rörelsemängden hos elektroner genom att använda sig av en teknik kallad ARPES. Mätningarna visar att den optiska excitationen genererar elektroner med en rörelsemängd nära den så kallade K-punkten i det reciproka rummet och, kort därefter, erhåller en stor andel av elektronerna en annan rörelsemängd motsvarande en övergång till Λ -punkten (figur 2). Elektronerna själva förväntas inte att vara vid Λ -punkten eftersom deras energi skulle vara alltför hög.

Genom att använda verktyg från kvantmekanik och numeriska simuleringar, visade jag att andelen elektroner vid Λ -punkten är hög på grund av bildandet av (mörka) excitoner med låg energi. De experimentella och teoretiska resultaten visar på att bildandet av mörka



FIGUR 3 En kraftfull laserpuls genererar ett tätt excitonmoln som först diffunderar och hettas upp. När de heta excitonerna flödar iväg utåt, töms regionen i mitten av molnet och excitonmolnet utvecklas till en ring-lik form. I figurerna till höger visas numeriska simuleringar och mätningar av expansionen av excitonmolnet längs en axel i rummet.

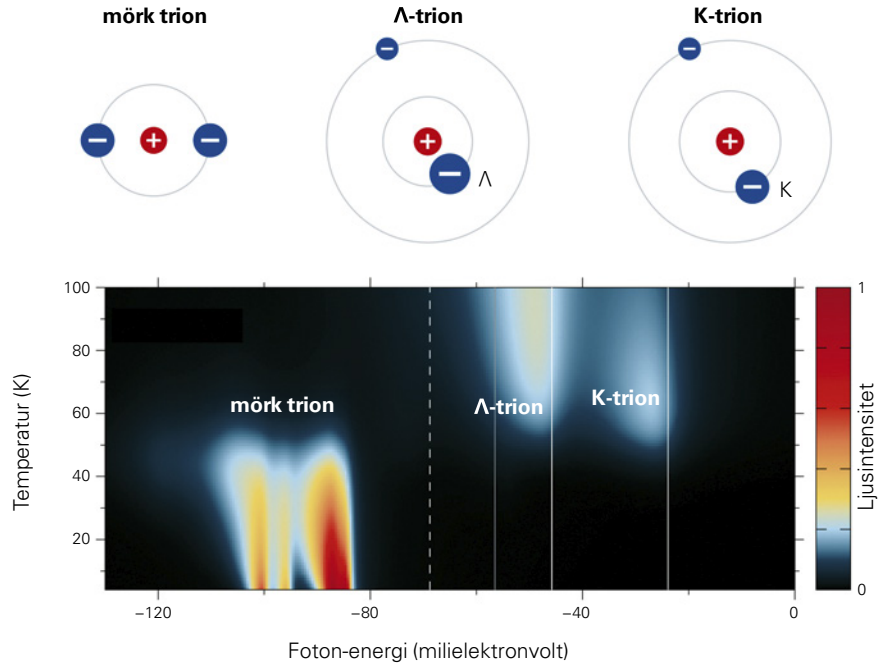
► excitoner sker på den ultrasnabba tidsskalan av 100 femtosekunder. På en så kort tid färdas ljuset endast en sträcka motsvarande tjockleken på ett hårstrå!

På en längre tidsskala kan excitonerna röra sig i rummet, och tillryggalägga en distans på 1 mikrometer på 1 nanosekund. Denna process kan spåras genom att mäta det ljus som uppstår när excitoner spontant förstör sig själva som funktion av tid och position.

Ett moln av excitoner genererat av en svag laserpuls expanderar likt bläck i ett glas vatten genom att excitonerna kolliderar med fononer. Experiment visar dock på att ett tätt excitonmoln genererat av en kraftfull laser expanderar fortare och utvecklas till en ring-lik form (figur 3, föregående uppslag).

Mina simuleringar visar att detta fenomen kan förklaras genom att det täta excitonmolnet hettas upp. Ibland kolliderar ett par excitoner. Då förstörs en av dem och energin ges till den överlevande excitonen. All överskottsenergi omvandlas till värme och därför flödar heta excitoner mot kallare regioner av excitonmolnet, mittregionen töms, och en ring-lik form uppstår.

SÅ HÄR LÅNGT HAR vi antagit att det finns ett liknande antal elektroner och hål i systemet, så att de flesta av laddningarna kan paras ihop och bilda excitoner. I många fall är dock materialet dopat, vilket innebär att det finns en större andel elektroner än hål, eller tvärtom. Då är det fördelaktigt



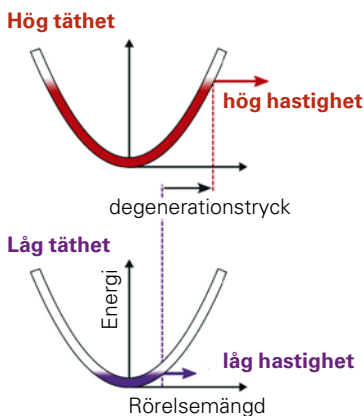
FIGUR 5 Den mörka trionen som har elektroner där massan är densamma är den mest stabila trionen i WSe_2 . K- och Λ -trioner är mer instabila och har elektroner med olika massa, där den lättare elektronen befinner sig längre bort från hålet, vilket gör att bindningen lättare kan brytas. Ljusemissionen domineras av mörka trioner vid låga temperaturer och ljusa trioner vid högre temperaturer. Den lägre fotonenergin för Λ -trioner jämfört med K-trioner är en konsekvens av den stora mängd energi som behöver tillföras för att bryta loss den tunga Λ -elektronen. Fotonenergin är här uttryckt relativt excitonenergin.

för varje exciton att binda till ytterligare en laddning och bilda ett tre-partikelkomplex kallat trion (figur 1).

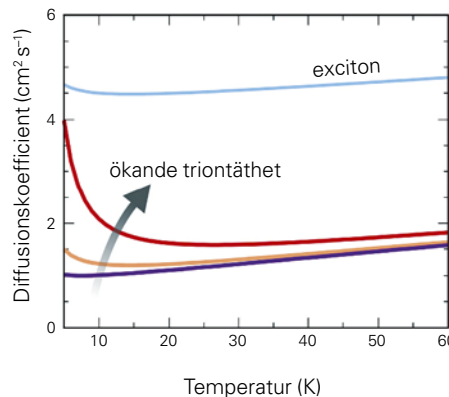
Dopning kan manipuleras experimentellt och materialets egenskaper beror till hög grad hur dopat materialet är. Exempelvis har trioner en elektrisk laddning och kan därför generera en elektrisk ström – vilket är önskvärt i många

elektroniska applikationer. Excitoner däremot är oladdade och kan därför inte interagera med elektriska fält (såvida fälten inte är starka nog att bryta isär excitonen).

Medan excitoner är bosoner är trioner intressant nog fermioner och kan ge upphov till ett så kallat degenerationsstryck (*degeneracy pressure*), samma fenomen som hindrar neutronstjärnor från att kollapsa. Detta gör att trionerna kan propagera snabbare vid låg temperatur och hög täthet (figur 4).



FIGUR 4 Vid ökande triontäthet tvingas trioner att ockupera kvanttillstånd med högre energi och hastighet. Detta fenomen kallas degenerationsstryck och resulterar i en högre diffusionskoefficient och effektiv propagation av trioner enligt de numeriska simuleringarna till höger.



EGENSKAPERNA hos en trion bestående av ett hål och två elektroner beror på den effektiva massan för varje elektron. Trioner är som mest stabila när de två elektronerna har samma massa (även om de måste befinna sig i olika kvanttillstånd, enligt Pauliprincipen). Om elektronmassorna är olika är den lättare elektronen mindre hårt bunden eftersom den befinner sig längre bort från hålet (figur 5).

I 2D-halvledaren WSe_2 förekommer två olika trioner som bildats av en

ljus exciton och en tung elektron vid K eller Λ -punkten i reciproka rummet. Energin hos Λ -trionen är högre, så detta tillstånd ockuperas vid högre temperaturer, men dess elektron-hålrekombination genererar en foton med lägre energi än för en K-trion. Även om detta kan verka kontraintuitivt, så har den lägre fotonenergin sin grund i att mer energi har tillförts för att ta bort Λ -elektronen från trionen (nödvändigt för att rekombination ska kunna äga rum). Detta eftersom den är mer massiv än K-elektronen.

Samspelet mellan K- och Λ -trioner äger rum vid relativt höga temperaturer (~60 K), och under dessa temperaturer dominerar ljusemissionen av rekombinationen av mörka trioner som möjliggörs av fononer.

SAMMANFATTNINGSVIS styr excitoner och trioner mekanismerna som sker under och efter optisk excitation i atomärt tunna halvledare. Min avhandling bidrar till en omfattande förståelse av några av dessa fenomen och ger insikt i möjligheterna hos potentiella teknologiska applikationer baserade på dessa material.

Faktum är att en stor del av materialfysiken utgörs av forskningsfältet som rör just 2D-halvledare. Idag är forskningen centrerad kring så kallade moiré-strukturer som består av två eller fler atomtunna material som är staplade på varandra med en viss vridningsvinkel. I dessa strukturer kan precis rätt förhållanden uppstå för att mycket exotiska kvantfaser ska framträda. I synnerhet är pågående forskning inriktad på att utforska system där en stark korrelation mellan elektroner kan kopplas samman med intressanta och abstrakta koncept som kvantgeometri och topologi. Förhoppningsvis kan vi inom en snar framtid även knyta an denna fysik till excitoner och trioner!

RAUL PEREA CAUSIN
Stockholms universitet
Översättning: Daniel Erkensten,
Philipps-Universität Marburg

Prisbelönt avhandling

Raul Perea Causins avhandling utsågs till en av de två bästa vid institutionen för fysik på Chalmers 2023.

Det är en anspråkslös och avslappnad man som jag intervjuar via Zoom en dag i november; Raul Perea Causin tar ogärna till stora ord för att beskriva sig själv. Hans ursprung är från Barcelona-trakten, och som många därifrån är han van vid att använda två språk i vardagen: spanska med släkten på pappas sida och katalanska med mammas släkt.

Egentligen hade Raul tänkt sig att studera rymd- och flygteknik, men en lärare på gymnasiet tipsade om en ganska ny utbildning som ungefär motsvarar teknisk fysik i Sverige. Den hade högst intagningspoäng, vilket avgjorde saken! Fysik på universitetsnivå visade sig vara betydligt intressantare än på gymnasiet, eftersom det inte räcker att bara memorera kunskaper utan även kräver en genuin förståelse. Men svårighetsgraden var till en början något av en chock, som dock snarast sporrade Raul.

EFTER KANDIDATEXAMEN OCH en tids forskningspraktik i ett renrum i Barcelona var det dags att tänka på fortsättningen. Mastersutbildningar i Spanien är avgiftsbelagda, så ett land med fri utbildning (Tyskland, Holland, Sverige...) lockade. En vän till Rauls bror hade goda erfarenheter från Chalmers mastersprogram i nanoteknologi. Den svenska ansöknings-tiden gick ut först, vilket avgjorde saken!

Mastersutbildningen var till största delen experimentellt inriktad, men när det var dags att skriva uppsatsen var Raul nyfiken på att prova att arbeta inom teoretisk fysik och fann snart att det var ännu roligare än nanoteknologi. Han trivdes dessutom verkligen med att arbeta med sin handledare Ermin Malic, så när möjligheten att söka en doktorandtjänst finansierad av styrkeområdet nano på Chalmers öppnade sig kändes det som en naturlig fortsättning. Ermin lämnade så småningom Chalmers och Sverige, men vid det laget var Raul så pass självstän-



FOTO: PRIVAT

Raul Perea Causin (till höger) försvarade sin doktorsavhandling i juni 2023. Till vänster syns opponenter Atac Imamoglu och kollegan Daniel Erkensten, som översatt Causins artikel på sidorna 16–19.

dig i sin forskning att det inte upplevdes som något större problem. Avhandlingen *Microscopic theory of charge complexes in atomically-thin materials* belönades som en av de två bästa avhandlingarna vid institutionen för fysik på Chalmers 2023.

EFTER DISPUTATIONEN stannade Raul kvar i forskargruppen som postdoktor under ytterligare ett knappt år innan det var dags att flytta vidare. Raul och hans fru (som också är från Barcelona och arbetar som frilansande grafisk designer) trivdes bra i Sverige, och att byta land igen lockade inte så mycket, så det blev en postdoktor-tjänst vid Stockholms universitet. De goda anställningsvillkoren för doktorander och postdoktorer är en stor fördel för Sverige. De mörka vintrarna är en nackdel, men kan kompenseras genom vitaminer, träning och att se till att vistas ute när vädret tillåter. Så småningom kanske det blir Spanien igen, men konkurrensen om akademiska tjänster är hård där, och villkoren är kanske inte alltid så attraktiva.

Trots sina stora framgångar hävdar Raul bestämt att han har ett 9–17 jobb. På fritiden tycker han om att laga mat (alternativt gå ut och äta), vara i naturen, spela gitarr, läsa eller se på film. Det låter som en fysikdoktor som är ganska nöjd med sin tillvaro, och *Fysikaktuellt* önskar honom all lycka även i framtiden!

MÅNS HENNINGSON
Göteborgs universitet



PHILADELPHIA MUSEUM OF ART

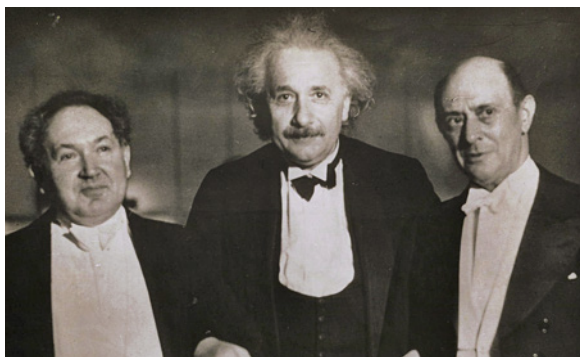


FOTO: LEO BAECK INSTITUTE

VÄNSTER: *L'Homme au Balcon*, av Albert Gleizes (1912, detalj). Gleizes var, enligt Gustafsson, en av kubismens främsta ideologer, hade själv nära kontakt med ledande franska fysiker och matematiker, och såg tydliga kopplingar mellan fysik och konst.

HÖGER: Pianisten Leopold Godowsky, fysikern Albert Einstein och kompositören Arnold Schönberg i New York 1934.

Sevärdheter för den kulturintresserade fysikern

Närda av samma längtan – när modernismen mötte den nya fysiken

Bengt Gustafsson
Förlag: Fri Tanke, 2024
Antal sidor: 328
ISBN: 978-91-89-73224-7



1900-talets första decennier var en legendariskt omvälvande tid inom fysiken; kvantteorin och den speciella och allmänna relativitetsteorin visade inte minst på den aktiva roll som en observatör och dennes referensramar spelar när det som tidigare hade betraktats som objektiva aspekter av verkligheten studerades. De sköna konsterna undergick samtidigt sina egna revolutioner: Inom bildkonsten frigjorde först impressionismen och därefter en rad andra -ismer måleriet från centralperspektivet och mer allmänt från kravet på en realistisk avbildning av verkligheten. Den modernistiska litteraturen lämnade det tidigare linjära berättandet med en allvetande berättare och laborerade med olika perspektiv på ett och samma skeende. Och musiken släppte taget om nedärvda rytmer och tonarter och experimenterade med polyrytmik och atonalitet.

Det är naturligt att fråga sig om det bara var en slump att dessa revolutioner sammanföll i tiden, om de har inspirerat varandra, eller om det finns en bakomliggande orsak till dem alla. Om detta har astrofysikern Bengt Gustafsson skrivit vad han

anspråklöst kallar för en ”essä” (om 326 sidor, varav litteraturlista och register upptar 28 sidor, och med 476 noter!) utgiven på Fri tanke. Titeln är hämtad ur ett brev från Albert Einstein (som ju precis som Bengt Gustafsson och många andra fysiker var en entusiastisk amatörmusiker), där han menade att ”musik har inte påverkat mitt forskningsarbete, men båda är närda av samma slags längtan, och de kompletterar varandra i den lättnad de erbjuder”.

BOKENS FÖRSTA HUVUDEL, ”Fysiken i konsterna”, går i tur och ordning igenom några utvecklingslinjer inom bildkonsten, litteraturen och musiken och undersöker deras eventuella växelverkan med den samtida fysiken. Här finns det många intressanta trådar att följa: kubismens relation till fyrdimensionell och icke-euklidisk geometri, tidsbegreppet i den modernistiska litteraturen, tankar om det harmoniska och sköna i musik och matematik ... Och visst är det rimligt att mena att fysik ibland har fungerat som inspirationskälla för framför allt bildkonst och litteratur. Här är till exempel James Joyce version av en kärnklyvning i *Finnegans Wake*: ”... the first lord of Hurtleford exploded through Parsuralia with an ivanmorinthorro rumble fragorombassity amidwhiches general uttermost con fusion are perceivable moletons scaping with mulicules...”. Däremot är det kanske mer tveksamt om det utövades någon väsentlig påverkan i den andra rikt-

ningen, och Marcel Proust hade säkert helt rätt när han uttryckte tvivel angående huruvida Albert Einstein hade läst hans romaner.

DEN ANDRA HUVUDELLEN, ”Påverkan av ’tidsandan’”, vrider på perspektivet och undersöker några olika teman i fyra avsnitt: Finns det en ”tidsanda” (och vad är den i så fall) bakom de här utvecklingslinjerna? Vad spelar föreställningar om tid och oändlighet för roll i vetenskap och konst? Vem var forskaren respektive konstnären? Hur invercade begrepp som krig, kausalitet, radikalitet och obegriplighet på utvecklingen och hur den uppfattades?

Bokens breda men ändå sammanhållna grepp på sitt ämne imponerar. Bengt Gustafsson är en beläst och inspirerande guide i detta landskap, och hinner visa den kulturintresserade fysikern ett stort antal sevärdheter. En del är naturligtvis välkända, men många är det nog inte. Och några personliga anekdoter från författarens eget liv i fysikens och kulturens värld får vi också ta del av. Den andra huvuddelen försöker kanske greppa över ett lite för stort område på ett för litet utrymme, och här finns det säkert mer än tillräckligt med stoft för flera ytterligare ”essäer”. Om vi vågar hoppas på några sådana vet jag inte, men jag skulle i alla fall gärna läsa!

MÅNS HENNINGSON
Göteborgs universitet

Skridskofysik

Att i det närmaste friktionslöst glida fram över en spegelblank yta en kall och solig dag är för många det bästa med vintern. Men hur funkar egentligen **skridskor**, och varför ser de så olika ut?

FOTO: PAXSON WOELBER, THE ALASKA LANDMINE

Att åka skridskor är för många en rolig aktivitet. Ofta kan det räcka med ett par hockeyskridskor för nöjesåkning, men för lite längre utflykter kan upplevelsen ökas med ett par långfärdsskridskor som är längre och stabilare. För idrottare som använder skridskor gäller det däremot att tänka på detaljerna. Att prestera bra inom konståkning ställer helt andra krav på skridskor än att prestera bra inom hockey eller skridskoåkning på bana.

Det som all skridskoåkning har gemensamt är dock att friktionen mot isen är en nödvändig ingrediens. I den här artikeln skall vi reda ut fysiken bakom skridskoåkning med avseende på friktion, samt hur och varför skridskor slipas på olika sätt för olika grenar.

Friktionen mellan skridsko och is

Friktionen mellan skridskoskenan och isen vill man förstås skall vara så låg som möjligt. I den enkla modell vi vanligen använder i fysik ges friktionskraften av: $F_f = \mu F_N$, där F_N är normalkraften och μ friktionstalet, alltså en konstant. För stål mot is kan man i tabeller för gymnasie-

fysik slå upp att $\mu_d = 0,014$ för glidfriktion och $\mu_s = 0,027$ för vilofriktion. För is mot is är skillnaderna mellan de olika friktionstalen en faktor 10 ($\mu_s = 0,3$ och $\mu_d = 0,035$ vid -10°C). Is är ett svårt material att beskriva fysikaliskt, och mekanismerna bakom den låga glidfriktionen är fortsatt omdebatterad.

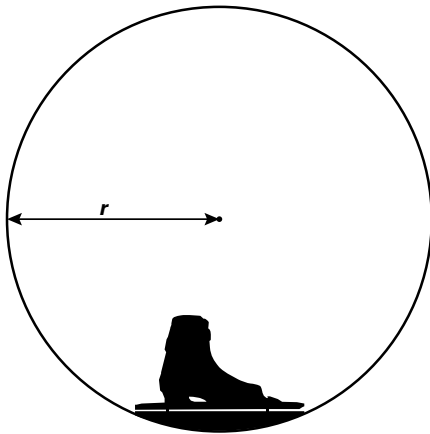
Den viktigaste anledningen till att det är låg glidfriktion för is, vid till exempel temperaturen -10°C , är att det på ytan finns ett mycket tunt lager av en blandning av is och vatten. Ett enkelt experiment som visar det ultratunna vattenlagret på isen är att ta en isbit från frysen och dra den lätt över en fryskall yta (till exempel en annan isbit). Friktionen är då låg. Men om man istället trycker två isbitar mot varandra så fryser detta tunna lager och isbitarna fastnar i varandra.

Den mikroskopiska förklaringen till att ytan hos fryst is inte är i helt fast form är att de kemiska bindningarna i en kristall vid ytan är svagare, samtidigt som vatten har den speciella förmågan att skapa ganska starka vätebindningar även i flytande fas. Tjockleken på "isvatten"-lagret ovanför isbiten är mycket

tunn, endast några nanometer. Men trots att det endast är några molekyler vid ytan som inte är i fast fas, så fungerar "isvatten"-lagret som smörjmedel och leder till den låga friktionen.

Först vid temperaturer ner mot -30°C är även det yttersta lagret i en helt fast fas, och friktionen mot isen ökar markant. Observationen med isbitarna och förslaget om ett ultratunt speciellt ytlager dateras ända tillbaks till Faraday 1859, men det är först på senare år man verkligen påvisat och undersökt effekten.

Även med det tunna speciallagret ovanpå isen så kommer det att bli en viss friktion. Skenan kommer att påverka isen på två sätt (minst): (i) **plogning** då skenan trycker ihop isen med en plastisk deformation vilket ges av sambandet $\mu = mg/(2 \cdot R \cdot w \cdot H)$, där R är krökningsradien på skridskoskenan, w är skenans bredd och H är isens hårdhet (cirka 10 MPa, men temperaturberoende); och (ii) **dragfriktion** på grund av att det uppstår dragkrafter mellan den tunna vätskeytan och skenan. Då skridskon glider kommer, specialfilmen som beskrivs ovan även ytterligare vatten smälta så att filmen ▶



FIGUR 1 Skenans krökning i längdriktningen. Skridskons proportioner har överdrivits.

► växer till typiskt lite mindre än $1 \mu\text{m}$ i tjocklek.

En effekt som däremot inte är avgörande för friktionen är trycket, via till exempel extra smältning, utan det är normalkraften som är avgörande enligt den vanliga modellen för friktion. Det spelar alltså ingen roll om skenan är bred eller smal, som det gör om man skall röra sig i snö där ett par breda skidor ger mycket lägre motstånd om snön är djup. Skenans bredd för skrinnare har ändå minskat med 30 % de senaste åren, bland annat för att minska vikten på skridskon.

Så skall skridskoskenan formas och slipas för olika aktiviteter

Långfärdsskridskor och skridskor på varvbana görs för att få så låg friktion som möjligt. Skridskoskenan här är därför, till skillnad mot på andra skridskor, nästan helt platt vinkelrät mot skenans längdriktning. I skenans riktning är skridskorna också nästan helt platta, men med en liten krökning (figur 1). Nils van der Poel åkte till exempel med en skridsko med krökningsradien 22,8 m. Rundningen på skridskon gör att man kan hålla ett jämnt tryck mot isen under hela rörelsen. Den stora krökningsradien gör att man kan ta stora skär och att friktionen på grund av plogning blir liten.

Hur man stannar, startar, svänger och tar fart

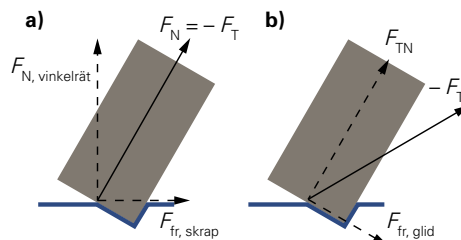
När man ska accelerera med skridskor så önskar skridskoåkaren en stor friktion –

tvärtemot det man vill ha när man glider. En låg glidfriktion gör att det blir mycket svårt att byta riktning eller att ändra farten, till exempel att starta eller stanna.

Vår modell från gymnasiefysiken ($\mu = 0,014$) och $F_N = mg$ ger en försvinnande liten friktionskraft $F_{fr,max} = \mu mg = 14 \text{ N}$ (om $m = 100 \text{ kg}$) och därmed acceleration $a = 0,14 \text{ m/s}^2$. Men det här visste vi förstås; man kan inte dra skridskon rakt bak för att accelerera, utan man vinklar den och trycker ifrån med bredsidan.

Önskemålet på friktionskrafterna är egentligen samma för all skridskoåkning: liten friktionskraft i skärets riktning och en stor friktionskraft vinkelrät mot skäret. Den vassa kanten på skenan trycks ner i isen, vilket leder till en mycket högre friktion i riktningen vinkelrät mot skenan. Friktionsmekanismen vinkelrät mot skenan påminner om plogning, men skulle kanske snarare kallas skrapning. Det som händer när det blir tillräckligt stor kraft är nämligen just att isen skrapas bort. Det är då det sprutar is runt skridskon.

För att få ett hum om storleksordningen för att skrapa bort is med tjockleken h och längd l en sträcka x kan vi anta att det är ungefär samma energi inblandat som att smälta motsvarande volym is, alltså: $E = c_s m = 334 \rho l h x$ (kJ), där c_s är smältvärmets, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ och volymen skrapad is är $l h x$. Det motsvarar bromsarbetet $W = F_{fr,skrap} x$ så att $F_{fr,skrap} \approx 330 l h$ (MN). Detta är alltså den maximala friktionskraft som isen klarar av att hålla emot med. Resonemanget påminner om Hans-Uno Bengtssons



FIGUR 2 Bilderna visar olika komponentuppdelningar av tryckkraften om **a)** F_T är vinkelrät mot den deformerade ytan eller **b)** lite sned. I **a)** sker ingen glidning, utan friktionen begränsas av skrapningen. I **b)** behövs det däremot en glidfriktion för att skridskon inte skall glida iväg; glidfriktionen är i allmänhet inte tillräckligt stor för att hålla kvar skrinnaren.

uppskattning av ytenergin för vatten (se lästips). Observera att modellen endast uppskattar kraften för skrapning.

Så en skrinnare som skall ta fart måste trycka ner kanten av sin skena i isen. En skrinnare använder dessutom en mycket stor vinkel (cirka 70 grader) och trycker med en mycket stor kraft ner i isen parallellt med normalkraften, $F_{N,vinkelrät}$, när de skall starta utan att halka – det ser ut som de springer på isen. Den vinkelräta komponenten av normalkraften deformerar isen.

Komponenten parallell med ytan måste vara mindre än friktionskraften $F_{fr,skrap}$ (figur 2a). Med $h = 0,05 \text{ mm}$ och $l = 0,4 \text{ m}$ får vi $F_{fr,skrap} = 6000 \text{ N}$. Detta är en stor kraft, mycket större än glidfriktionens cirka 14 N . Så länge skenan är nertryckt i isen och tryckkraften F_T är vinkelrät mot ytan kommer isen att hålla och skrinnaren kunna ta fart (om $F_{fr,skrap} < F_{fr,skrap,max} \approx 6 \text{ kN}$). Men om skrinnaren trycker snett eller om skenan inte trycks ner i isen kommer den mycket lilla glidfriktionen leda till $F_{fr,glid} > F_{fr,max} \approx 14 \text{ N}$ och ett fall för skrinnaren (figur 2b)!

För en skrinnare som vill åka så snabbt som möjligt gäller det att minimera friktionskrafter som, förutom det vi diskuterar i den här artikeln, även innefattar luftmotstånd vilket är större än friktionskrafterna mot isen. För att minska friktionen på grund av plogning och för att åka så kort väg som möjligt används glidande skär med en lång kontakttid men liten vinkel, endast runt 10 grader i den så kallade tryckfasen (figur 3). Kroppen rör sig förutom framåt även en hel del i sidled när tyngdpunkten flyttas vid den höga farten. För att enklare röra kroppen i sidled pendlar skrinnarna ibland också med armarna i sidled.

Hockeyrör och skålradie

En hockeyspelare vill förstås också glida bra på isen, men det är ännu viktigare att snabbt kunna accelerera och svänga. Enligt formeln ovan skall skenan tryckas så långt ner i isen som möjligt. Man vill inte heller riskera att ramla för minsta lilla fel i trycket mot isen. För att öka friktionen görs skenan konkav, vilket för skridskor anges som skålradie (figur 4).

Ju mer konkav, desto mer skär skenan

FIGUR 3 Schematisk bild av skinnarens rörelse framifrån och ovanifrån. I den nedre bilden indikerar den grå linjen tyngdpunktens ungefärliga läge. Fotot visar den koreanska skinnaren Minsun Kim vid FISU World University Games i New York, januari 2023.

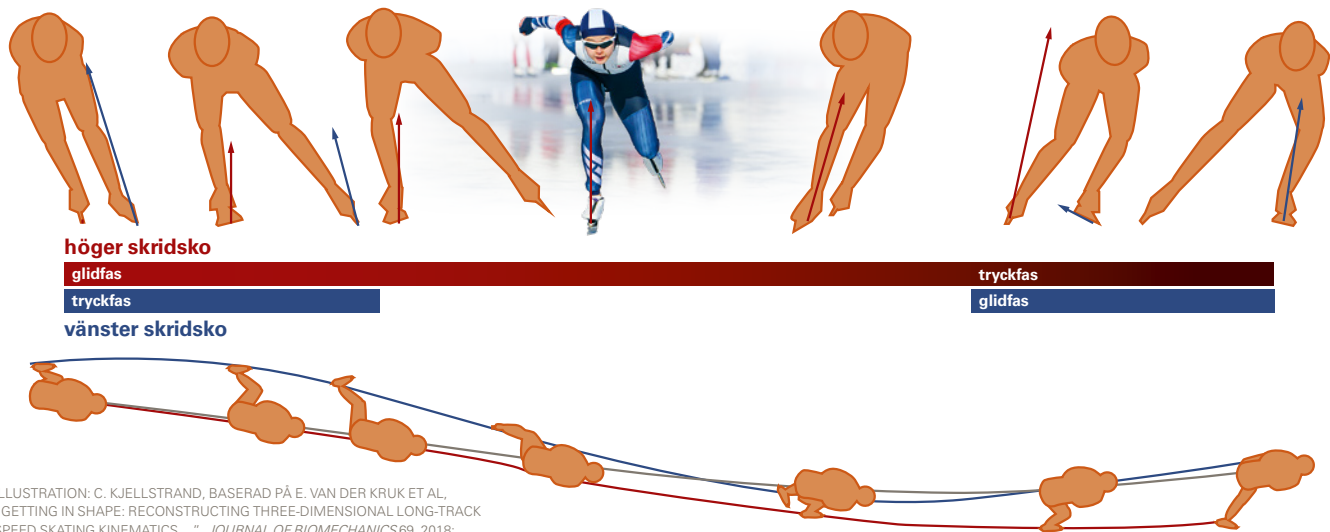


ILLUSTRATION: C. KJELLSTRAND, BASERAD PÅ E. VAN DER KRUK ET AL. "GETTING IN SHAPE: RECONSTRUCTING THREE-DIMENSIONAL LONG-TRACK SPEED SKATING KINEMATICS ...", *JOURNAL OF BIOMECHANICS* 69, 2018; FOTO: C. BUTLER/FISU GAMES

ner i isen och desto större blir friktionskraften vinkelrät mot skenan – ”greppet” blir bättre. Detta sker dock på bekostnad av en ökad friktion (på grund av plogning) för glidningen. Vanligen används en skålradie på 16–20 mm. En hockeyspelare som kommer med farten 10 m/s kan med en rejäl breddstanna inom 1 m, vilket betyder att kraften för skrapningen är $mv^2/2 = Fs$ vilket ger $F = 100 \cdot 10^2 / 2 \cdot 1 = 5 \text{ kN} \approx 5mg$.

Med tjockleken för en rejält nertryckt skena med $h = 0,1 \text{ mm}$ och längden $l = 0,2 \text{ m}$ får vi: $F \approx 300lh \text{ (MN)} = 300 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \text{ kN} = 6 \text{ kN}$, vilket stämmer bra med uppskattningen ovan. Det ställer förstås höga krav på benstyrka och balans att klara av att kontrollera så stora krafter! Skenan för en hockeyspelare har en mycket mindre krökningsradie än

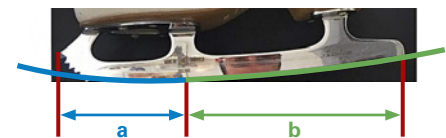
skinnarskenan ovan, endast 3–5 m, eftersom det viktigaste för en hockeyspelare är snabba skär med hög kontroll.

Konståkningsskridskor

Avslutningsvis funderar vi lite över hur konståkningsskridskor skall slipas för att fungera bra. En konståkare vill, liksom en hockeyspelare, kunna göra snabba riktningförändringar, och därför är även konståkningsskridskorna konkava med ett stort skåldjup (minst lika stort som på ett par hockeyskridskor). En konståkningsskridsko är dessutom försedd med taggar på tåänden. Dessa taggar används för att få en stor kraft till riktningförändring vid till exempel hopp, då taggen ger ett extra fäste och möjlighet att skapa ett yttre kraftmoment.

Olika rörelser under konståkningen ställer olika krav på skridskon. Därför har en konståkningsskena (minst) två krökningsradier. En större krökningsradie på bakkdelen av skridskon för att göra större rörelser, och en mycket mindre krökningsradie på framdelen för snabbare rörelser vid hopp och piruetter.

Under vintern kan man fundera över det nanometertunna is-vatten-lagret på isen som ger oss förvånansvärt låg friktion och roliga vintersporter – ännu en av det livgivande vattnets många egenskaper.



FIGUR 5 Konståkningsskenan har minst två krökningsradier: **a)** landningsyta är för hopp och kontaktyta för piruetter, och **b)** är glidyta, och yta som används för att ta fart vid skär.

Försök också att ha nyslipade, och korrekt slipade, skridskor för rätt aktivitet. Och inte minst: fascineras av hur idrottarna inom ishockey, skridskoåkning och konståkning använder friktionskrafterna på isen med precision och kraft!

FREDRIK OLSSON

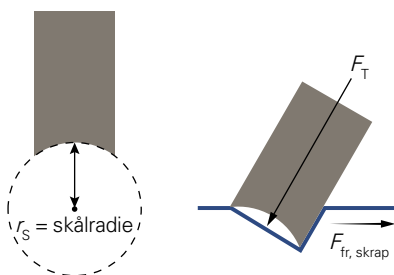
Lektor, Uddevalla Gymnasieskola

ELISABETH RACHLEW

Prof. em., KTH

Läs mer

- Bengtsson, H.-U. (1998), *Konsten att uppskatta omvärlden*, Västerås, ICA Förlaget AB
- F Du, P. K. (2023), "How ploughing and frictional melting regulate ice skating friction", *Friction*, ss. 2036-2058
- Faraday, M. (1859). *Philos. Mag*, s. 162
- Jarnestad, A. N. (2017), "Därför glider skridskon", *Forskning och framsteg*
- Bonn, D. (2020), "The physics of ice skating", *Nature*, vol 577, s 173–174,



FIGUR 4 Skålradien anger hur konkav skenan är. Ju mer konkav, desto större blir friktionskraften mot isen.

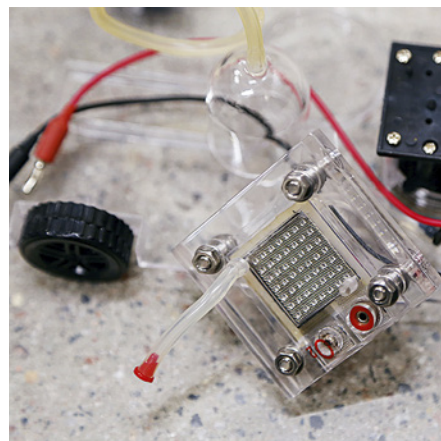


FOTO: TEKNIKENS HUS

I Teknikens Hus i Luleå är målet att väcka barns intresse för naturvetenskap genom att fånga deras nyfikenhet och lekfullhet. Det kan vara genom att de får leka byggarbetare (vänster), generera energi i ett "hamsterhjul" (mitten), eller bygga en liten vägtgasbil (höger).

Lekfullt lärande väcker intresse för vetenskap

I **Teknikens Hus**, Norrbottens Science Center, står barn och ungdomar i centrum. Med vetenskap som grund får lek, kreativitet och nyfikenhet ta plats i en interaktiv och spännande miljö.

Utgångspunkten i våra utställningar och pedagogiska program är Norrbotten och den verklighet norrbottningarna har runt sig. Här får regionens industrier och specifika förutsättningar ta plats och skolelever och besökare får lära sig mer om allt ifrån rymdforskning till gruvbrytning, ståltillverkning och skogsbruk.

Teknikens Hus har funnits sedan 1988, med uppdraget att öka intresset för teknik, naturvetenskap och matematik. Kärnverksamheten består av tre delar: utställning, skolverksamhet och publika program.

Gemensamt för dem, och grundläggande för Teknikens Hus, är synsättet att lärande nås bäst när man får använda hjärna, hjärta och händer. Här får du känna, experimentera, trycka på knappar och dra i snören. Du kan ikläda dig rollen som lokförare, byggarbetare eller vindkrafttekniker.

Ett science center för hela Norrbotten

Teknikens Hus är ett science center för hela regionen där elever och lärare från samtliga 14 kommuner har tillgång till verksamhetens utbud. Hit kommer skolklasser för att delta i pedagogiska skolpass, men vi lånar också ut utbildningsmaterial till skolorna, som ytterligare ett sätt att stödja lärare och elever. Utbildningsmaterialen är framtagna utifrån läroplanen, i samråd med lärare runt om i länet.

Genom vårt lärarnätverk RegTek arbetar vi även med lärarfortbildning där vi terminsvis genomför vidareutbildningar med efterfrågade och aktuella teman. Lärarnätverket fungerar som en plattform för kompetensutveckling och kollegialt lärande.

Väcka intresse för STEM

Just nu sker många investeringar i Norrbotten, men en stor utmaning med

investeringarna är att försörja både samhälle och näringsliv med de kompetenser som behövs. Vi vet att barn influeras under tidiga år och det vill vi ta vara på. Vi vill väcka intresse för STEM-ämnena – och därmed också för spännande framtida yrken – när barnens sinnen fortfarande är öppna och mottagliga. De som besöker oss idag är ju morgondagens ingenjörer, tekniker och forskare.

Ett exempel är utställningen *Drivkraft*, en utställning om energi som invigdes våren 2024. I ett Norrbotten som satsar hårt på den industriella omställningen och där frågor om energiförsörjning är centrala, är kunskap om energi viktig. Vad är energi och hur kan vi använda den på ett hållbart sätt? Med utgångspunkt i energiprincipen får besökaren bland annat undersöka energiformer, energikällor, energisystem och energibalans. Vad innebär det egentligen att energi aldrig kan förstöras, bara omvandlas? Med ett stort

hamsterhjul, dammar, vindkraftverk, turbiner och generatorer visualiseras energiomvandlingar. Den kemiska energin i din kropp omvandlas till rörelseenergi när du springer i hamsterhjulet. Rörelseenergin omvandlas i sin tur till elektrisk energi i en station där du kan ladda din mobiltelefon. Samtidigt pumpas vatten upp till ett stort vattenbatteri och får därmed potentiell energi.

Inne i *Energilabbet* finns flera experimentstationer där besökaren också kan lära sig mer om hur vätgas produceras, experimentera med statisk elektricitet och testa på hur det känns att få en stöt.

Skolpass och material som fördjupar kunskapen

I våra årskursanpassade skolpass om energi kommer eleverna än närmare laborationsmaterialen och får en djupare förståelse för olika energiformer och energikällor. Högstadi- och gymnasieelever får bland annat utforska och experimentera med små vätgasbilar, och utforma rotorblad och turbiner till vind- och vattenkraftverk. Allt eftersom arbetar eleverna också med att pröva och ompröva deras utformning. Till exempel testas turbinerna genom att hålla en bestämd mängd vatten från valfri höjd och i valfritt tempo. I vissa pass får eleverna också testa på att göra egna batterier med hjälp av sura godisar och vatten som elektrolyt.

I de utbildningsmaterial som Teknikens Hus lånar ut till skolor i Norrbotten ges också möjlighet att laborera med energi i det egna klassrummet. Här finns material som uppmuntar till systematiska undersökningar. Till exempel kan eleverna bygga en solcellspark, egna vindkraftverk eller utforska vilka material som snabbast smälter en isbit.

Genom att kombinera lekfullhet med lärande skapar Teknikens Hus en inspirerande miljö där kreativitet och nyfikenhet får frodas – både i huset och ute i länet.

KRISTINA JONSSON
verksamhetschef Teknikens Hus

Behövs fler fysikförebilder?

Det är tidigt i oktober och dags för tillkännagivandet av årets Nobelpris. Fysiklärare på skolor och universitet väntar med spänning. Blir det ett pris som engagerar? Hur greppbar är upptäckten som belönats? Hur spektakulär? Finns det **en kvinna** bland pristagarna?

När det står klart att 2023 års pristagare är både kvinna och verksam i Sverige är vi många som jublar. Mycket snart framgår det att Anne L'Hullier är en engagerad universitetslärare, som gärna talar fysik med ungdomar och som dessutom öppet och reflekterande talar om att vara kvinna inom fysik. Vilken tillgång för landets fysiklärare!

Inom den högre utbildningen i fysik är en mycket stor andel av studenterna svenskfödda män med akademisk bakgrund. Andra delar av STEM-området har breddat sin rekrytering. Högskoleingenjörsutbildningar attraherar män med icke-akademisk bakgrund. Kemiutbildningar och läkarprogrammet har en ganska jämn könsfördelning och veterinär- och biologiutbildningar en mycket hög andel kvinnor. En nyckel till breddad rekrytering är att unga från



FOTO: ANNA DANIELSSON

Nobelprisutdelningen 2023. Anne L'Hullier syns i blå klänning på främre raden till vänster.

olika grupper känner att utbildningsområdet är för dem.

Vem kan vara en fysikförebild?

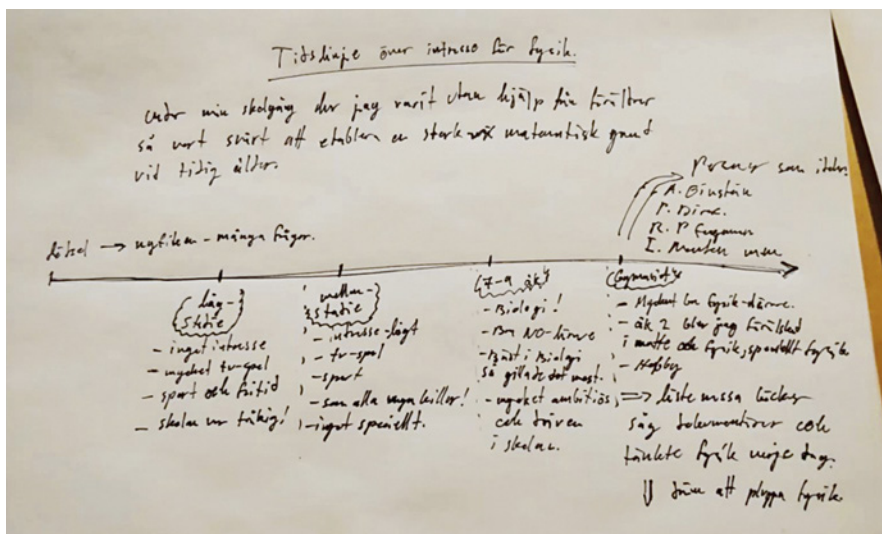
Isaac Newton, Marie Curie, Albert Einstein, Niels Bohr, Lise Meitner, Erwin Schrödinger, Paul Dirac, Richard Feynman. Fysikstudenten Josef samlade under tonåren på kända fysiker, som andra samlade på fotbollsidoler, berättar han för oss i en forskningsintervju. En lärare öppnade den dörren med berättelser och nyfiket fysikfrågande. Redan i grundskolans fysikböcker möter elever ikoniska fysiker. Vilken fysiklärare hoppas inte att Marie Curies berättelse ska inspirera en ny generation flickor att välja fysik?

Professor L'Hullier framhåller i intervjuer att hon vill göra fysiken mer tillgänglig och även vara en förebild för flickor. Hon är inte ensam. För att fler unga ska välja STEM-utbildningar/yrken

Oväntade naturvetare

Artikeln bygger på projektet "De oväntade naturvetarna", finansierat av Vetenskapsrådet. Läs mer i till exempel:

Johansson, A., Nyström, A. S., Gonsalves, A. J., & Danielsson, A. T. (2023). "Performing legitimate choice narratives in physics: possibilities for under-represented physics students", *Cultural Studies of Science Education*, 18(4), 1255-1283.



En tidslinje över ett växande fysikintresse. Bilden är ritad av en av de studenter som forskarna intervjuade under sin datainsamling.

FOTO DANIELSSON/STRÖM

växte upp bland böcker och samtal om naturvetenskap, vilket tillsammans med uppmuntran från lärare motiverade henne att söka sig till olika fysiksammanhang både i Sverige och internationellt.

Identifiering med naturvetenskap byggs över tid, på samma sätt som kunskaper och förmågor. Hanna har en mångfald av erfarenheter av att fysik är ett ämne för henne. Under gymnasietiden deltog hon i flertalet fysikinriktade sommarskolor och engagerade sig i en lokal astronomiförening, där hon sänkte medelåldern drastiskt. Bit för bit byggde hon upp en naturvetenskaplig grund som gjorde det möjligt för henne att välja fysik. Hennes utbildningsval motiveras emellertid av ämnets potential – hon vill göra skillnad i världen. Fysiken är hennes redskap för att realisera detta. Förebilder skymtar förbi i intervjun, men det är de vardagliga sammanhangen – skolan, familjen, sommarskolorna, föreningen – som Hanna särskilt framhåller.

Förutsättningar för att bryta fysikbarriärer

Fysik är ett ämne som av många upplevs som otillgängligt, svårt och krävande en viss typ av matematisk begåvning. Men fysikens status lockar också. Hanna drivs av att kunna bidra till förändring med hjälp av fysikens kraft. Konrad önskar ett gott liv och fascinerar av sina kursares självsäkerhet och ambitioner, även om de också för honom framstår som besynnerliga: ”till och med så absurda tankar som att skaffa ett Nobelpris inom någonting – som jag tycker känns lite som den galnaste och mest arroganta tanken, men det är häftigt att folk har den”. Relaterbara förebilder kan visa vägen till fysiken, som Konrads vänner och Josefs fysiklärare, men de är ingen genväg till breddad rekrytering. För att en förebild ska kunna göra skillnad måste också förutsättningarna för det oväntade utbildningsvalet finnas.

ANNA DANIELSSON

Professor i naturvetenskapsämnenas didaktik, Stockholms universitet

ANNE-SOFIE NYSTRÖM

Lektor i barn- och ungdomsvetenskap, Uppsala universitet

► illustreras inspirationsmaterial från högre utbildningsinstitutioner, branschföreningar och fackföreningar ofta med unga kvinnor sysselsatta på forskningslaboratorier eller övervakandes industrirobotar.

Vikten av relaterbarhet

Det verkar inte vara någon brist på förebilder i fysiken. Behövs det verkligen fler? Kanske handlar det snarare om hur unga erbjuds varierade, välkomnande möten med fysik och med fysiker. Många unga skapar idag sin relation till fysik via sociala medier. Oxforddoktoranden Eleonora Svanberg har idag drygt en kvarts miljon följare på Instagram och TikTok. Hennes inlägg handlar om fascinationen för fysik och matematik, rädslor knutna till utbildningen och strategier för att hantera dem. Hon delar även med sig av utmaningar med att vara kvinna i den mansdominerade teoretiska fysiken. Som ”STEM-fluencer” går hon i personlig dialog med sina följare och de har möjlighet att bygga en relation till henne. Visst kan fysikikonerna inspirera, men de symboliserar också ofta det ouppnåeliga geniet. Relaterbara förebilder är viktiga för att inge en känsla av tillhörighet.

Förebilder som gör naturvetenskapen mer nåbar finns i olika sammanhang. Konrad, som läser första året på kandidatprogrammet i fysik när vi intervjuar honom, berättar om en grundskoletid

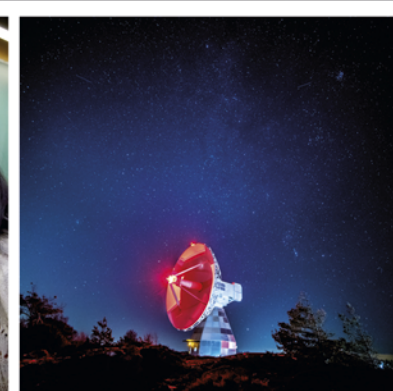
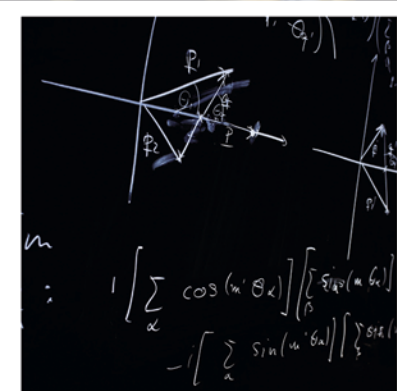
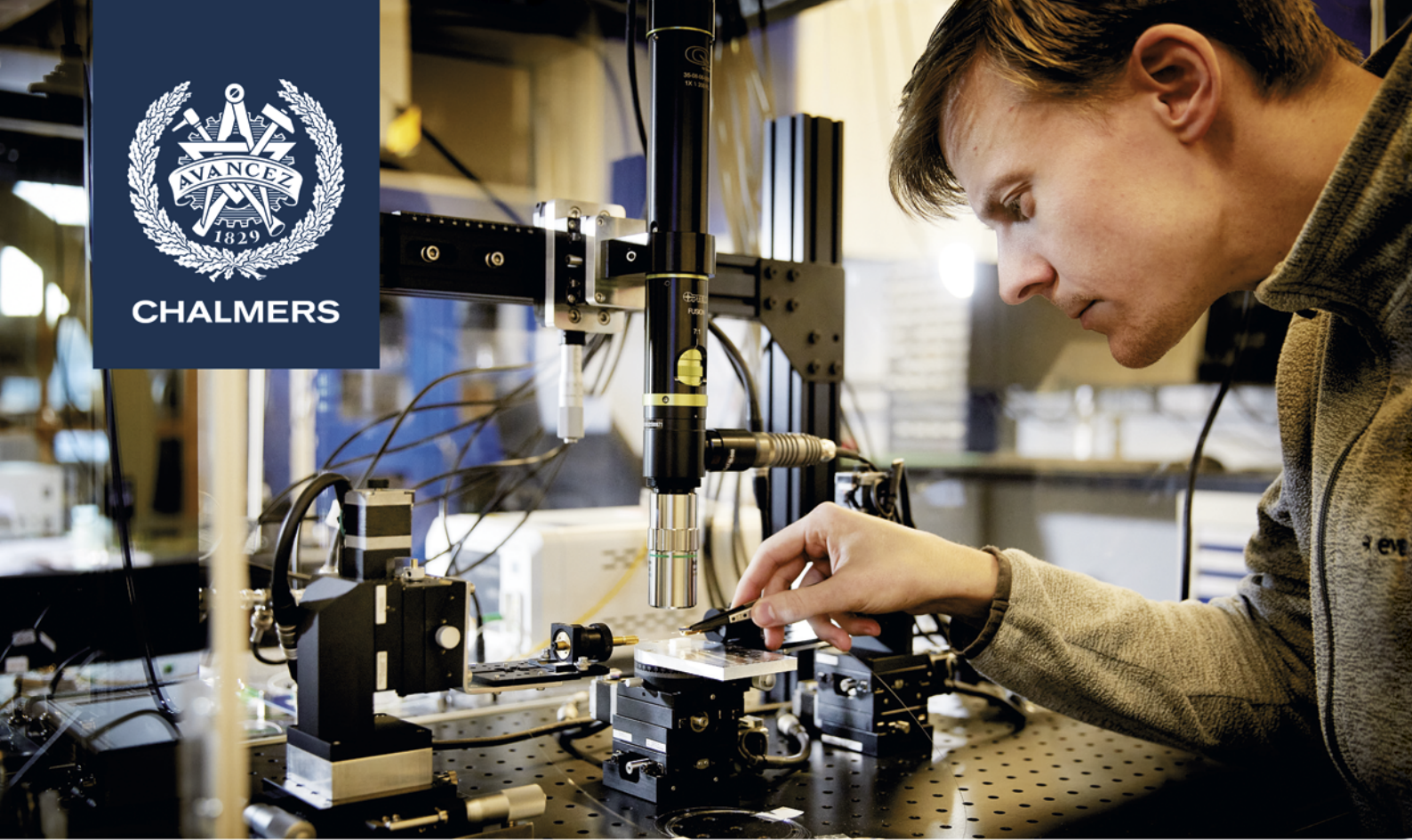
präglad av ointresse för studier. De vuxna han mötte under uppväxten arbetade mestadels i hantverkaryrken. Gaming överskuggade länge allt annat, men det var också i den världen han under gymnasietiden lärde känna jämnåriga som läste naturvetenskapliga programmet och vars föräldrar hade universitetsutbildning. Han beskriver ett möte med ”ett annat klasskikt”; hans nya vänner vill utbilda sig för yrken som civilingenjör, läkare eller forskare. Samtalen och middagarna i dessa miljöer blev ”en ögonöppnare” för honom. Hans bild av vem han skulle kunna bli förändras, och utbildning blir en resurs för att skapa en tryggare och mer meningsfull framtid. Gemenskapen kring gaming och programmering präglas av ömsesidig respekt och erbjuder akademiska förebilder han kan relatera till.

Förebilder är inte allt

Ungas intresse för en framtid inom STEM påverkas av många olika faktorer. Forskning visar att det inte går att urskilja en sak som avgörande, det är snarare många slags vardagliga möten med naturvetenskap. Hanna, även hon förstaårsstudent på kandidatprogrammet i fysik, migrerade till Sverige från ett utomeuropeiskt land i yngre tonåren. Precis som Josef och Konrad har hon en icke-akademisk bakgrund, men kommer från ett hem där bildning värderas högt. Hon



CHALMERS



Studera Teknisk fysik på Chalmers

Vill du förstå världens inre ramverk och hur matematik, fysik och de system som binder oss samman ligger till grund till framtidens innovationer? Civilingenjörsprogrammet i Teknisk fysik ger dig verktygen att lösa komplexa problem inom kvantfysik, hållbar energi och artificiell intelligens. Med sin bredd öppnar utbildningen dörrar till många branscher. Din master gör dig till en specialist, och du kan bli allt från konsult och projektledare till forskare eller chef inom industrin.

Platsgaranti från Matematik- och fysikprovet

För dig som är behörig till utbildningen ger ett godkänt provresultat på Matematik- och fysikprovet en garantiplats på Teknisk fysik på Chalmers.



chalmers.se



Matematik-
och fysikprovet

En kopp god fysik

Ljuv doft sprider sig långsamt i rummet och signalerar till kroppen att det är dags att vakna och påbörja en ny dag. Aromen kommer från nymalda kaffebönor som träffas av hett vatten. **Kaffe** – denna mörka dryck som med kemiska stimuli får stora delar av världen att gå runt.

Just doft och smak har mest med kemi att göra, men där döljer sig mycket god fysik i en kopp nybryggt kaffe. Vi har tidigare (i *Fysikaktuellt* 3/2021 och *Fysikaktuellt* 2/2022) skrivit om några experiment i och med en kaffekopp – här kommer ytterligare några iakttagelser.

Att yrvaket balansera en kopp fylld med kaffe utan att spilla kan vara svårt. Men precis som man inte ska gråta över spilld mjölk ska man inte heller gråta över kaffe som skvimpat över. Det är bättre att konstatera att det är ett ypperligt tillfälle att studera lite fysik! Orsaken till att kaffet skvimpade över involverar mekanik med komplexa objekt, och utseendet på kaffebläcken säger mycket om vätskedynamiken i droppen och dess växelverkan med omgivningen. Snart mer om detta, men först ett trevligt exempel på en olinjär funktion. Om kaffet dricks på morgonen kan det vara gott att runda av den lite bittra smaken med varm, gärna skummad, mjölk. Hur mycket mjölk man ska hälla i kaffet för att uppnå det

eftersträfvade resultatet är givetvis en smaksak, men kanske inte så petigt som vissa baristor gör gällande. Detta helt enkelt eftersom fraktionen mjölk, γ , som ges av:

$$\gamma = \frac{V_{mjölk}}{V_{kaffe} + V_{mjölk}}$$

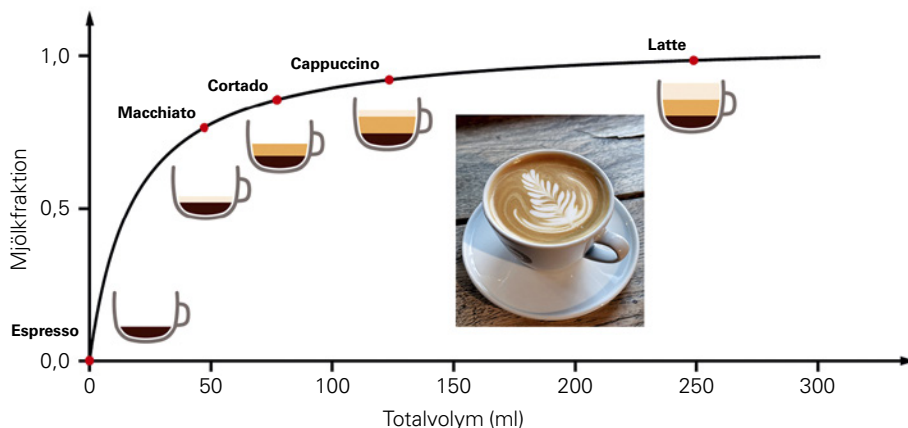
inte skalar linjärt med mängden tillsatt mjölk. Istället blir det mindre och mindre noga hur mycket mjölk du häller i om du redan har haft i ganska mycket. Skillnaden på en cappuccino och en latte är alltså mycket mindre än skillnaden på en macchiato och en cortado (figur 1).

HUR VAR DET NU med att bära den där kaffekoppen? Kaffebläckarna i trapporna på Fysiska institutionen i Lund vittnar om att det inte är helt lätt att frakta koppen med kaffe från en av de korrekt upphandlade maskinerna tillbaka till det egna kontoret. Vid närmare eftertanke är det märkligt att det inte finns fler fläckar där – nog för att städerskorna är så flitiga! En kopp fylld med en vätska är ett komplext föremål med en intern rörelsefrihet och

hur den ska hanteras samtidigt som man går är komplicerat. Stegfrekvensen fortpantas via handrörelser till koppen och kan ligga ganska nära resonansfrekvensen för vätskan.

Det visar sig att de flesta, för att undvika att spilla, anpassar handrörelsen till koppen och inte till gången. Genom att långsamt föra koppen fram och tillbaka, under resonansfrekvensen, kommer dryck och kopp att röra sig i fas, men inte så mycket att det skvimpar över. Det andra stabila området är över resonansfrekvensen där dryck och kopp rör sig i motfas, men fortfarande inte skvimpar över. Mellan dessa områden passeras resonansfrekvensen, stora vågor kan snabbt uppstå i koppen och då hamnar kaffe lätt på oönskade ställen. Vi människor hantlar detta förvånansvärt bra, men det kan vara en utmaning om vi i framtiden vill att tvåbenta robotar ska servera vårt morgonkaffe.

OM VI HANTERAR KOPPEN lite vårdslöst och olyckan är framme kan vi välja att



	Kaffe	Mjölk
Espresso	18 ml	0 ml
Macchiato	18 ml	47 ml
Cortado	18 ml	77 ml
Cappuccino	18 ml	123 ml
Latte	18 ml	248 ml

FIGUR 1 Mjölfrac-tion som funktion av totalvolym med olika kaffedrycker indikerade.

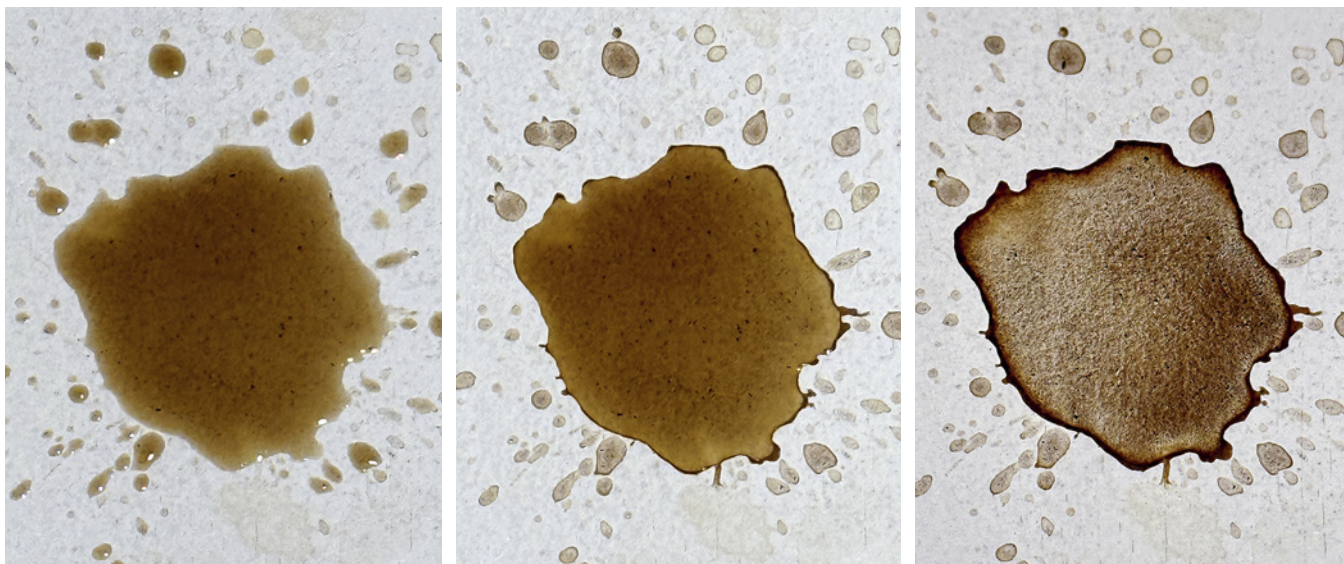


FOTO: JOHAN MAURITSSON

FIGUR 2 Bilderna är tagna av samma kaffebläck vid tre olika tidpunkter: direkt efter att den spillts (vänster), efter lite mer än en timme (mitten), och dagen efter (höger).

snabbt och ordentligt torka upp stänket, eller istället studera när det torkar och försöka lura ut lite om vätskedynamiken. Bilderna i figur 2 är tagna av samma kaffebläck vid tre olika tidpunkter: den första direkt efter att den spillts, den andra efter lite mer än en timme när den börjat torka, men fortfarande är blöt och den tredje dagen efter när fläcken är helt torr.

Några saker värda att notera: 1) storleken på fläcken bestäms direkt vid kollisionen mellan droppe och yta, ytterkanten ändras inte efter att den har definierats vid kollisionsögonblicket, 2) det finns partiklar av olika storlek i kaffet. Några är så stora att de syns som prickar medan andra istället bara syns som färgning av drycken. De stora partiklarna sjunker till botten och stannar sedan kvar utan att flyttas. De små partiklarna finns det till en början flest av i centrum, eftersom droppen är djupast där (jämför gärna med resonemanget om receptet på kaffegök i *Fysikaktuellt* 2/2022). Ganska snart ser vi att de små partiklarna börjar röra sig mot kanten. Eftersom kanten på droppen är fixerad måste vätska som avdunstar härifrån fyllas på med ny från droppens centrum, varpå små kaffepartiklar följer med ut till periferin så att denna blir mörkare och mörkare. Den torkade droppen kommer tillslut att ha en mörk,

väldefinierad kant och ljusare centrum, trots att fördelningen av färg inledningsvis var det motsatta.

OM VI HAR MJÖLK i kaffet ändrar vi dess viskositet, ytspänning och flödesdynamik, än mer om vi har skummad mjölk. Då kan det vara lättare att behålla kaffet i koppen, och istället för den spillda fläckens utbredning kan vi fördjupa oss i fysiken som ger mönster i form av "latteart" (figur 3).

En perfekt espresso har ett tunt lager skum, *crema*, på toppen som bildas när gas och oljor extraheras i espressobryggaren under tryck (ca 90 °C och 9 atm). För en fin latte, eller än hellre en cappuccino,



FOTO: PIXABAY

FIGUR 3 "Latteart", att göra mönster i den skummade mjölken, är populärt.

skummar vi också mjölken. Här behövs små bubblor som stabiliseras vid 60–65 °C, vilket ger en sammetslen konsistens och ett skum som inte är för styvt. Vi vill undvika ett hårt skum med stora bubblor. Nu är det dags att få utlopp för kreativiteten. Vi håller först cirka hälften av mjölken i kaffet utan att förstöra creman (här blandas varm mjölk och kaffe, inte skum). Sedan stannar vi upp och vinklar koppen 45°. Därefter håller vi kannan närmare ytan medan vi håller med mer kraft så att även skummet åker med ner i koppen. En lätt vridning med handleden gör att vi nu kan skapa det önskade mönstret, exempelvis ett vackert hjärta eller blomma.

Baristorna på fiken tänker antagligen inte på fysiken som de dagligen tillämpar bakom de stora espressomaskinerna. Men skillnaden i densitet, viskositet och ytspänning är förutsättningar för kreatiönerna som de skapar genom att kontrollera koppens vinkel, kannans höjd, samt hållhastigheten och handledens rörelse. Perfekt kontroll över flödesdynamiken mellan vätskorna möjliggör konstverken. Att skummen sedan inte flyter ihop beror på deras viskoelastiska egenskaper, som också hjälper dig att balansera din kopp utan att spilla.

JOHAN MAURITSSON OCH MALIN SJÖÖ
Lunds universitet

Matematik- och fysikprovet

Som ansvariga för utbildningsprogram är det en naturlig vilja att skapa förutsättningar för att de studenter som har störst chans att tillgodogöra sig utbildningen också blir antagna. Genom att använda Matematik- och fysikprovet som **urvalskriterium** matchas utbildningen med studenternas förutsättningar på ett bättre sätt vilket resulterar i en högre genomströmning.

Detta är en debattartikel. Åsikterna som uttrycks är skribenternas egna.

■ Enligt högskoleförordningen (1993:100) 7 kap. Tillträde till utbildningen 13 § ska platserna till en utbildning vid urval fördelas med minst en tredjedel på grundval av betyg, minst en tredjedel på grundval av resultat från högskoleprovet, och högst en tredjedel på grundval av de av högskolan bestämda urvalsgrunderna. Sedan 2007 har Matematik- och fysikprovet använts som ett alternativt urvalsinstrument för några av Chalmers civilingenjörsprogram. 2011 började även KTH att använda provet och idag används provet även för utbildningar på Göteborgs universitet och Stockholms universitet. Proven har alltsedan starten konstruerats av Jana Madjarova och Martin Cederwall från Chalmers. Det skrivs en lördag i maj samtidigt på orterna Göteborg, Stockholm och Umeå och alla prov rättas av Jana och Martin. Antalet provskrivare är omkring 600 årligen varav cirka en fjärdedel blir godkända.

Provet tillkom under antagandet att det finns gymnasieelever som har förutsättningar för att klara studier i exempelvis Teknisk fysik men inte nödvändigtvis har de väldigt höga medelbetyg som krävs för att kunna bli antagna. En möjlig bieffekt med provet skulle kunna vara att motverka gymnasieelevers taktiska kursval, till exempel att välja bort avancerade kurser i fysik och matematik

av rädsla för att de skulle sänka medelbetyget. En annan är att motverka effekterna av betygsinflation, något som även Handelshögskolans rektor Lars Strannegård diskuterat flitigt i media. En tredje att det skulle kunna underlätta för studenter med utländsk härkomst och sämre språkkunskaper att kunna antas till de berörda utbildningarna. Ytterligare en positiv bieffekt är att det genom provet signaleras vad studenterna, oavsett om de har skrivit det eller ej, bör kunna när de påbörjar sin utbildning.

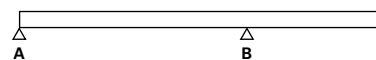
SOM NAMNET ANTYDER består provet av en matematik- och en fysikdel. Dessa består i sin tur av uppgifter där ett svarsalternativ ska väljas, uppgifter där endast svar ska anges och en uppgift vardera per del där fullständig lösning ska ges. Rättningsmallen är enkel, hjälpmedel är inte tillåtna, inslaget av numeriska räkningar är minimalt och kraven på numerisk precision är låga. Frågorna testar begreppsförståelse och förmågan att anpassa metoder efter de situationer som föreligger, snarare än att sätta in värden i olika formler.

För läsaren av denna artikel torde fysikdelen vara den mest intressanta provdelen. De ämnesområden som huvudsakligen berörs är mekanik (ungefär hälften av poängen), elektromagnetism och optik, ellära, vågrörelse, kvantfysik,

speciell relativitetsteori samt termodynamik. Samtliga dessa ämnen utgör kärnan av fysikkurserna på programmen Teknisk fysik på Chalmers och KTH. Provdelen baseras i huvudsak på fysik 1 och 2, men det förekommer även frågor där man behöver resonera sig fram själv.

Exempel på frågor från fysikdelen av provet är:

■ En plankan med massan m och längden L är horisontellt upplagd på två stöd. Det ena (**A**) vid ena ändpunkten, det andra (**B**) på avståndet $(3L)/8$ från den andra ändpunkten. Plankans massa är jämnt fördelad över dess längd. Hur stor är den vertikala kraften från stödet **A** på plankan?



- A. $(1/5)mg$
- B. $(3/8)mg$
- C. $(5/8)mg$
- D. $(4/5)mg$

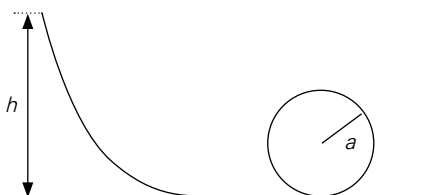
■ I en (idealiserad) elektrisk krets är två motstånd med resistanserna r_1 och r_2 parallellkopplade. De parallellkopplade motstånden seriekopplas sedan med ett motstånd med resistansen R , och ett batteri med spänning U läggs över kretsen. Vilken effekt P utvecklas i kretsen?



FOTO: CHALMERS, FREDRIK PERSSON/KTH

Studenter antagna från Matematik- och fysikprovet har bättre resultat på flera moment och fler tagna högskolepoäng under den första terminen än studenter antagna från alla andra urvalsgrupper, skriver programansvariga för Teknisk fysik på Chalmers och KTH.

■ En bilbana innehåller en loop. En liten bil släpps från vila på höjden h enligt figuren. Loopen har radie a . Friktionen är försumbar. Hur stor behöver h vara för att bilen skall klara hela loopen utan att tappa kontakt med banan?



SÅ HUR GÅR DET för studenter som har antagits från urvalsgruppen Matematik- och fysikprovet? En analys av resultat från Teknisk fysik på Chalmers för höstterminen 2023 visar att studenterna som antogs från provet har fått bättre resultat på det diagnostiska prov i matematik som skrivs under den första veckan, bättre resultat på alla moment i den första kursen i matematisk analys och fler tagna högskolepoäng under den första terminen än studenter antagna från alla andra urvalsgrupper. En motsvarande analys av studieprestation från Teknisk fysik (och Teknisk matematik) på KTH från 2022 visar att studenterna som antogs från provet presterar lika bra under första studieåret som studenter som antogs på gymnasiebetyg, och att studenter som

antogs från Högskoleprovet, och som inte samtidigt hade tillräckliga meriter för att också kunna antas på antingen gymnasiebetyg, eller Matematik- och fysikprovet, presterade avsevärt sämre. Detta resultat förvånar inte. Studentgruppen är antagen utifrån goda förmågor i matematik och fysik. Och det är just sådana kurser som ges under det första studieåret, liksom i större delen av utbildningen.

KAN DET FINNAS NÅGRA nackdelar med Matematik- och fysikprovet? En nackdel är att provet idag enbart kan skrivas på tre orter i Sverige (Stockholm, Göteborg och Umeå). Det kan spela roll för den bredade rekryteringen som samtliga universitet jobbar för att förbättra. En annan aspekt är att vi inte vet om slutprodukten från våra utbildningsprogram (det vill säga kunskaperna och färdigheterna hos den utexaminerade ingenjören) beror på urvalsmetoderna för antagning. Vi vet att studenterna som antas från Matematik- och fysikprovet klarar utbildningarna bra, framför allt under det första året som är så viktigt för de fortsatta studierna. Men skapar vi någon oönskad likriktning genom att bortse från andra viktiga förmågor som en ingenjör behöver, till exempel färdigheter inom kreativt tänkande, kommunikation, teamwork och emotionell intelligens? Vi tror inte det, men

det ligger förstås ett stort ansvar på våra utbildningsprogram att integrera sådana aspekter i kurser för samtliga programstudenter oavsett vilken urvalsgrund man antogs på.

Mot bakgrund av våra erfarenheter vill vi nu med denna artikel uppmuntra:

- Lärare som läser denna artikel att förmedla till presumtiva studenter att en framgångsrik skrivning av Matematik- och fysikprovet är en god indikator på att studenten har förutsättningar för att klara av civilingenjörstudier i allmänhet och studier på Teknisk fysik i synnerhet.
- Ansvariga för motsvarande utbildningar på andra lärosäten att börja nyttja Matematik- och fysikprovet som urvalskriterium, och även fundera på samarbeten som kan leda till att provet kan skrivas på fler orter i framtiden.

JONATHAN WEIDOW
programansvarig Teknisk fysik Chalmers
MARTIN VIKLUND
programansvarig Teknisk fysik KTH

Besök provets webbplats:
www.matematik-och-fysikprovet.se.

Detta är en debattartikel. Vill du svara?
Kontakta redaktionen på:
fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

"A toast" för brödrosten

En **brödrost** finns nuförtiden i de flesta kök. Den är till gagn på morgnarna för den jäktade. Ordnar snabbt varmt bröd, som både smakar och ser bättre ut än mikrat. Den kräver också mindre energi och tid jämfört med en vanlig ugn.



För att göra gammalt bröd mer tilltalande höll man förr det över öppen eld. I fattiga tider gällde det att snåla på allt ätbart. Det finns uppgifter om att just en skotte, Alan MacMasters, redan 1893 skulle ha uppfunnit den första elektriska brödrosten. Det är sannolikt en skröna.

Säkert är i alla fall att det i en brödrost behövdes en hållbar tråd, som både ger och tål värme. En sådan sökte Albert Marsh patent för 1905. Det var "Nichrome," en legering av nickel och krom, som kom att revolutionera utvecklingen. Redan året därpå sökte George Schneider patent på en rost med nikrom. Frank Shailor från General Electric skapade 1909 den första elektriska brödrosten som nådde en större publik.

Charles Strite presenterade 1919 en brödrost för restauranger, där skivorna hoppade upp när de var klara. Den blev en stor succé och 1926 lanserades en sådan för hemmabruk under namnet Toastmaster. I dagens rostar har det förstås tillkommit allehanda finesser, som defrostfunktion, återuppvärmning med mera. Men redan 1953 fanns en brödrost där rostningsgraden styrdes med en fotocell.

Kromnickeltråd (nikrom)

Nästan vilken elektriskt ledande tråd som helst kan användas för uppvärmning, men de flesta metaller leder ström alltför bra.

FOTO: MAX KESSELBERG



FIGUR 1 Till vänster syns de glödande värmetrådarna, som är virade runt fyra keramiska plattor.

Till höger värmekamerafoto, som visar att höljet kan bli obehagligt varmt. Metallytorna förefaller svalare än plasten, men kamerans emissivitet (0,95) var inställd för ytor som nästan strålar som en svartkropp. Metallytan är givetvis också varm, men det förstår inte kameran.

Tråden måste, för att ha tillräcklig resistans, då vara tunn och lång. Den måste samtidigt ha en längd och diameter som passar för en brödrost.

Lösningen var alltså nikrom, där nickel och krom vanligen finns i proportionerna 80/20. Tabellen nedan visar att resistiviteten är markant högre än hos andra metaller. Dessutom är smältpunkten tillräckligt hög och temperaturkoefficienten liten, så att uppvärmd tråd inte böjer ut mot brödet.

Vid uppvärmning får nikromet ett yttre lager av kromoxid som skyddar tråden. Det skyddar dessutom tråden från ytterligare oxidation. Nikrom är duktilt (latin *du'ctilis* "tänjbar") och klarar därför de snäva svängarna runt keramikskivorna (figur 1). Nikrom är "icke-magnetiskt" (det vill säga paramagnetiskt) och luktar inte heller.

Tack vare låg tillverkningskostnad används nikrom som värmetråd också i hårtorkar, värmefläktar, värmefiltar, värmepistoler, ugnar med mera.

I 3D-skrivare smälter nikromtråd utskriftsmaterialet, vilket möjliggör exakt och effektiv lager-för-lager-konstruktion. Inom medicinen används det för att skära och försegla vävnad under operationer, vilket hjälper till att kontrollera blödning och minska risken för infektion. I bilar och flygplan återfinns nikrom i avfrostnings- och avisningsystem.

Funktion

Från en glödlampa vill vi ha ljus, men får bara omkring 5 procent. Resten av energin blir värme. Syftet med brödrosten är det omvända. Därför sänker vi temperaturen på glödtråden, vilket ger värme och bara liten andel ljus (figur 2).

Inuti brödrosten

När spaken (1) i figur 3 trycks ner, trycks den smala hävstångsspinnen (2) också ner, och en tvåpolig brytare (3) släpper fram strömmen. Metallbiten (4) under den svarta hållaren för brödkorgarna följer med ned mot elektromagneten (5),

	Cu	Al	W	NiCr (80/20)
Resistivitet ($10^{-8} \Omega m$)	1,67	2,65	5,36	105 (20 °C)
Densitet (10^3 kg/m^3)	8,96	2,7	19,3	8,3
Smältpunkt (°C)	1 083	660	3420	1 440
Temperaturkoefficient ($10^{-3}/^\circ\text{C}$)	4,33	4,29	4,3	0,18

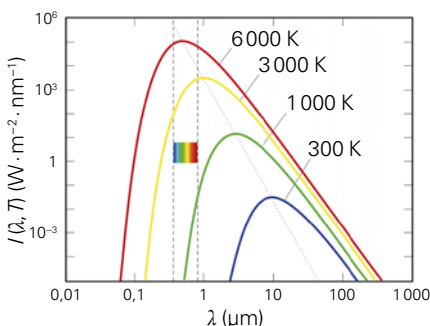
som därmed håller fast den. På ett kretskort (6) finns en kondensator som laddas ur via en variabel resistor, medelst ett vridreglage (7). När spänningen sjunkit till viss nivå släpper elektromagneten, strömmen bryts och den utdragna spiral fjädern (8) drar upp upp brödkorgarna.

Förr användes en bimetall för att reglera värmetiden. När den böjer sig påverkar den en brytare. Rostningsgraden varierades genom att justera avståndet mellan bimetall och kontakt. Nackdelen är att om rostningen är kall bryter bimetallkontakten för sent och brödet blir för mörkt. Rostar man många skivor i rad, blir rostningen varm, bimetallkontakten bryter då för tidigt och brödet blir för ljust.

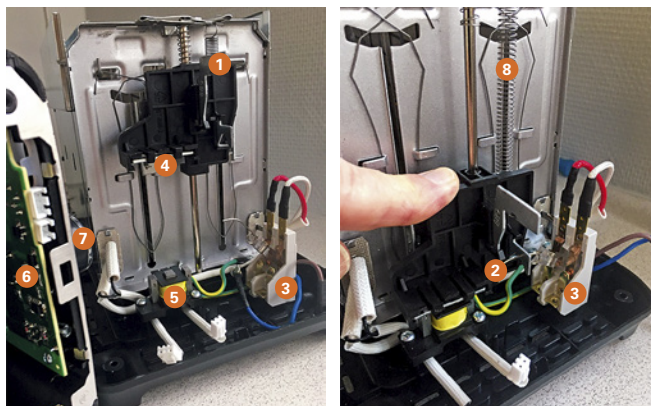
Min brödrost

Pågens *Rosta! Frasigt och gott*, valde jag för att testa min brödrost. Det är mjukt, fluffigt och sägs vara perfekt att rosta. Jag rostade två skivor på vart och ett av de sju rostningsstegen. Sidorna som var vända utåt blev något mer rostade. Tiden var 70 s på steg 1 och den ökade sedan med omkring 10 s per steg upp till steg 6. I steg 7 ökade oväntat tiden med en hel minut, varpå brödet sotades. Jag fick uppenbarligen äta upp att rostningen bara kostade 200 kr.

Spänningen (U) var omkring 230 V, strömmen (I) minskade från strax under 3,6 A till strax under 3,5 A lika för alla sju rostningsstegen. Minskningen berodde sannolikt på att resistansen ökade med temperaturen. Jag rostade 2 skivor vardera i de sju stegen under sammanlagt 12,5 min (figur 4). Energiförbruk-



FIGUR 2 Den gula kurvan visar att en glödlampa ger ljus, men en stor andel värme. Den gröna kurvan visar att en brödrost utsänder lite rött ljus, men, som avsett, mest värme.



FIGUR 3 Spak (1), tunn hävarm (2), strömbrytare (3), metallbit (4), elektromagnet (5), kretskort (6), reglage för rostning (7) och spiral fjäder (8).



FIGUR 4 Till vänster 14 skivor rostade i par i rostens sju steg och visas vända så att de legat lika i rostningen. Till höger syns att temperaturen är hög. Emellertid är brödets värmeledning dålig och dess (specifika) värmekapacitet liten. Man kan därför bita i det nyrostade brödet, precis som man kan gå på glödande kol.

ningen blev $W = UIt = 230 \cdot 3,5 \cdot 12,5 = 0,17 \text{ kWh}$.

På ömse sidor av fyra keramiska plattor var värmetråden virad med 1 cm mellanrum, i 12 stycken, 12 cm långa rader. Eftersom strålningen från en lång ledare, till skillnad från en punktkälla, avtar som $1/r$, får brödskivan ganska jämn bestrålning.

Värmetråden är tunn och rektangulär med en bredd på ungefär 1 mm. För att kunna mäta hur tunn den är hade jag behövt ta isär rostningen "beyond the point of no return". I stället uppskattade jag trådens längd (l) till $4 \cdot 12 \cdot 0,12 \text{ m} = 5,76 \text{ m}$ och mätte dess resistans till $R = 65 \Omega$. Med resistiviteten $\rho = 1,05 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$, och sambandet $R = \rho l/A$ blir tvärsnittsarean $A \approx 10^{-7} \text{ m}^2$. Den tunna sidan ligger därför uppskattningsvis i härdat tiondels millimeter.

Vårt dagliga bröd

Värmen från tråden överförs till brödet via ledning där brödet ligger an mot brödkorgen, via konvektion från den upphettade luften, men huvudsakligen via infraröd strålning. För att få en gyllene skorpa

måste ytan uppnå en temperatur på över 140°C . Då kan en Maillardreaktion ske mellan kolhydrater och aminosyror. Precis som när man steker kött får ytan då en mörkare ton, samt en av många uppskattad smak. Samtidigt ska inkrämet i brödskivan vara mjukt, så det mesta av strålningen behöver ganska snabbt absorberas vid ytan. När ytan börjar bli brun absorberar den mer av strålningen. Brödet kan nu snabbt bli bränt. Om rostningen blivit ojämn kommer färgskillnaden mellan olika delar att bli mer uttalad med tiden. Rosta bröd i en mikrovågsugn går inte, eftersom det behövs strålningsvärme och det erbjuder inte en mikrovågsugn.

Glöm inte

När man är jäktad och rostningen är varm är det lätt att glömma avlägsna de brödsmulorna som gravitationen fört till brödrostens botten. Lossa och töm smulbrickan då och då, eller vänd rostningen uppochner. Det är hygieniskt och förhindrar framför allt att smulorna tar eld.

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet



NATUR &
KULTUR

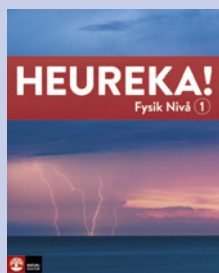
Heureka!

Heureka! har en självklar plats i fysikundervisningen på gymnasiet och nu är det dags för en ny omarbetad upplaga. Nya Heureka! är utvecklad i samarbete med ledande fysiker och lärare.

Ny
omarbetad
upplaga!



Gy25



Läs mer på nok.se/heureka