

Pythia · Så funkar lungorna i rymden · Diamanter

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 1 • FEB 2026



Iskallt experiment

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 2/2026 är 23 mars 2026.

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 hos 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 2026



OMSLAGSBILDEN: Ett enkelt och roligt experiment, kopplat till densitet, är att studera om salthalten i vattnet påverkar hur fort isbitar smälter. En skvätt karamellfärg visar tydligt effekten – men vilket glas har högst salthalt? Läs mer på sidan 22. Foto: Johan Mauritsson

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
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för tillämpad fysik
- Linköpings universitet – Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Linköpings universitet – Institutionen för naturvetenskap och teknik (ITN)
- Linnéuniversitetet – Institutionen för fysik och elektroteknik
- Luleå tekniska universitet – Institutionen för teknikvetenskap och matematik
- Luleå tekniska universitet – Institutionen för system och rymdteknik
- Lunds universitet – Fysiska institutionen
- Mälardalens universitet – Avd för matematik och fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet – Institutionen för fysik och astronomi
- Umeå Universitet – Institutionen för fysik

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 **SIGNERAT**
Julia Järlebark
- 4 **AKTUELLT**
- 6 **RADIOFREKVENT STRÅLNING**
- 8 **HÄNDELSEGENERATORN
PYTHIA SKAPADES I LUND**
Flagg skepp för svensk
partikelfysikforskning
- 10 **INTERVJU**
Torbjörn Sjöstrand
- 11 **LISE MEITNER-DAGARNA**
- 12 **RYMDSKROT I ATMOSFÄREN**
Vad händer med alla
uttjänta satelliter?
- 14 **WALLENBERGS FYSIKPRIS**
Danderyds gymnasium
knepp förstaplatsen
- 17 **STENHÅRD FORSKNING**
- 20 **SAMLADE FÖR MÅNGFALD
NORNDiP 2025**
- 22 **GOD FYSIK**
Fysik i ett vattenglas
- 24 **PARTIKELDAGARNA 2025**
- 25 **KONSTEN ATT
ANDAS I RYMDEN**
- 28 **DEBATTARTIKEL**
- 29 **RECENSION**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Tips till stekare
- 32 **AKTUELLT**



Inom fysik är vi kanske mer intresserade av hårdheten än skönheten hos en diamant. Läs mer om hur forskare skapat nya, förbättrade varianter på sidan 17.

Så mycket mer än bara en olympiad

Det har gått elva år sedan jag för första gången hörde talas om att man kunde tävla i fysik. Då var jag en nyfiken gymnasieelev som tyckte om problemlösning. Min fysiklärare uppmanade mig att skriva Wallenbergs fysikpris – och vips blev jag inbjuden till en särskild tjejsatsning. Det var en vecka i Göteborg fylld av föreläsningar, laborationer, studiebesök och, viktigast av allt, möten med andra fysikintresserade ungdomar. Året därpå fick jag möjligheten att representera Sverige vid den internationella fysikolympiaden i Zürich, en resa som gett mig både minnen och vänner för livet. För mig var erfarenheterna från fysiktävlingarna, och känslan av att ha funnit ett sammanhang där jag hittade hem, helt avgörande i valet att fortsätta studera fysik på universitetet.

En fysikolympiad är så mycket mer än bara en tävling. För många ungdomar är det en stark inspiration och motivation att studera fysik och träna sig i problemlösning. Den är också en mötesplats där nya internationella kontakter kan knytas, och där det fria utbytet av idéer står i fokus. I en tid då STEM-strategier och satsningar på naturvetenskap, teknik och utbildning för unga är ett högaktuellt politiskt ämne, både nationellt och internationellt, känns detta viktigare än någonsin.

Att inspirera och stimulera till ökat fysikintresse hos unga är därför en fråga som blivit högst personlig för mig. Tio år har gått sedan jag satt i en gympsal i Zürich och, med varierande framgång, försökte lösa ett problem om LHC. Då hade jag aldrig kunnat ana att jag en dag skulle få frågan om att leda arbetet med att organisera en fysikolympiad i Sverige. Uppdraget kändes nästan lite svindlande till en början, men efter lite övervägande tackade jag ja – en möjlighet och ett stort förtroende från Svenska Fysikersamfundets sida som jag idag är mycket tacksam för.

De senaste tre åren har vi arbetat med att planera olympiaden, en spännande



och utvecklande resa som innehållit allt från givande internationella samarbeten till insikten om hur mycket arbete som krävs bakom kulisserna. Jag känner mig stolt över det stora engagemang som finns i Sverige för arrangemanget av den europeiska fysikolympiaden – inte minst bland unga. Jag ser fram emot att få visa upp det arbete som vi gemensamt har gjort för att ge olympiadens deltagare en oförglömlig upplevelse.

I juni kommer Göteborg att stå värd för 200 nyfikna, intelligenta och ambitiösa gymnasieelever från hela Europa och resten av världen. Att få vara med och skapa en vecka fylld av fysik, gemenskap och upplevelser – från experiment till utflykter i skärgården – känns både stort och meningsfullt. För mig är det ett sätt att ge vidare det jag själv fick för tio år sedan. Och vill du som medlem i samfundet vara med och bidra till olympiadarrangemanget är det ännu inte för sent att höra av dig!

Julia Järlebark

JULIA JÄRLEBARK

Doktorand inom materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola

Mer information hittar du på eupho26.se

Vill du hjälpa till på Fysikolympiaden?

■ Den europeiska fysikolympiaden (EuPhO) arrangeras i Göteborg den 12–16 juni 2026. Är du fysiker och tycker det verkar roligt att hjälpa till med att bedöma deltagarnas lösningar?

Scanna QR-koden för att anmäla dig till ett av EuPhOs informationsmöten, eller läs mer på eupho26.se.



Olympiad i Lund

■ 2–9 maj går Eoes (European Olympiad of Experimental Science) av stapeln i Lund. Den årligen återkommande olympiaden är en naturvetenskaplig lagtävling för elever som går sista året i grundskolan eller första året i gymnasiet. Varje lag består av tre elever som samarbetar för att lösa praktiska, laborativa uppgifter som blandar biologi, fysik och kemi. Tidigare olympiader har hållits i bland annat Zagreb, Riga och Luxemburg.

Den svenska finalen avgjordes i slutet av januari, och i mars hålls ett träningsläger i Göteborg för de som gick vidare. För den som blir sugen men missade årets tävling öppnar anmälan för läsåret 2026–27 i augusti.

Läs mer på eoes.se och eoes2026.se.

Poddipset



På tal om universum

■ Fysikerna Magnus Bertilsson och Sigfrid "Sigge" Stjärnholm blandar humor och vetenskap. "På tal om universum" är en fristående fortsättning av podden "Bland radiovågor och stjärnstoft" från studentradion i Uppsala, och Magnus och Sigge vill prata om allt mellan himmel och jord – och längre än så. Hittills finns 6 avsnitt att lyssna på.



<https://ptou.se>



Den europeiska rymdväderveckan (ESWW) lockade 550 deltagare på plats i Umeå.

FOTO: ESWW2025

Europeisk konferens om rymdväder i Umeå

■ Den europeiska rymdväderveckan ESWW (European Space Weather Week) är en årlig internationell konferens som samlar forskare, ingenjörer, politiker och branschfolk verksamma inom industrin för att samtala om den senaste utvecklingen inom rymdväderforskningen och dess tillämpningar (prognoser, modeller, försvar).

Termen *rymdväder* hänvisar till förhållandena i rymden som orsakas av solens aktivitet. Förändringar i solvinden kan ge upphov till geomagnetiska stormar, som kan trigga geomagnetiskt inducerade strömmar (Geomagnetic Induced Currents), vilka kan orsaka betydande störningar i elnätet, oljeledning och järnvägars signalsystem. Samtidigt kan jonsfäriska störningar orsaka avbrott i telekommunikations- och navigationssystem. Enligt den europeiska rymdorganisationen ESA kan en rymdväderhändelse orsaka socioekonomiska kostnader på flera miljarder euro. Detta visar vikten av att förstå och att bevaka rymdvädet.

ESWW 2025 ägde rum i Umeå 27–31 oktober, efter att en träningskurs för unga specialister hållits i Kiruna 23–26 oktober. Konferensen, som organiserades av Umeå universitet med stöd från belgiska Solar-Terrestrial Excellence Centre och Institutet för rymdfysik (IRF), samlade över 550 deltagare på plats och över 600 totalt. Temat var *Teknisk utvidgning av Arktis – nya*

gränser för rymdvädet, och att lyfta fram vikten av interdisciplinärt samarbete för att bättre förstå och mildra solaktivitetens effekter på rymdsonder, flygtrafik, markbaserad infrastruktur, teknologi och planetär rymdmiljö. Det unika arktiska perspektivet betonades för rymdväderforskning på nordliga latituder.

Det vetenskapliga programmet innefattade utvalda talare, vetenskapliga sessioner, panelsamtal och medaljceremoni för en forskare i början av karriären, Erika Palmeiro. Ämnen sträckte sig från solfysik och geomagnetiska stormar till satellitoperationer, flygsäkerhet och samhällsberedskap. Utöver det vetenskapliga fick deltagarna njuta av flera sociala aktiviteter, bland annat att uppleva norrsken, en traditionell rymdmarknad och konferensmiddag. Cirka 600 sammanfattningar hade skickats in och presenterades på 35 olika sessioner tack vare starkt engagemang i ämnet.

Den nationella organisationskommittén tackar sponsorererna (se en fullständig lista på esww.eu), rymdväder- och klimatnätverken samt alla frivilliga studenter vars medverkan gjorde ESWW 2025 till en stor framgång. ESWW 2026 hålls i Florens, Italien, 2–6 november.

AUDREY SCHILLINGS

Nationella organisationskommittén för ESWW 2025

Översättning: Asta Pellinen Wannberg

NY KURSPLAN

Önskemål: Kvantifiera, laborera – och veta vad som ingår

Mer av kvantitativ undervisning, ökade krav på skolorna gällande det laborativa arbetet och en tydligare beskrivning av vad som ingår i ämnet. Det föreslår den arbetsgrupp som på Skolverkets uppdrag har lagt fram en rapport inför revisionen av grundskolans **kursplaner i fysik**.

I slutet av förra året tog Skolverket emot de ”ämnesspecifika instruktioner” som olika lärosäten getts i uppdrag att arbeta fram inför kursplaneskrivandet i samband med att grundskolan blir tioårig hösten 2028. För fysikämnet gjordes arbetet i stället av en bredare arbetsgrupp under ledning av Urban Eriksson, professor i fysikdidaktik vid Uppsala universitet och representant för Fysikersamfundets styrelse. I gruppen ingick även Jakob Gyllenpalm, Jonas Nycander, Ann-Marie Pendrill, Christopher Robin Samuelsson och Adam Arvidsson.

Mer av kvantitativ undervisning

Arbetsgruppen för fram tre huvudbudskap i sin rapport. Det första handlar om att återinföra matematiken som ett verktyg i grundskolefysiken.

I låg- och mellanstadiet behöver den nya kursplanen innehålla observationer och vardagliga mätningar, jämförelser och uppskattningar. I högstadiet fysikaliska samband angivna som algebraiska uttryck och beräkningsuppgifter till dessa. Gruppen påpekar att en sådan förändring stämmer väl överens med de förslag som förs fram i motsvarande rapport för matematikämnet. Här betonas till exempel algebrans roll för att ”hantera funktioner och samband och samvariation”.

Gruppen menar att man kan få en positiv verkan i båda riktningarna om de matematiska verktygen kommer tillbaka till skolfysiken. För matematikämnet

ges de algebraiska variablerna en konkret betydelse och eleverna vänjer sig vid att dessa kan ha många olika namn, medan den matematiska strukturen fortsätter att vara densamma. För fysikämnet öppnas dörren till fysikens viktigaste språk, matematiken, där fysikaliska principer och modeller kan uttryckas. I bilden nedan framgår vilka kvantitativa samband som arbetsgruppen anger borde ingå i fysikundervisningen på högstadiet.

Läs mer om detta förslag i Jonas Nycanders debattartikel i [förra numret av Fysikaktuellt](#).

Undersökningar som kunskapsmål

Arbetsgruppens andra huvudbudskap gäller att elevernas rätt till laborativa inslag i undervisningen behöver stärkas genom tydliga krav på vilka förutsättningar som skolor måste uppfylla, exempelvis gällande utrustning, lokaler, gruppstorlekar och tid.

I den första läroplanen för grundskolan, Lgr62, angavs att en fysiklektion varannan vecka skulle avsättas för laborationer, och att denna skulle genomföras i halvklass om det fanns minst 17 elever i klassen. I senare läroplaner, inklusive den som gäller idag, finns inga sådana krav angivna. Arbetsgruppen konstaterar att det behövs explicita skrivningar gällande sådana förutsättningar om en likvärdig

skola ska nås och om eleverna ska kunna ta del av fysikens syfte.

Gruppen betonar också att naturvetenskapliga undersökningar måste ses som ett kunskapsmål i sig, inte som en typ av undervisningsaktivitet bland andra. Detta innebär att eleverna ska få lära sig till exempel vad som kännetecknar en undersökningsbar frågeställning och experimentet som naturvetenskaplig metod.

Var tydlig med vad som ingår

Arbetsgruppens tredje och sista huvudbudskap är att den nya kursplanen, för att uppnå en ökad likvärdighet, behöver vara tydligare än den nuvarande med vad som ska ingå i fysikundervisningen, och även tydliggöra progressionen mellan årskurserna. Det måste utifrån kursplanen gå att förstå vad som ingår, inte minst eftersom många lärare i grundskolan undervisar i flera ämnen och har begränsad fysikbakgrund. Enligt Skolverkets statistik är bara hälften av de som idag undervisar i fysik i årskurs 7 till 9 behöriga. Tydligheten är också viktig som stöd för läromedelsförfattare och konstruktörer av nationella prov.

Arbetsgruppen föreslår också att den nya kursplanen ska utgå från klassiska fysikområden: mekanik, värmelära, elektromagnetism, optik, strålning samt astronomi och kosmologi. Energi ses som ett

De kvantitativa samband som bör ingå i högstadiets fysik enligt arbetsgruppen.



FOTO: JOHAN MAURITSSON

- övergripande tema, liksom ”fysikens roll i samhället” och ”naturvetenskapernas karaktär”. Särskilt noterbart är värmeläran återkomst. Denna har inte angetts explicit i någon läroplan sedan Lgr62, men gruppen argumenterar för dess centrala roll: ”Värmeläran är ett av fysikens mest grundläggande områden, den är en naturlig startpunkt för att förstå vad energi är, den handlar om sådant som eleverna har intuitiv erfarenhet av, den har många viktiga tillämpningar i vardagen, samhället och klimatsystemet, den lämpar sig väl för elevlaborationer, och den kan förstås med enkel matematik.”

Intressant läsning

Även i övrigt innehåller rapporten intressant material för var och en som är intresserad av fysikundervisning. Den inledande genomgången av hur grundskolefysikens innehåll förskjutits under sin drygt sextioåriga historia ger upphov till många frågor, där den övergripande är: Har dagens sextonåringar försetts med bättre eller sämre verktyg för att förstå sin omvärld än vad deras far- och morföräldrar fick med sig? Och borde svensk skola snegla mot den engelska? I den internationella undersökningen TIMSS 2023 var England det europeiska land som fick högst resultat i naturvetenskap för årskurs 8. I England är kursplanen i fysik mycket mer detaljerad än vad den är i Sverige och studierna avslutas med nationella prov i ett antal olika ämnen, bland annat naturvetenskap (”science”). Här ingår fysik och det finns såväl kvantitativa som kvalitativa uppgifter.

Den som vill ta del av rapporten i sin helhet hittar den på www.skolverket.se/styrning-och-ansvar/forandringar-inom-skolområdet/tioarig-grundskola-och-nya-laroplaner/amnesspecifika-instruktioner. Under våren går Skolverket vidare med arbetet att ta fram de nya kursplanerna, bland annat genom att bjuda in olika grupper till samråd.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Göteborgs universitet

Hur påverkar radiofrekvent strålning oss?

Låga nivåer av radiovågor från mobiltelefoner till basstationer, trådlösa nätverk och TV-sändare, exponeras vi dagligen för men vad vet vi egentligen om deras **långsiktiga effekter på hälsan**? Denna artikel ger en översikt över exponeringsnivåer, den senaste forskningen och de gränsvärden som skyddar oss.

Vi har länge känt till att radiovågor kan orsaka uppvärmningseffekter i kroppen, men under de senaste decennierna har forskningen främst varit inriktad på att undersöka om det finns långsiktiga effekter av exponeringen, och om effekter kan uppstå vid nivåer som ligger under det som krävs för att orsaka termiska effekter. Här sammanfattas hur vår exponeringsmiljö ser ut, hur den har förändrats med teknikutvecklingen och vad vi idag känner till om eventuella hälsorisker.

Texten baseras delvis på en informationskrift från Svenska Nationalkommittén för radiovetenskap, *Mobil kommunikation och radiovågor – Teknik och hälsa*, där mer fördjupande information finns.

VI EXPONERAS DAGLIGEN för låga nivåer av radiovågor från våra mobiltelefoner, radio- och TV-sändare, basstationer och annan trådlös teknik. Nivån på exponeringen påverkas bland annat av uteffek-

ten, där en mobiltelefon maximalt sänder på 0,25 W och en basstation på enstaka watt till några hundra watt, beroende på om den används i inomhusmiljö eller ska täcka stora avstånd utomhus.

En annan viktig faktor är avståndet till källan, då radiovågor avtar snabbt med avståndet. Det innebär i många situationer att basstationer som används för att täcka stora avstånd ger betydligt lägre exponering än en mobiltelefon som man håller mot huvudet, trots att uteffekten kan skilja markant – just på grund av att avståndet till basstationer för allmänheten är tillräckligt stort för att exponeringen har avtagit med flera tiopotenser.

MOBILTELEFONER REGLERAR sin uteffekt effektivt, vilket innebär att i de flesta fall där täckningen är god kommer mobilen inte att sända på sin maximala uteffekt. Teknikutvecklingen har också påverkat exponeringsnivån. NMT, det första systemet som var analogt, sände med betydligt högre medeffekt än 2G (GSM), som var det första digitala systemet. Senare system (3G–5G) har en ännu



FOTO: PIXABAY

effektivare effektreglering och idag sänder mobiltelefoner vanligen bara på några procent av den maximala effekten.

Mobiltelefoner och basstationer använder frekvenser från 450 till (snart) 26 GHz, vilka ur exponeringssynpunkt främst påverkar absorptionen av radiovågor i vävnad. Inträngningsdjupet, det vill säga hur långt in i vävnaden som radiovågorna absorberas, för 450 MHz är ca 2,5 cm, jämfört med 26 GHz där inträngningsdjupet är ca 1 mm. Frekvenser i GHz-området ger således en yttligare exponering av främst huden.

FÖR ATT BESKRIVA HUR hög effekt som absorberas i vävnaden använder man ”specific absorption rate”, SAR-värdet (W/kg), som är proportionellt mot temperaturökningen. Det är också det mått som våra gränsvärden baseras på, där gränsvärden anges för absorberad effekt per 10 g vävnad. Alla produkter som avger radiovågor måste uppfylla gränsvärdet, förutom där uteffekten bedöms som så låg och att ett överskridande av SAR-värdet inte är möjlig.

För basstationer där hela kroppen exponeras behöver man också säkerställa att SAR-värdet medelvärdesbildat över hela kroppen inte överskrider ett gränsvärde som är satt för att undvika feber, det vill säga en helkroppsuppvärmning på mer än 1 grad Celsius.

FORSKNINGEN OM DE eventuellt långsiktiga effekterna av radiovågor har pågått i flera decennier. Enligt den senaste rapporten från Strålsäkerhetsmyndighetens Vetenskapliga råd för elektromagnetiska fält och hälsa finns inga nya etablerade orsakssamband mellan exponering för radiovågor och hälsorisker.

Vissa studier har observerat biologiska effekter, såsom oxidativ stress och viss påverkan på hjärnvävnad vid exponeringsnivåer i nivå med våra gränsvärden. Man har dock inte dragit slutsatsen att dessa effekter skulle kunna påverka hälsan hos människor. Detta är också samstämmigt med andra expertorgans bedömning av forskningsläget.

En stor del av forskningen har fokuserat på cancer, särskilt hjärntumörer, och

”Frekvenser i GHz-området ger således en yttligare exponering av främst huden.”

resultaten har i huvudsak inte visat på några risker. Enskilda epidemiologiska studier tyder på viss ökad risk, men den samlade bedömningen från olika expertorgan och det faktum att sjukdomsfrekvensen inte har ökat under de senare åren ger inte stöd för den teorin.

För att säkerställa att en viss exponering orsakar sjukdom, behövs också stöd från djurförsök och cellstudier, och för radiofrekventa fält finns inte några övertygande bevis om att så är fallet. Andra studier har undersökt beteendeffekter, kognitiva funktioner och reproduktiva effekter, men resultaten är svårtolkade och inkonsekventa.

SAMMANFATTNINGSVIS kan man konstatera att våra gränsvärden, som alla produkter som avger radiovågor måste uppfylla, skyddar mot uppvärmning som är den enda etablerade hälsoeffekten vid exponering för radiovågor. I dagsläget finns inga övertygande bevis för att hälsoeffekter skulle kunna uppstå vid nivåer som understiger gränsvärdena.

JONNA WILÉN

Lektor, Institutionen för diagnostik och intervention, Umeå universitet och ordförande i sektion K, Svenska Nationalkommittén för radiovetenskap

Läs mer

Strålsäkerhetsmyndigheten 2024:05. SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. *Recent Research on EMF and Health Risk, Seventeenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2022.* www.stralsakerhetsmyndigheten.se/publikationer/rapporter/stralskydd/2024/202405/

Svensk Nationalkommittén för radiovetenskap. 2023. *Mobil kommunikation och radiovågor – Teknik och hälsa.* www.snrv.se/SNRV/Publikationer/Mobil%20kommunikation.pdf



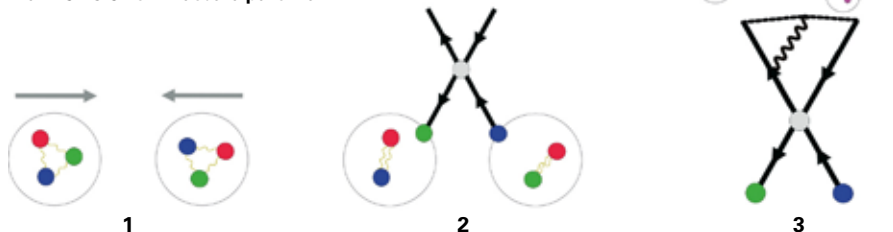
Pythia – femtio år i partikelfysikens tjänst

I drygt femtio år har Sverige utvecklat så kallade **händelsegeneratorer**, det vill säga datorprogram för simuleringar av partikelfysikexperiment på till exempel CERN. Den lundsiska generatoren Pythia med Torbjörn Sjöstrand i spetsen är ett flaggskepp för svensk partikelfysikforskning, och spelar en central roll för utforskandet av mikrokosmos vid experiment världen över.

inom partikelfysiken försöker vi förstå hur universums minsta byggstenar växelverkar via de fundamentala naturkrafterna. Den bästa teorin vi har för detta idag är Standardmodellen, och för att testa vår förståelse måste modellen kontinuerligt ställas mot experimentella mätningar såsom vid Large Hadron Collider (LHC) på CERN.

På LHC accelereras bland annat protoner till nära ljusets hastighet i en cirkulär bana och kollideras sedan. I dessa våldsamma processer växelverkar kvarkar och gluoner inuti protonerna med varandra via naturkrafterna, som därför kan studeras ingående. Interaktionerna leder till att en uppsjö nya partiklar skapas och skjuts iväg i olika riktningar. I slutändan mäter experimentet ett visst antal partiklar i detektorelement som omger kollisionspunkten, men att gå från detektorsignal

FIGUR 1.
Från kollision till mätbara partiklar



- 1) Två protoner kolliderar nära ljusets hastighet.
- 2) En av protonernas inre beståndsdelar – kvarkar eller gluoner – växelverkar i en så kallad hård process.
- 3) Partiklarna strålar vidare, bildar partikelskurar och omvandlas till hadroner som i slutändan kan registreras i detektorn. En verklig kollision mellan två protoner är mycket mer komplicerad

än den förenklade bild som presenteras här. Flera kvarkar och gluoner kan kollidera och ge upphov till många olika processer. Det emitteras vanligtvis många fler partiklar än bara en enda, och flera strängar (se nästa sida) skapas som kan växelverka med varandra. En kollision mellan två protoner vid Large Hadron Collider kan ha hundratals partiklar i sluttillståndet. Händelsegeneratorer som Pythia simulerar hela detta förlopp steg för steg.

till grundläggande frågeställningar om de fysikaliska processer som skedde i kollisionen är mycket svårt. Med händelsegeneratorer som Pythia kan forskare på datorn återskapa en partikelkollision, följa vad som händer i varje steg, och se vilka mätbara signaler som borde uppstå i detektorn. Det gör dem oumbärliga för att tolka experiment och pröva Standardmodellen.

EN HÄNDELSEGENERATOR LÅTER oss gå från den högenergetiska första interaktionen i kollisionen till de partiklar som faktiskt mäts i detektorn (figur 1). Detektorn ser dock aldrig fria kvarkar och gluoner – sådana kan inte existera som isolerade partiklar i naturen. I stället observeras hadroner, det vill säga bundna tillstånd av kvarkar och gluoner, till exempel proto-

ner, neutroner och pioner. En central del är därför att beskriva hur den starka kärnkraften, kallad kvantkromodynamik, förkortad QCD, omvandlar kvarkar och gluoner till hadroner i en process som kallas hadronisering.

En del hadroner som skapas är tillräckligt långlivade för att upptäckas i detektorn, medan andra sönderfaller till partiklar som i sin tur istället detekteras. Ofta ser man att de uppmätta partiklarna rör sig i en (nästan) gemensam riktning. Sådana "jets" härrör från den underliggande starka kärnkraften när en högenergetisk kvark eller gluon strålar ut andra partiklar. Varje ny partikel kan i sin tur fortsätta stråla ut andra, så att en kaskadeffekt uppstår. Att hela skuren pekar i en viss ungefärlig riktning beror bland annat på att

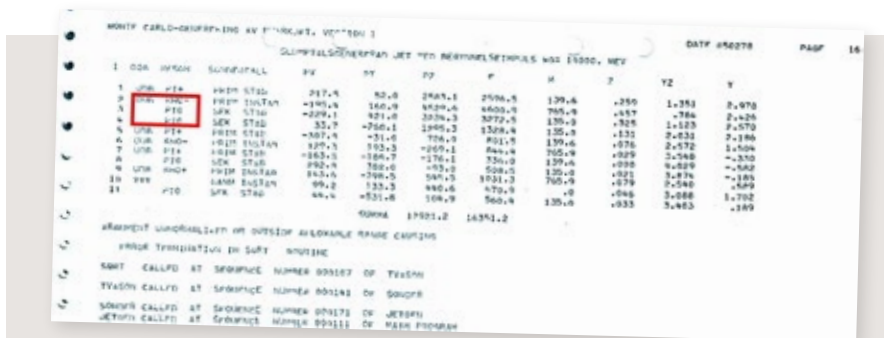
Pythia

Pythia var i det antika Grekland den titel som oraklet i Delphi bar. Pythia var översteprästinna i templet till Apollo, och ansågs i kraft av gudens språkror kunna ge förutsägelser om framtiden. Institutionen fanns från 700-talet f.Kr. till åtminstone 393 e.Kr.



FOTO: BERLINS STATISMUSEER

Oraklet i Delphi avbildat på dryckesskål från 400-talet f.Kr. Just den här bilden har använts som grund för Pythias logotyp.



FIGUR 2. Öppen från början

Bilden visar det tidigast bevarade resultatet från Jetset, föregångare till Pythia, daterat den 2 maj 1978. Den första offentliga versionen kom ut några månader senare. Redan då delades källkoden öppet mellan forskare. Eftersom programmet var skrivet på hålkort skedde detta via post. Den rödmarkerade rutan avslöjar dessutom ett utvecklingsproblem: i verkligheten förbjuder laddningens bevarande att en

negativt laddad ρ -meson sönderfaller till två neutrala pioner. Att sådana fel kunde upptäckas, diskuteras och rättas var en direkt följd av att koden var fritt tillgänglig för granskning. Denna tradition av fri och öppen programvara – idag ofta kallad FOSS – har följt med hela vägen till dagens Pythia och är en viktig förklaring till att programmet kunnat utvecklas, testas och användas av tusentals forskare världen över.

sannolikheten för en emission av en partikel är högre ju mindre vinkeln till moderpartikeln är. För varje emission sjunker en partikels energi, tills hadroniseringsprocessen istället börjar som i figur 1.

PYTHIA HANTERAR HELA förloppet i en partikelkollision, från den första hög-energetiska växelverkan mellan kvarkar och gluoner, via partikelskurar, hadronisering och sönderfall, till stabila partiklar som kan mätas i detektorer. Beskrivningen bygger på kvantmekanik, där utfallet av en enskild process aldrig är helt bestämt utan bara kan förutsägas statistiskt. För att fånga detta simuleras samma typ av kollision många gånger på datorn, och man drar sedan slutsatser ur det samlade utfallet (på liknande sätt kollideras enorma mängder protoner i experiment). Denna typ av upprepade simuleringar kallas Monte Carlo-metoder.

I Pythia bestäms till exempel sannolikheten för att en kvark eller gluon ska sända ut nya partiklar av sannolikhetsfördelningar som kan härledas från QCD. Hadroniseringssteget som sker vid lägre energier där QCD inte kan beskrivas direkt från teorin modelleras istället. Den starka kraften mellan två kvarkar antas motsvara en linjär potential som ökar ju längre ifrån varandra kvarkarna befinner sig. Kraften kan därför väldigt förenklat ses som en utsträckt sträng. När kvarkarna separeras

blir energin till slut tillräckligt stor för att istället skapa nya kvarkpar och strängen går sönder. Hur dessa strängar skapas, går sönder och överlappar med varandra i en partikelkollision ligger i hjärtat av Pythia, och är vida känt som Lunds strängmodell.

DEN FÖRSTA KODEN på vägen till dagens Pythia skrevs 1978 av dåvarande lundsiska doktoranderna Torbjörn Sjöstrand och Bo Söderberg (figur 2). Detta var inspirerat av tidigare arbeten av bland annat Feynman och Field, samt de lokala Bo Andersson, Gösta Gustafson och Carsten Peterson.

Vid den här tidpunkten var datorkraften starkt begränsad och endast en dator kunde hantera beräkningarna i Lund. Själva programmen matades in via hålkort, men den mekaniska läsningen av korten hade en tendens att misslyckas och ibland förstöra dem. De praktiska begränsningarna ledde till att Sjöstrand på egen hand fortsatte utveckla programvaran, som då kallades Jetset.

Under 1980-talet gick programmet från att vara ett lokalt utvecklingsprojekt till ett verktyg som experiment världen över började förlita sig på i sin dagliga analys. Särskilt experiment på DESY där man kolliderade elektroner och positroner var betydelsefulla, och i takt med att nya experimentella resultat kom utvecklades programmet. Även experiment för

elektron-proton kollisioner började efterfråga simuleringar, vilket 1980 ledde till händelsegeneratorn Lepto i samarbete mellan Sjöstrand och Gunnar Ingelman, den senare sedermera professor i Uppsala. Även den folkkäre fysikern Hans-Uno Bengtsson deltog i arbetet med händelsegeneratorer, för protonkollisioner. Från ett gemensamt intresse för antiken och Herodotos bok *Historia* valde Sjöstrand och Bengtsson att kalla händelsegeneratorn för protonkollisioner ”Pythia”, vars första version lanserades 1982.

SEDAN DESS HAR PYTHIA kontinuerligt utvecklats. Idag går det att simulera bland annat tungjonskollisioner, och moderna utvecklingar inom maskininlärning implementeras också för framtida tillämpningar. Pythia används nu av alla experiment på LHC, i dataanalyser och för att designa nya detektorer, men har även applikationer långt bortom, såsom för kosmiska partiklars växelverkan i vår atmosfär.

Många av dessa tillämpningar sker med Pythia som en del av en kedja av program, där Pythia ansvarar för en del av en större simulering, till exempel den hårda spridningen. Med sina nära tjugo tusen användare världen över spelar Pythia i dagen central roll för partikelfysiken. Utvecklingen sker i ett nära samspel mellan teoretisk förståelse, avancerad programvaruutveckling och kontinuerlig återkoppling från experiment, samtidigt som koden hålls tillgänglig och användbar för en bred forskargemenskap. Efter ett halvt sekel av utveckling är det tydligt att Pythia inte är ett projekt som blir färdigt. Dess fortsatta roll som bro mellan teori och experiment vilar på långsiktighet och kontinuitet.

CHRISTIAN BIERLICH
Partikel- och kärnfysik, Lunds universitet

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Higgs Centre for Theoretical Physics,
Edinburgh universitet

Läs mer och ladda ner på pythia.org.

”Jag stod på mig”. *Fysikaktuell* har träffat Torbjörn Sjöstrand. Läs mer på nästa sida! ▶

”Jag stod på mig”

Våren 1978 påbörjades ett arbete i Lund som skulle komma att påverka partikelfysiken på global skala under åtminstone ett halvt sekel. *Fysikaktuellt* träffar **Torbjörn Sjöstrand**, professorn som givit liv åt händelsegeneratorn Pythia.

Sjöstrand växte upp i Malmö. Redan i tolvårsåldern fick han ett starkt intresse för bland annat astronomi och partikelfysik, dels genom populärvetenskapliga böcker och dels genom Malmö Astronomi & RymdfartsSällskap (MARS). Intresset ledde tids nog till valet att studera fysik, ett stenkast bort i universitetsstaden Lund. Det fanns ingen redan utstakad bana som akademiker, utan Sjöstrand drevs enbart av sin nyfikenhet för naturen och dess mest fundamentala beståndsdelar.

År 1978 initierades det första arbetet med datorprogrammet Jetset för att implementera en hadroniseringsmodell. Sjöstrand berättar att den begränsade datorkraften fick hans dåvarande kollegor att tvivla på huruvida det fanns någon större poäng med att fortsätta Monte Carlo-studierna. På en sommarskola 1979 diskuterades nya resultat från PETRA-experimenten på DESY där händelser med tre jets hade observerats, och vid hemkomsten till Lund fanns det inga



FOTO: PRIVAT

En ung Torbjörn Sjöstrand kring tiden för disputation, våren 1982. Här hade ny, revolutionerande teknik kommit till Lund – datorterminalen.

tvivel för Sjöstrand att han skulle studera det med Jetset och Lunds strängmodell.

I praktiken möttes han dock av starkt motstånd från en senior gruppmedlem. ”Jag stod på mig, och under ett par veckors tid var stämningen något obekvämt”, berättar Sjöstrand.

Experimentalister vid JADE-experimentet 1980 jämförde med Sjöstrands resultat och såg utmärkt överensstämmelse. Tvilarna insåg att de haft fel och uppmuntrade till fortsatt arbete. Utan detta genombrott hade Pythia troligen aldrig blivit verklighet.

EFTER DISPUTATION OCH Pythias födelse 1982 var det dags för postdoktorvistelser, först vid DESY och senare på Fermilab i USA. Under dessa år arbetades det hårt för att kunna beskriva vad som händer i proton-protonkollisioner, bland annat rollen som multipartikelinteraktioner spelar och hur färggladdningar från QCD påverkar den underliggande fysiken. Under perioden i USA hade tekniken utvecklats så att det gick att upprätthålla samarbete på avstånd med Hans-Uno Bengtsson, som var postdok vid UCLA och vid denna tidpunkt fortfarande involverad i Pythia. Det är många personer som kommit och gått under årens gång, och periodvis har Sjöstrand även fått arbeta helt själv.

Han berättar vidare att två perioder på CERN var mycket viktiga för Pythia. Som anställd mellan 1989 och 1995 blev han på olika sätt involverad i nästan alla öppna fysikgrupper och implementerade diverse modeller. Pythia skulle även komma att användas vid designen av partikeldetektorer vid LHC. Under en sabbatsperiod 2004–2007 togs ännu ett steg i händelsegeneratorns utveckling, då koden skrevs om från grunden i programmeringsspråket C++ istället för Fortran.

NAMNET ”PYTHIA” KOMMER från antikens orakel i Delfi, vars spådomar och råd under ett drygt millennium var högt aktade bland grekerna. Både Sjöstrand och Bengtsson hade ett gediget intresse för antiken, särskilt Herodotos bok *Historia*. Precis som grekerna lyssnar partikelfysiker till sitt orakel Pythia, och Sjöstrand ser en särskilt viktig roll för sin skapelse i framtiden: ”de typer av experiment och dataanalyser som kommer göras för en framtida partikelaccelerator bortom LHC behöver utan tvekan Monte Carlo-baserade händelsegeneratorer”. Det är därför av yttersta vikt att Pythia fortsätter utvecklas så att vi kan besvara de fundamentala frågor som fortfarande finns inom partikelfysiken.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON

Herodotos

Herodotos (484–425 f.Kr.) var en grekisk historiker, som anses vara den förste att systematiskt samla in historiska fakta och placera dem i tidsordning. Hans verk *Historia* (senast utgiven på svenska år 2000) behandlar bland annat persernas historia.

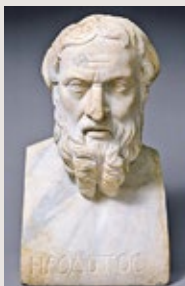


FOTO: METROPOLITAN MUSEUM OF ART

Herodotos. Romersk byst från 200-talet e.Kr.



Klassisk gruppbild i trappan på AlbaNova.



Benjamin Verbeek svarar på frågor efter sin föreläsning.

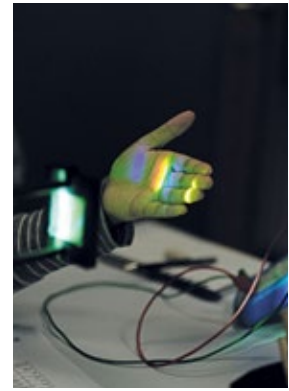


FOTO: LINUS WIRÉN

Laboration med Vetenskapsens hus.



Utställningen lockade många.

Nya erfarenheter och vänskapsband

Helgen den 14–16 november samlade **Lise Meitner-dagarna** för elfte gången fysikintresserade gymnasieelever från hela Sverige.

Denna gång deltog 93 gymnasieelever, från Kiruna i norr till Trelleborg i söder. Under tre intensiva dagar på AlbaNova i Stockholm fick deltagarna lyssna på föredrag inom spridda ämnen inom fysikområdet. Bland annat föreläste Pia Grahn om fysik i vården, Daniel Aili om 3D-printing av vävnader inom biofysik och Benjamin Verbeek om hur man mäter storleken hos atomkärnor.

På schemat stod också laborationer tillsammans med Vetenskapsens Hus och

Wallenbergs Fysikpris, och flera aktivitetspass – däribland Festimathon med Ung Vetenskapssport och Expedition Mundus med Sveriges Unga Akademi. Under fredagen arrangerades dessutom en mässa där lärosäten med fysikutbildningar och föreningar fanns representerade.

Dagarna gav goda möjligheter för deltagarna att träffa andra fysikintresserade ungdomar från hela landet, utbyta erfarenheter och knyta nya vänskaper. Lördagskvällen bestod av en finsittning i

studentikos anda, med mingel, sånger och spex.

Hösten 2026 kommer Lise Meitner-dagarna att arrangeras igen. Anmälan öppnar i slutet av vårterminen och är öppen för varje gymnasieskola som erbjuder naturvetenskap- eller teknikprogrammet. Läs mer på lisemeitnerdagarna.se.

LINE THUNMAN
Arrangörgruppen för
Lise Meitner-dagarna 2025

Rymdskrot i atmosfären

I takt med att antalet **satelliter** i omloppsbanan ökar blir frågan om vad som händer när de så småningom tjänat ut allt viktigare.

Satelliter är i dag helt avgörande för vårt samhälle. De är viktiga för forskning, infrastruktur och vårt vardagliga liv, och det är svårt att föreställa sig en värld utan dem. Med hjälp av satelliter kan vi förutse oväder och mildra effekterna av naturkatastrofer, rädda skördar, övervaka klimat och miljö, skydda skogar, navigera till sjöss och i luften samt kommunicera över hela jorden. De spelar också en viktig roll för säkerhet och internationell övervakning, till exempel genom att följa vapenspridning och bidra till att internationella avtal efterlevs.

För att kunna erbjuda snabb internetuppkoppling och för att inte vara beroende av andra makter vad gäller satellitinfrastruktur har både privata företag och statliga aktörer på senare tid börjat bygga upp så kallade megakonstellationer av satelliter i låg omloppsbanan runt jorden. Antalet satellituppskjutningar har därför ökat dramatiskt under det senaste decenniet – en utveckling som förväntas fortsätta. Denna snabba utveckling väcker nya frågor som vi hittills inte behövt ställa. En av dem handlar om vad som faktiskt



FOTO: SPACEX

En stapel med 60 Starlink-satelliter på väg att släppas ner i omloppsbanan. Starlink är en av de mest kända megakonstellationerna av satelliter.

händer när satelliter tjänat ut, bromsas upp av atmosfären och deras material sprids i dess övre lager.

I början av 2000-talet försvarade jag min doktorsavhandling, som handlade om vad som händer med meteoriskt material som ”brinner upp” i atmosfären. Egentligen är det inte en förbränningsprocess då detta enligt definition kräver syre, utan man brukar prata om *ablation* – ett begrepp som innefattar disintegrering, smältning, och förångning, men låt oss bortse från detta. Jag visade med hjälp av en modell att även om meteoroider kommer in över hela jordklotet så koncentreras

materialet till polarområdena. Detta beror på den mesosfäriska cirkulationen – en luftström som hela tiden transporterar luft från sommar- till vinterpolen och vidare ner i stratosfären. Nästa halvår kommer nytt material in, och även detta transporteras mot vinterpolen, som då är den andra polen. På så sätt hamnar majoriteten av det meteoriska materialet i polarområdena i stratosfären.

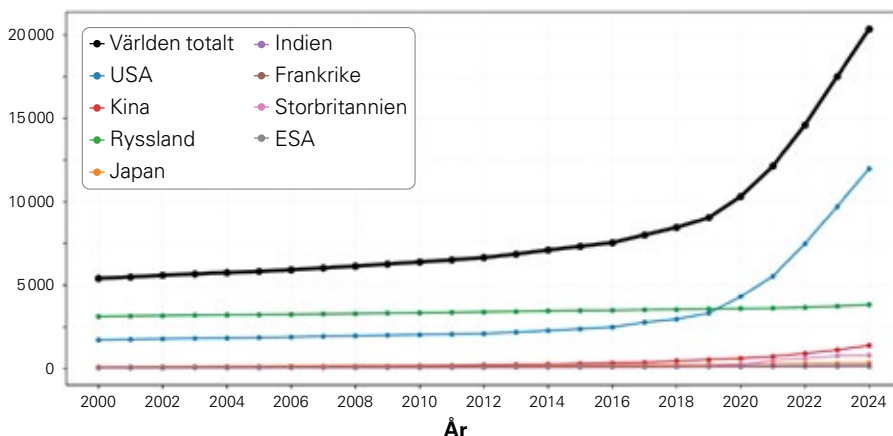
Vad som händer med materialet i stratosfären vet man faktiskt inte riktigt. Laboratoriestudier tyder på att det skulle kunna utgöra kondensationskärnor¹ för så kallade polarstratosfäriska moln (läs mer i *Fysikaktuell* nr 1/2025). Dessa moln, som bildas i stratosfären vid vinterpolen, kan vara mycket vackra, men bidrar effektivt till nedbrytningen av ozonskiktet. När jag fått frågor om detta har jag svarat att inflödet av meteoriskt material är stabilt och har varit det under mycket lång tid, så om det har någon påverkan på molnen, så har den effekten funnits länge.

SEDAN JAG DISPUTERADE har jag arbetat mycket med satelliter. Då och då har jag fått frågor om vad som händer med satelliter när de brinner upp i atmosfärens övre delar, och om det deponerade materialet inte förorenar atmosfären.

Mitt standard svar har varit att, även om vi inte vet säkert, så tror jag inte att det utgör någon större fara, eftersom mängden satellitmaterial varit försvinnande liten jämfört med den mängd meteoriskt material som konstant tillförs atmosfären.

Ibland har jag lagt till att det stora problemet är satelliter som ligger i för

Kumulativt antal objekt uppskjutna till rymden (2000–24)



Antal objekt uppskjutna till rymden, även inkluderat rymdfarkoster som inte kommer tillbaka till atmosfären. Dessa är dock få relativt de satelliter som kommer att återinträda.

DATAKÄLLA: UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS (2025) VIA OUR WORLD IN DATA, [HTTPS://ARCHIVE.OURWORLDINDATA.ORG/20250909-093708/GRAPHER/CUMULATIVE-NUMBER-OF-OBJECTS-LAUNCHED-INTO-OUTER-SPACE.HTML](https://archive.ourworldindata.org/20250909-093708/GRAPHER/CUMULATIVE-NUMBER-OF-OBJECTS-LAUNCHED-INTO-OUTER-SPACE.HTML) (ARKIVERAD 9 SEPTEMBER, 2025).

¹ En kondensationskärna är en liten partikel som attraherar vattenmolekylerna och på så vis underlättar för en molndroppe eller ispartikel att bildas. Ett vanligt exempel är partiklar från flygplansbränsle som ger moln-spåren i luften efter flygplan (läs mer i *Fysikaktuell* nr 3/2024).

höga omloppsbanor för att bromsas upp av atmosfären inom rimlig tid. De blir kvar i omloppsbanor som rymdskrot och riskerar att kollidera med och förstöra fungerande satelliter (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 2/2022). Därför konstrueras satelliter medvetet så att de så småningom ska bromsas upp och brinna upp inom rimlig tid.

Nu har jag dock insett att mitt standard svar på frågan snart inte längre är sant. Antalet satelliter ökar i hisnande fart, och därmed också mängden material som deponeras i atmosfären. Det finns stora osäkerheter kring hur mycket naturligt material som deponeras i atmosfären, men det rör sig om storleksordningen 10 kiloton per år. Under 2020 utgjorde satellitmaterialet ca 1 kiloton per år, vilket är en betydligt större andel än när jag disputerade, men ändå en klart mindre del än det naturliga. Förra året uppgick det till ca 2 kiloton per år, och ökningen tros fortsätta.

Redan under 2024 dominerade vissa ämnen från satelliter över det naturliga inflödet. I fallet aluminium, som ofta stora delar av själva satellitkroppen är byggd av, hade vi ungefär dubbelt så stor andel från satelliter i förhållande till naturligt material. För vissa mer exotiska ämnen, som till exempel litium, niobium och hafnium, hade vi redan under 2024 hundra gånger mer material från satelliter än från naturliga källor. Förhöjda halter av satellit-specifika ämnen som aluminium, niobium och hafnium, har redan detekterats i stratosfären över polarområden, med instrument ombord på forskningsflygplan över Alaska.

DETTA GÖR ATT FRÅGAN om vad som händer med materialet helt plötsligt blir mycket viktigare. Det ska också tilläggas att utsläpp från jordytan inte når denna del av atmosfären, vilket innebär att den fram till nyligen i stort sett varit opåverkad av mänsklig aktivitet. Meteoroider och satelliter brinner båda till stora delar upp i mesosfären. Det är därför troligt att satellitmaterialet blandas med det naturliga meteoriska materialet och delar dess öde. Men det är inte säkert.

Satelliter har generellt lägre hastighet relativt atmosfären än vad meteoroider har, och är dessutom mycket större objekt. Det meteoriska material som kommer in

FOTO: JACEK STEGMAN



Exempel på polarstratosfäriskt moln, eller pärlmormoln, som de ibland också kallas.

i atmosfären är till största delen i mikrometerstorlek. Satellitdelar är ju mycket större och hinner därför troligen längre ner i atmosfären innan de bromsas upp och börjar brinna. Det skulle kunna innebära att materialet kommer så långt ner att det "missar" den starka mesosfäriska luftströmmen mot vinterpolen.

Det är också möjligt att det, eftersom materialet tillförs i större mängder på en gång, uppstår högre lokala koncentrationer av material. Då kan partiklarna hinna koagulera mer än i fallet med meteoriskt material, och bli tillräckligt stora för att snabbt falla till marken, där de, så länge det inte gäller miljöfarliga material, troligen inte utgör samma problem. Men stannar det kvar i atmosfären längre tid skulle en ökande mängd material kunna förändra atmosfärens kemiska och fysikaliska processer.

I mesosfären anses det meteoriska materialet utgöra kondensationskärnor till jordens högsta moln, de så kallade nattlysande molnen (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 2/2024). Kan vi förvänta oss att dessa moln förändras när flera gånger mer material deponeras i atmosfären? Kanske. Samtidigt styrs molnen också av temperatur och vattenhalt, så effekterna är långt ifrån självklara. Om materialet, liksom det meteoriska, transporteras till polerna vet vi inte heller till vilken grad det påverkar de polarstratosfäriska molnen och ozonskiktet, eller om det ger upphov till andra, ännu okända effekter.

OM VI HADE BÄTTRE kunskap om dessa processer skulle vi kunna konstruera satelliter på ett sätt som minimerar riskerna

– till exempel genom att undvika vissa material, styra på vilken höjd de brinner upp, eller utforma dem så att en större del av materialet inte förbränns utan når jordytan intakt.

I dag är de flesta satelliter konstruerade så att satellitkroppen inte ska nå jordytan, av uppenbara säkerhetsskäl kopplade till risken för fritt fallande objekt. Men om det deponerade materialet skulle visa sig skadligt för atmosfären är det kanske bättre att i stället optimera konstruktionen så att en större del av materialet når marken och deponeras i till exempel Stilla havet, något som i dag endast görs för vissa satelliter.

Oavsett vilka lösningar som i slutändan visar sig nödvändiga kan vi minimera eventuella negativa konsekvenser mycket bättre om vi agerar tidigt. Nyckeln är att förstå vad som faktiskt händer med materialet från satelliter när det deponeras i atmosfären. Det är hög tid att skaffa oss denna förståelse.

LINDA MEGNER

Meteorologiska institutionen,
Stockholms universitet

Läs mer

Schulz, Leonard, et al. "Space waste: An update of the anthropogenic matter injection into Earth atmosphere." arXiv preprint [arXiv:2510.21328](https://arxiv.org/abs/2510.21328) (2025)

D.M. Murphy, M. Abou-Ghanem, D.J. Czicz, K.D. Froyd, J. Jacquot, M.J. Lawler, C. Maloney, J.M.C. Plane, M.N. Ross, G.P. Schill, & X. Shen, "Metals from spacecraft reentry in stratospheric aerosol particles", *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 120 (43) e2313374120, <https://doi.org/10.1073/pnas.2313374120> (2023).



Segrande laget i årets skoltävling från vänster: Leshi Zhang, Julia Boström och Aron Helzel Golan.

Danderyd knep förstaplatsen

I år var det Danderyds gymnasium som knep första platsen i lagtävlingen inom **Wallenbergs fysikpris**. Tre av skolans spets elever i matematik, Aron Helzel Golan, Leshi Zhang och Julia Boström, fick tillsammans ihop hela 80 av 90 möjliga poäng och slog därigenom fysikspets eleverna på Polhemsskolan i Lund som hamnade på andra plats med 77 poäng.

Wallenbergs fysikpris, Fysiker-samfundets tävling för gymnasieelever, består av sex teoretiska fempoängsuppgifter som ska lösas individuellt. De 18 elever som får flest poäng går vidare till en final där det avgörs vilka fem elever som erbjuds delta i den internationella fysikolympiaden, IPhO.

Men uttagningstävlingen är också en tävling mellan skolor. Poängen för varje skolas tre bästa elever läggs samman och när rättning och sammanräkning var avklarad den sista helgen i januari visade det sig att en av de rättande lärarna, Lars Gråsjö, kunde vara extra glad: Danderyds

Segrande skolor, lagtävlingen 2026

- 1 Danderyds gymnasium, Danderyd
- 2 Polhemsskolan, Lund
- 3 Europaskolan, Strängnäs
- 4 Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg
- 5 Norra Real, Stockholm
- 6 Kitas gymnasium, Göteborg
- 7 Rosendalsgymnasiet, Uppsala
- 8 Södra Latins gymnasium, Stockholm
- 9 Baldergymnasiet, Skellefteå
- 10 Kungsholmens gymnasium, Stockholm

gymnasium, där han är lektor i fysik, tog hem priset som bästa skola 2026.

DE TRE ELEVERNA I skollaget går alla i Danderyds gymnasiums spetsklasser i matematik och det gör det möjligt att bedriva en fysikundervisning som Lars trivs med:

– Eftersom eleverna inte har problem med matematiken, kan vi istället använda mer tid till dialog och resonemang om grunder och problemlösning. ”Filosofisk, experimentfokuserad, dra-egna-slutsatser-stil” skrev en tidigare elev om mina lektioner, berättar Lars. Och skolan erbjuder Fysik 3, så de som blir intresserade kan ta även den kursen. Dessutom finns ▶

Kuligt och kallt i årets tävlingsuppgifter

■ Hur mycket stiger temperaturen i en skruv som dras in med en elektrisk skruvdragare? Det var frågan i den första uppgiften i årets uttagningstävling. Totalt bestod provet av sex uppgifter som var och en kunde ge upp till fem poäng.

I den andra uppgiften gällde det att bestämma åldern på en bergart som innehöll zirkonkristaller. När de bildas binder zirkonkristaller små mängder uran, men inget bly. Allt bly som senare hittas i zirkonkristallerna är därför en produkt av radioaktivt sönderfall från uran.

I två av uppgifterna fanns en liten kula i centrum: dels

skulle man beräkna hur läget för en upphängd laddad metallkula ändras när ett elektriskt fält slås på, och dels skulle andelen translationsenergi bestämmas för en kula som rullat utför en viss rutschkana.

Två av uppgifterna publiceras nedan. I den första gäller det att uppskatta hur hög medeltemperaturen för en ”snöbollsjord” med atmosfär är, och i den andra att beräkna vad som händer när saxen klipper av tråden i figuren. På tävlingens hemsida, www.fysikersamfundet.se/wallenbergs-fysikpris, finns alla uppgifterna tillsammans med lösningsförslag.

Uppgift 4: Snöbollsjorden

■ För 580 miljoner år sedan var jorden täckt av snö och is, den s.k. snöbolls-jorden. För att förstå klimatet på snöbolls-jorden behövs bland annat modeller som beskriver absorption i och emittans från både atmosfär och jordytan. Den strålning som kommer från solen antas vara samma som idag, $1,4 \text{ kW/m}^2$. Antag också att det är samma temperatur över hela jorden.

Genom att studera strålningens reflektion mot is för olika våglängder visar det sig att reflektionen är olika för kortvågig (våglängder $300\text{--}1\,000 \text{ nm}$) och långvågig strålning (våglängder $5\,000\text{--}50\,000 \text{ nm}$). Isen ab-

Snöbolls-jorden

Det finns geologiska observationer som tyder på att jorden i perioder varit helt täckt av is och snö från polerna till ekvatorn. Under sådana perioder kallas jorden för en ”snöbolls-jord”. Observationer tyder på att detta inträffade senast för 580 miljoner år sedan. Teorin om snöbolls-jorden var tidigare omtvistad, bl.a. för att det inte är helt klarlagt hur jorden kan lämna sitt snöbollsliska tillstånd och återgå till den ”vanliga” jord vi lever på idag.

sorberar ca 30 % av den kortvågiga solstrålningen (albedo 0,7) och absorberar

90 % (emissiviteten 0,9) för långvågig strålning.

a) Beräkna medeltemperaturen för snöbolls-jorden utan atmosfär.

Atmosfärens absorption av kortvågig strålning är mycket låg, men absorptionen av långvågig strålning är hög. Antag att atmosfären inte absorberar någon kortvågig strålning alls, men däremot 50 % av den långvågiga strålningen. Behandla atmosfären som ett tunt skikt som värms upp av den absorberade långvågiga strålningen.

b) Beräkna medeltemperaturen för snöbolls-jorden med atmosfär.

Uppgift 5: Klipp tråden!

■ Två likadana fjädrar med en obelastad längd på $0,80 \text{ m}$ och fjäderkonstant 50 N/m hänger i serie med ett kort snöre mellan (det korta snöret är mycket kortare än $0,8 \text{ m}$).

I den nedersta fjädern hänger man en vikt med massan $1,1 \text{ kg}$, se bilden till vänster i figuren.

a) Bestäm längden av respektive fjäder när vikten hänger i den nedre fjädern. Den nedre fjädern fästs med ett snöre i

taket, och från den övre fjädern placeras ett snöre i vikten, se bilden till höger i figuren.

Inget av snörena påverkar utsträckningen av fjädrarna. Då det korta snöret mellan fjädrarna klipps av kommer kraftsituationen att ändras och vikten börjar svänga.

b) Bestäm amplitud och svängningstid för vikten när det korta snöret klipps av. Bortse från dämpning och andra icke-ideala effekter.

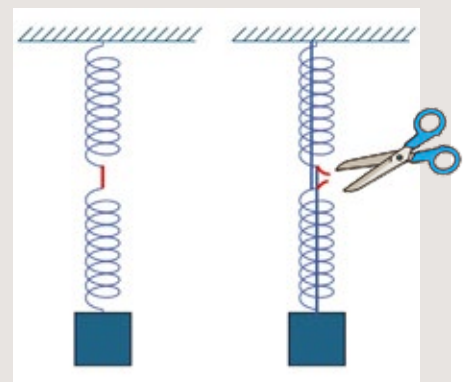




FOTO: A.S. MÄRTENSSON

Trettiofyra lärare och tidigare tävlande deltog i årets rättningsarbete.

På bilden syns några av de som bedömde uppgift 5: Per-Ola Fredriksson, Melvin Storbäck, Lars Gråsjö (närmast fönstret), Mostafa Kerim och Ann-Marie Pendrill.

► en tradition på skolan att delta i olika matematiktävlingar och då är steget inte så långt att pröva att delta även i Wallenbergs fysikpris.

En av eleverna i laget, Aron Helzel Golan, lyckades få full pott i uttagnings-tävlingen och tyckte årets uppgifter var roliga att arbeta med:

– Matematik är såklart favoriten, men fysik får en stark andraplats. Det är alltid roligt när man upptäcker att någon matematik man lärt sig för matematikens skull kan appliceras på fysiken på ett eller annat sätt.

I år var det allra första gången som skoltävlingen har två flickor i det vinnande laget. Den ena, Julia Boström, kompletterar:

– Jag tycker fysik är intressant, som matematik fast man jobbar mer med verkliga scenarion. Jag har alltid varit intresserad av att förstå hur saker och ting fungerar och fysik är ett av de ämnena där jag känner att man får utforska det. Den uppgiften som jag gillade mest var den sista om rörelseenergi. Den var tillräckligt svår för att vara intressant att lösa, men man behövde inte använda flera sidor för att lösa den som i uppgiften om jordens temperatur.

LAGETS TREDJE MEDLEM, LESHU Zhang, var med i Wallenbergs fysikpris redan förra året. Då vann hon den individuella finalen och tog sedan medalj på såväl den nordisk-baltiska som den europeiska och den internationella fysikolympiaden.

– Jag är mycket intresserad av både matematik och fysik. Till skillnad från matematik kräver fysik även observationsför-

måga och praktiskt experimentellt arbete, vilket är något jag fortfarande försöker bli bättre på. I år gillade jag särskilt uppgift 5. Modellen med fjäder och lätt snöre påminde mig om förra årets uppgift 5 och testade förstäelsen av harmonisk svängning på ett djupgående sätt. Den var både utmanande och rolig. I år kändes tävlingen ganska bekant, så jag förberedde mig inte så mycket. Men inför förra årets tävling, när jag deltog för första gången, gick jag igenom alla uppgifterna från de senaste tio åren.

Aron och Leshu kvalificerade sig också till den individuella finalen. För

dem och ytterligare 16 finalister väntar nu en "fysikveckla" som Fysikcentrum Göteborg arrangerar i mitten av mars. Då bjuds det på föreläsningar, experimentell träning och första delen av finalen där tre experimentella uppgifter ska lösas. Andra delen av finalen utgörs av den nordisk-baltiska fysikolympiaden, NBPhO, som hålls i Tallinn i slutet av april. De fem elever som får högst sammanlagd poäng erbjuds att representera Sverige på IPhO, som i år hålls i juli i Bucaramanga i Colombia.

Men redan i mitten av juni är det dags för den europeiska olympiaden. Eftersom den i år arrangeras på hemmaplan, i Göteborg, får vi lov att delta med tio i stället för fem svenska tävlande och både Aron och Leshu har redan genom sina placeringar i uttagnings-tävlingen säkrat en plats i laget.

ETT VARMT TACK TILL Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond som finansierar uttagnings-tävlingen och tillsammans med Skolverket gör det möjligt för oss att delta i olympiaderna.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
Göteborgs universitet

Finalister 2026

1	Aron Helzel Golan , Danderyds gymnasium, Danderyd	30 p	11	Erik Göransson Emgård , Kitas gymnasium, Göteborg	25 p
2	Gabriel Textorius , Europaskolan, Strängnäs	28 p	11	Annie Karheiding , Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg	25 p
3	Wojtek Berkes , Baldergymnasiet, Skellefteå	27 p	11	Charlie Wendt , Göteborgs Högre Samskola, Göteborg	25 p
3	Juli Ju , Polhemskolan, Lund	27 p	11	Albin Wolf , Kungsholmens gymnasium, Stockholm	25 p
3	Teo Larsson , Rosendalsgymnasiet, Uppsala	27 p	16	Rebecka Johannesson , Kitas gymnasium, Göteborg	24,5 p
3	Tor Lonnert , Polhemskolan, Lund	27 p	16	Oscar Landberg , Europaskolan, Strängnäs	24,5 p
3	Tom Sigfrid , Norra Real, Stockholm	27 p	16	Harry Molin , Värmdö gymnasium, Värmdö	24,5 p
3	Leshu Zhang , Danderyds gymnasium, Danderyd	27 p			
9	Archiman Das , International School of Helsingborg, Helsingborg	26 p			
9	Erik Bengtsson , Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg	26 p			
11	David Eles , Berzeliusskolan, Linköping	25 p			

I år deltog hela 561 elever från 65 gymnasieskolor i uttagnings-tävlingen. Ovan listas de 18 elever som fick högst poäng och erbjuds delta i fysikveckla och final. Till fysikveckan bjuds även sex "VIP-tjejer" in utom tävlan i en speciell satsning på att få fler flickor att delta i tävlingen.

Stenhård forskning

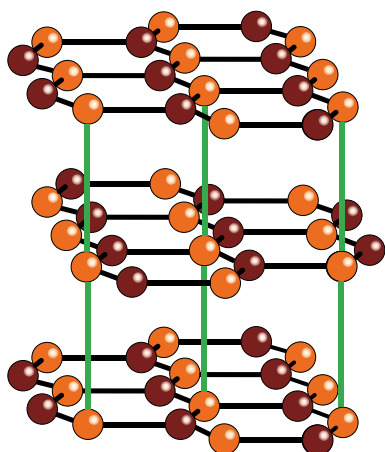
Diamant, ädlast av ädelstenar: högt brytningsindex får den att glittra på ringfingret och extrem hårdhet utnyttjas för borrar och slipning. Egenskaperna hos naturlig diamant verkar kanske omöjliga att överträffa, men ändå har man nyligen lyckats skapa flera nya, förbättrade typer av diamant.



Replika av Koh-i-Noor (persiska för "berg av ljus"), en av världens största och mest mytomspunna diamanter. Den slipade stenen väger 105,6 karat (21,12 g) och sitter i den brittiska drottning Elizabeths krona.

Tusentals forskare har studerat diamantsyntes sedan diamant först tillverkades i Stockholm 1953. I många år användes högt tryck, precis som i naturen, men idag kan diamanter tillverkas billigt och enkelt genom nedbrytning av kolväten till kol som deponeras i form av diamant på ett substrat (CVD, *chemical vapour deposition*). Rent kol finns naturligt som diamant och grafit, men oftare bildar kol föreningar som kalksten, råolja, eller kroppsvävnad.

I vanlig grafit (figur 1) binds atomerna till varandra i vaxkakeliknade lager med hexagonal (sexkantig) struktur, som staplas och formar en tredimensionell kristall. Hexagonala strukturer återfinns i många former av kol och orsakas av atomens elektronstruktur. Varje atom har sex elektroner, två i s-orbitaler i inre skallet och två i s- plus två i p-orbitaler i det yttre. När kolatomer formar bindningar blandar sig orbitalerna, de hybridiseras.



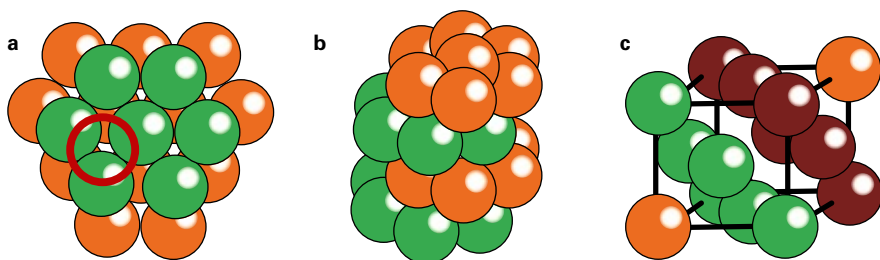
FIGUR 1 Kristallstrukturen hos grafit. Kolatomernas färger är en hjälp att visa skillnaden mellan lagren. Svarta linjer symboliserar kovalenta sp^2 -bindningar, gröna linjer vinkelräta mot lagren visar hur dessa staplas vertikalt (hexagonal stapling, ABAB).

Oftast hybridiseras p-orbitalerna med en s-orbital, sp^2 -hybridisering. Vi får då tre elektronlobber i ett plan, med 120°

inbördes vinkel, och en lob vinkelrät mot planet. I grafitplanet uppstår då hexagonala strukturer om varje atom binds till tre andra atomer i planet. Vertikala orbitaler skapar bindningar mellan planen och den sista s-elektronen kan bli ledningselektron, så att grafit och grafen är elektriska ledare. Hybridisering verkar osannolik eftersom hybridiserade tillstånd har *högre* energi än grundtillstånden, men energin återvinns när bindningsenergin räknas av.

Om en av s-elektronerna lyfts till ett p-tillstånd kan alla fyra orbitalerna hybridiseras till ett sp^3 -tillstånd med fyra elektronlobber, med inbördes vinkel $109,5^\circ$ och tredimensionell struktur där atomer sitter mitt i en tetraeder med en lob riktad mot varje hörn. Denna geometri är grunden till diamantstrukturen. Vi vet att maximalt antal kulor eller atomer rymms i ett givet utrymme om de läggs i parallella rader, med raderna förskjutna en ►

DIAMANTER



FIGUR 2 a) tätpackade kulor (eller atomer). Den röda ringen visar en outnyttjad position. b) Hexagonal tätpackning. c) Kubisk tätpackning, vriden för att visa kubisk symmetri och expanderad för att visa lagerstrukturen. Lagren är vinkelräta mot rymddiagonaler.

► kulradie (figur 2a). I nästa lager placeras de på samma sätt i groparna i första lagret. Tätpackade lager formar två kristallstrukturer, hexagonalt och kubiskt tätpackad, som skiljer sig åt i tredje lagret: om atomerna här ligger rakt ovanför atomerna i första lagret fås *hexagonal* tätpackning (lagerföljd ABAB, figur 2b). Om tredje lagret i stället placeras i de outnyttjade positioner som visas av den röda ringen i figur 2a fås en *kubisk* struktur (figur 2c) med lagerföljd ABCA, kallad kubiskt tätpackad.

För att få diamantstruktur expanderar vi kuben, och för varje ursprunglig atom lägger vi till en ny, förskjutet en fjärdedels kubsida längs vardera x-, y-, och z-axeln. Om vi kallar de ursprungliga atomerna typ A och de nya typ B, så får varje A-atom fyra B-atomer som närmaste grannar och vice versa, och geometrin är perfekt för att bilda kovalenta sp^3 -bindningar mellan A- och B-atomer (figur 3).

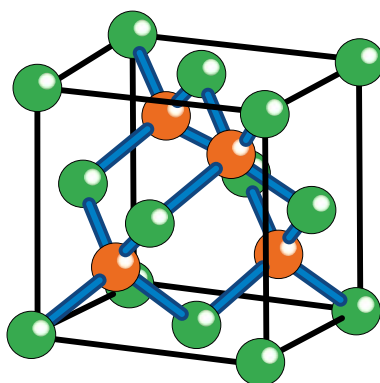
Grafit och diamant har faktiskt likartade strukturer: varje atom ingår i en hexagon, men bindningsvinklarna tvingar diamantens hexagoner att böja sig i "stolsform". Båda består också av atomlager (jämför figurerna 1, 2c och 3) med tre kovalenta bindningar från varje atom till grannar inom lagret; i diamant går dessutom en bindning mellan lagren. Båda materialen kan ganska lätt klyvas mellan lagren och diamanter har också i hundratals år delats med en vass egg och en hammare.

DIAMANT HAR VISSA NACKDELAR. Vid hög temperatur löser sig kol i järn och diamant används därför inte för stålbearbetning, och eftersom kristaller lätt klyvs mellan tätpackade lager kan man också få högt slitage på skärytor. Eftersom

material oftast blir starkare om kornstorleken minskar och antalet kristallfel ökar har man på senare tid försökt tillverka finkornig diamant för att göra verktyg slitstarkare. Om enskilda korn brister kan sprickan då inte sprida sig till nästa korn.

Det går inte sintra ihop små diamanter till ett hållfast material, så i stället försöker man genom val av utgångsmaterial, tryck och temperatur att direkt syntetisera material med sammanvuxna mikro- eller nanometerstora kristaller som i extrema fall kan modifieras genom att dela upp varje korn i "tvillingar" med två eller flera domäner med spegelsymmetri.

SOM PENSIONÄR HAR jag gästforskat vid Jilin University i Changchun, Kina. Två tidigare post-docs, som studerat molekylärt kol (fullerener och kolnanorör) under höga tryck i Umeå, är nu professorer i Changchun och studerar där material under höga tryck. Medan jag besökte dem byggdes en gigantisk hydraulisk press för



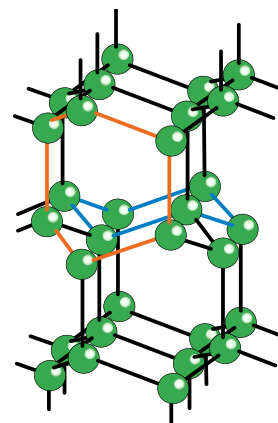
FIGUR 3 Diamantstruktur, med atomer i grupp A (de ursprungliga atomerna i en kubisk struktur, se text) gröna och atomer i grupp B orange. Endast de fyra B-atomer som hamnar inom ursprungskuben har ritats ut!

att skapa mycket höga tryck i enorma volymer (flera $mm^3!$), och vi diskuterade hur denna kunde användas för forskning på kol. När den var färdig att testas kom covid-pandemin och mina KinareSOR upphörde, men samarbetet fortsatte på distans.

Ett av de första projekten där pressen användes gällde högttrycksstudier av "fotbollsmolekylen" C_{60} . I Umeå visade vi hur C_{60} bildar dimerer och polymerer med en-, två-, och tredimensionell struktur under tryck. Andra har visat att molekylerna kollapsar till extremt hårda material under höga tryck, men materialen har inte kunnat identifieras eftersom bara mikroskopiska mängder producerats.

I den nya pressen kan mycket större prover (mm^3) skapas och mätningar upp till över 30 GPa (300 000 atmosfärer) visar att C_{60} -molekylerna verkligen krossas. Resterna omvandlas till diamant vid de högsta trycken och temperaturerna, till grafitliknande kol vid lägre tryck, och till diamant-grafit-kompositer däremellan.

Mer oväntat var att det bildas helt sp^3 -hybridiserad *amorf diamant* ("diamantglas") nära 27 GPa, tillräckligt högt för att stabilisera sp^3 -hybridisering, och temperatur nära 1200 K, för lågt för kristallisation av diamant. I både amorf och kristallin diamant binds varje enskild atom till fyra närmaste grannar med sp^3 -bindningar, men där nästa granne har en exakt definierad plats i en kristall saknas ordning helt i glas – slumpen styr. Diamantglas är lika hårt som



FIGUR 4 Hexagonal diamantstruktur. I jämförelse med figur 3 har lagren vridits så att de är horisontella. Hexagoner inom varje plan är "stolsformade" (blå linjer) medan hexagoner mellan planen är "båtformade" (orange linjer).

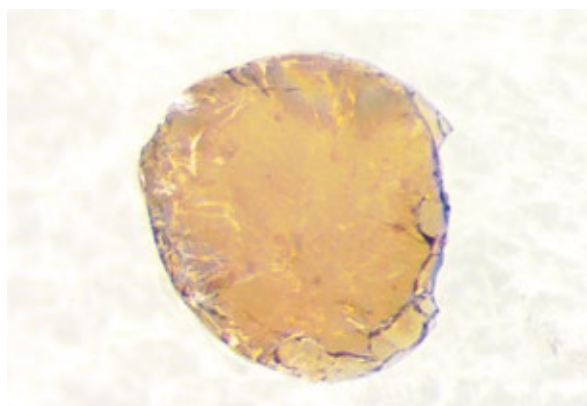


FOTO: MINGGUANG YAO/JILIN UNIVERSITY

FIGUR 5 a) Flisa av naturlig kristallin rådiamant. **b)** Amorf diamant tillverkad av C_{70} vid 30 GPa och 1 100 K (med tillstånd av prof. Mingguang Yao, Jilin University, Changchun, Kina).

diamantkristall men mindre skört eftersom det saknar lagerstruktur. Förutom denna skillnad är glaset mycket likt ”vanlig” diamant förutom att det leder värme mycket sämre, eftersom det är ordnat och saknar vanliga fononer.

Vi publicerade resultaten i *Nature* och i samma nummer visade en annan grupp att syntes vid högre tryck och högre temperatur i stället gav *parakristallin diamant*. Liksom amorf diamant har parakristallin diamant perfekt ordning mellan närmaste atomgrannar men ingen långdistansordning. I parakristaller finns dock en tendens till ordning för andra och tredje närmaste atomgrannar.

Amorf och parakristallin diamant kan ses som sista steget mot bättre mekaniska egenskaper genom uppdelning av strukturen – man kan inte få mindre kristalliter än de fyra atomerna i en tetragon. De extrema tryck som behövs hindrar än så länge kommersiell användning, men det har redan visats att parakristallina material kan skapas vid mycket lägre tryck.

SLUTLIGEN FINNS OCKSÅ EN annan typ av diamantkristall. I Barringerkratern i Arizona upptäcktes på 1960-talet ett okänt mineral som identifierades som *hexagonal diamant* med lagerstruktur ABAB i stället för ABC (figur 4). Det bildas naturligt vid meteornedslag men ofta också i små mängder vid diamantsyntes under höga tryck, men eftersom ren hexagonal diamant aldrig hittats tvivlade många på dess existens och ansåg att den bara var kristallfel i kubisk diamant.

När jag skrev en översikt om kol under

tryck såg jag att hexagonal diamant tycktes bildas lättare med ökande tryck. Mina kolleger utsatte senare grafit för tryck upp till 50 GPa, värmdes försiktigt, och fann att grafit kunde omvandlas till ren hexagonal diamant. Senare kunde prover med 2 mm diameter också konverteras till hexagonal diamant nära 30 GPa.

Beräkningar visade att hexagonal diamant borde vara 60 % hårdare än vanlig diamant och ha ett mindre bandgap, och detta överensstämmer med våra resultat. Hexagonal diamant borde också gå att dopa till både n- och p-halvledare för mikroelektronik.

Att hexagonal diamant bildas lättare vid högre tryck verkar i efterhand nästan självklart. Under tryck har kubisk diamant lägst energi, följt av hexagonal diamant och grafit, och man borde alltid få kubisk diamant när man trycker på grafit. Det finns dock höga energiträsklar för omvandling mellan olika strukturer (annars skulle inte diamant vara stabilt vid atmosfärstryck).

Beräkningar visar att hexagonal grafit lättast borde omvandlas till hexagonal diamant, och att kubisk diamant lättast bildas ur en ovanlig romboedrisk typ av grafit med lagerföljd ABC i stället för ABAB. Att kubisk diamant kan bildas ur vanlig grafit beror på de svaga bindningarna mellan grafitlagren: när temperaturen stiger börjar lagren vibrera och förskjutas longitudinellt (i sidled), och om det lokalt bildas ABC-stapling kan kubisk diamant bildas med låg energiträskel. Går man först till mycket högt tryck vid låg temperatur blir bindningarna mellan lagren starkare när de närmar sig varandra. Grafiten be-

håller då ABAB-strukturen vid värmning och övergår lättare till hexagonal än kubisk diamant.

TIDIGARE FANNS ALLTSÅ KUBISK och, kanske, hexagonal diamant, medan vi idag kan framställa både kubisk, hexagonal, parakristallin och amorf diamant i tillräcklig mängd för att undersöka deras egenskaper och till och med använda dem i liten skala. Vi kan till exempel tänka oss att tillverka spetsar av hexagonal diamant, hårda nog att ritsa i ”vanlig” diamant.

Man kan undra om man kan se skillnad mellan dessa former? Figur 5 visar amorf diamant och en naturlig rådiamant. Eftersom bandgapen är stora kan alla diamanter, ”syntetiska” som naturliga, vara vattenklara, rosa, blå eller gula (men oftast gulbrungrönaktiga) beroende på föroreningar. Man kan sällan skilja dem åt med blotta ögat utan man behöver en spektrometer eller röntgendiffraktometer för att skilja på olika typer. Inte ens det brukar kunna skilja på ”syntetiska” och naturliga diamanter – en diamant är en diamant är en diamant!

BERTIL SUNDQVIST

Institutionen för fysik, Umeå universitet

Läs mer

H. Liander och E. Lundblad, *Arkiv för Kemi* vol. 16, s. 139–49 (1960).

Y. Shang m.fl., *Nature* vol. 599, s. 599–604 (2021).

H. Tang m.fl., *Nature* vol. 599, s. 605–610 (2021).

B. Sundqvist, *Physics Reports* vol. 909, s. 1–73 (2021).

D. Chen m.fl., *Nature Materials* vol. 24, s. 513–518 (2025).



FOTO: HENRIK SANDS, JOCHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Konferensen lockade många.

NORNDiP 2025

Samlade för mångfald

I november 2025 samlades forskare, studenter och allmänhet i Göteborg för den sjunde konferensen inom **Nordic Network for Diversity in Physics** (NORNDiP).

Konferensen arrangerades vid Chalmers tekniska högskola i samarbete med evenemanget *Physics that Shines: Stories of Discovery and Change* och blev en mötesplats för både vetenskapliga upptäckter och viktiga samtal om inkludering inom fysiken.

Bland huvudtalarna fanns två mycket inspirerande forskare: Jocelyn Bell Burnell, som berättade om sin banbrytande upptäckt av pulsarer och om de hinder hon mötte på vägen i en mansdominerad akademisk värld, och Jess Wade, som delade med sig av sitt engagemang för att synliggöra kvinnliga forskare genom att skriva om dem på Wikipedia. Tillsammans visade de hur vetenskapliga genombrott och samhällsengagemang kan gå hand i hand.

Konferensen lyfte också fram aktuella frågor om framtiden inom akademien. En studie från Stockholms universitet visade att många unga forskare lockas till akademien av nyfikenhet och forskningsintresse, men att allt fler senare väljer andra karriärvägar. För män handlar det ofta om



FOTO: H. SANDS, JOCHTH

Jocelyn Bell Burnell var en av huvudtalarna.

otrygga anställningar, medan kvinnor i högre grad tvivlar på sin egen kompetens – ett mönster som väcker viktiga frågor om hur akademien kan bli mer hållbar och inkluderande.

ETT AV KONFERENSENS mest tankeväckande inslag var ett föredrag av Mairi Sakellariadou, ordförande för European Physical Society. Hon betonade vikten av internationellt samarbete i en tid av ökande politisk osäkerhet och påminde om att vetenskapen har sin största styrka när den överskrider nationella och politiska gränser.

Deltagarna beskrev konferensen som en energikick – fylld av inspiration, nya perspektiv och framtidstro. Evenemanget genomfördes med stöd från Chalmers och GENIE, Chalmers initiativ för jämställdhet.

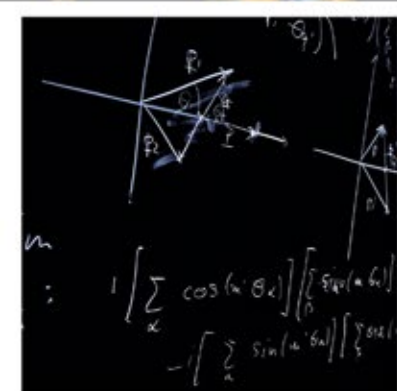
BAKOM KONFERENSEN STÅR NORNDiP, ett nordiskt nätverk som bildades 2017 för att öka mångfalden inom fysiken. Trots att Norden ofta ses som ett föredöme i jämställdhetsfrågor är kvinnor fortfarande kraftigt underrepresenterade inom fysik och andra STEM-ämnen. Genom årliga konferenser i olika nordiska länder vill NORNDiP synliggöra både utmaningar och lösningar – och visa att mångfald stärker vetenskapen. Nästa konferens hålls i Finland.

BARBRO ÅSMAN
Professor emerita, Fysikum,
Stockholms universitet

Läs mer
www.norndip.net



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

Fysik i ett vattenglas

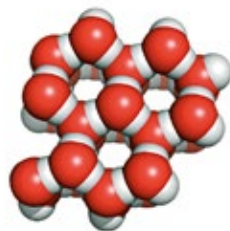
Få saker är så gott som **ett glas kallt vatten** om du är varm och törstig. Ljudet av isbitarna som knäpper i glaset och kondensen på glasets utsida är lockande. Isbitarnas knäppande säger oss något om både isens struktur och värmeutvidgning, medan kondensen på glaset kopplar till luftfuktigheten i omgivningen.

Vattenmolekyler är inte vilka molekyler som helst, deras form, med en syreatom och två väteatomer placerade som Musse Pigg-öron, gör att de har unika egenskaper. Ett glas fyllt med vatten kan verka vardagligt, men det rymmer väldigt mycket fysik, från molekylernas dans och värmeöverföring till tryck, densitet och fasövergångar. I den här artikeln fyller vi glaset och studerar vattnets beteende kopplat till funderingar om varför is flyter, varför det knäpper i en isbit som landar i vatten, och hur vattnets temperatur och salthalt påverkar dess densitet.

Det finns flera enkla experiment som går att göra i köket och som synliggör grundläggande fysikaliska principer i vardagen. Genom vattnets egenskaper kan man till och med undersöka färskheten hos ägg och undvika att det blir pannkaka av matlagningen – eller se till att det blir just det.

DE FLESTA ÄMNER BLIR tätare när de kyls ner och molekylernas rörelse saktar in. Men det finns några undantag. Plutonium har en väldigt intressant densitetsvariation som funktion av temperatur och till skillnad från de flesta andra metaller finns det fasta faser med lägre densitet än flytande plutonium. Men det kan vara lite besvärligt att göra experiment med plutonium i köket. Då är vatten är ett annat, mer tillgängligt, undantag. När flytande vatten kyls ner ökar i och för sig densiteten som förväntat till att börja med, men när det fryser ordnar sig molekylerna i ett kristallmönster. På grund av vattenmolekylens form tar de i detta mönster mer plats än de gjorde i den mer fria flytande formen.

I is sitter varje vattenmolekyl bunden till fyra andra vattenmolekyler i en be-



Den molekylära strukturen för is.

stämd struktur, uppbyggd av vätebindningar mellan väte och syreatomer i molekylerna. I de flesta fasta material sitter atomerna eller molekylerna tätare packade än i sin vätskefas. Men i is skapar vätebindningarna istället ett utrymme mellan varje vattenmolekyl. Resultatet är att is har lägre densitet än vatten och därför flyter.

Utan den här egenskapen hade livet på jorden sett annorlunda ut. Sjöar och floder fryser från ytan och nedåt, vilket gör att fiskar och växter kan överleva under isen.

FÖR TRE ÅR SEDAN skrev vi om hur man blandar en perfekt martini (*Fysikaktuellt* nr 1/2023). Då beskrev vi också hur man kan lära sig av naturen för att frysa in isbitar så att de blir helt klara. Om du lägger en klar och fin isbit i ett glas vatten hör du ofta en liten knäpp. Det beror på att isen värms upp ojämnt: ytan värms först medan insidan fortfarande är kall. Skillnaden i temperatur leder till olika expansion och skapar spänningar i isen vilket leder till sprickor. På motsvarande sätt kan temperaturskillnader och fasförändringar som ger sprickbildningar få en hel sjö att "sjunga" en kall vinternatt.

Två motverkande effekter gör att vattnets densitet är som störst vid ungefär 4°C. Kylning ökar normalt densiteten då molekylerna blir mindre rörliga, men

ILLUSTRATION: ULF ELLERIK

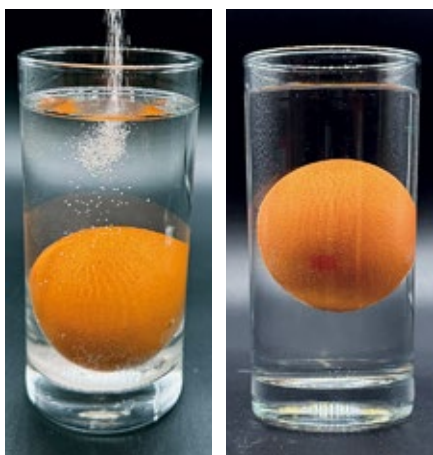
samtidigt börjar vätebindningar ordna molekylerna i den mer öppna och platskrävande kristallstrukturen. Vid 4°C är dessa effekter balanserade, vilket ger maximal densitet.

ISTÄLLET FÖR ATT ÄNDRA temperaturen kan vattnets densitet förändras genom att tillsätta olika mängder salt. De flesta har själva upplevt att man flyter bättre i havet än i en insjö, även om alla inte provat ett dopp i Döda havet. Beroende på föremålets densitet och vattnets salthalt kan man få ett föremål att flyta, sväva, eller sjunka.

Extra intressant blir det med ägg, eftersom de ändrar densitet med ålder, och det kan vara trevligt att undvika att knäcka ett för gammalt ägg då uttrycket "lukta ruttet ägg" kommer av en anledning.

Ett färskt ägg sjunker i ett glas med vatten, medan ett gammalt ägg flyter upp till ytan. Att ett ägg kan användas som densitetsmätare beror på att äggskalet i själva verket är poröst, och med tiden avdunstar vatten från ägget. Det gör att det bildas en luftblåsa innanför skalet som växer och äggets totala densitet minskar. Till slut blir densiteten lägre än det omgivande vattnets och ägget flyter upp till ytan. Det är alltså ett utmärkt sätt att uppskatta äggets ålder.

FÖR ATT UNDERSÖKA densitetsberoende kan vi, istället för att vänta på att äggets densitet ska ändras, ändra vattnets genom att lösa salt i det. När du löser salt i vattnet ökar densiteten. Det gör att föremål som normalt sjunker kan börja flyta och du kan få ett färskt ägg att sväva. Det färska ägget sjunker i ju vanligt vatten, men flyter i en mättad saltlösning. Vid en viss saltmängd går det att få ägget att sväva mitt i glaset.



Genom att lösa rätt mängd salt i vattnet kan man få ägget att sväva.

För att hitta rätt saltmängd för ett svävande ägg kan man göra en densitetsstege:

1. Blanda vatten med olika mängder salt (till exempel 0 %, 5 %, 10 %, 15 %).
 2. Mät densiteten med en hydrometer, eller genom att väga 100 ml av varje lösning.
 3. Testa i vilken lösning ägget svävar.
- Det ger en numerisk densitet för ägget.

Genom att spara ägget och testa samma äggs flytförmåga en gång i veckan kan man notera hur densiteten förändras och få en kalibrerad mätning. Om man förutsätter att alla ägg är lika kan salthalten vid vilken ett ägg flyter göra det möjligt att räkna ut hur gammalt det är.

ETT SNABBARE EXPERIMENT att göra, som visar på ett annat fenomen kopplat till densitet, är att studera om salthalten i vattnet påverkar hur fort isbitar smälter i det. Det låter kanske bakvänt, men en isbit smälter långsammare i saltvatten än i vanligt vatten. Det beror på att saltvatten har högre densitet än sötvatten. När isbiten smälter i sötvatten sjunker det kalla smältvattnet till botten. Men när isbiten smälter i saltvatten lägger sig det kalla sötvattnet som ett lager runt isen, eftersom det har lägre densitet än det omgivande saltvattnet. Det kalla smältvattnet isolerar isbiten, vilket kraftigt saktar ner smältningen.

Gör ett experiment med två glas, ett fyllt med vanligt vatten och ett där du saltar det ordentligt. Om du nu lägger en isbit i varje glas kommer den ena att smälta fortare. Det blir extra tydligt om du färgar isbiten med karamellfärg, eller efter en



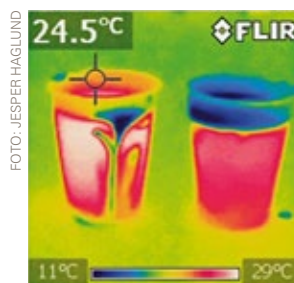
Lite karamellfärg, droppad bredvid isbitarna, avslöjar hur det kalla smältvattnet rinner mot botten i det osaltade vattnet (vänster), men stannar nära isbiten i det saltade (höger).

stund droppar lite färg bredvid isbitarna. Då ser du hur kallt smältvattnet rinner mot botten i det osaltade vattnet, men stannar nära isbiten i det saltade och lägger sig som ett isolerande lager. Om du har tillgång till en IR-kamera kan du istället använda den för att visa hur vatten med olika temperatur fördelar sig i glaset.

DET FINNS FLER SÄTT att experimentera med densitet. En variant kan vara att stapla vätskor med olika densitet. Ofta använder man naturligt olikfärgade vätskor, till exempel vatten och raps- eller olivolja, som gör att gränserna syns tydligt.

En annan slående effekt kan uppnås genom att låta alla vätskor vara helt genomskinliga. I ett spännande experiment med tre klara och genomskinliga vätskor kan en liten pärla avslöja var gränserna går. Vi första anblicken ser vatten, mineralolja och isopropanol likadana ut. Men varje vätska har sin egen densitet, och i ett högt glas lägger de sig som en osynlig trappa, vätskan med högst densitet längst ner mot botten, och vätskan med lägst densitet högst upp. För att avslöja gränserna kan man släppa ner en liten pärla. Den sjunker genom vätskor som har lägre densitet än pärlan och flyter upp i vätskor som har högre densitet än pärlan. Till slut stannar den där dess egen densitet matchar vätskans, svävande i en gränsyta som annars är helt omöjlig att se.

Var försiktig så att vätskelagren inte blandas. Använd gärna pipett och/eller tratt och håll längs kanten på glaset.



En IR-kamera visar hur vatten med olika temperatur och salthalt fördelar sig i glaset.

1. Håll vatten (densitet $\sim 1,0 \text{ g/cm}^3$) i botten av cylindern.
2. Håll försiktigt på mineralolja (densitet $\sim 0,84\text{--}0,88 \text{ g/cm}^3$) ovanpå vattnet. Låt oljan rinna längs insidan av glaset så att lagren inte blandas.
3. Avsluta med att försiktigt hälla på isopropanol (densitet $\sim 0,79 \text{ g/cm}^3$).
4. Släpp försiktigt ner en liten pärla i cylindern och observera var den stannar, prova gärna pärlor med olika densitet, exempelvis av glas, plast, eller metall.

En pärla med hög densitet sjunker genom alla skikt och hamnar på botten, medan en pärla med mellandensitet stannar vid gränsen mellan två vätskor och en mycket lätt pärla flyter på isopropanolen.

DET FINNS MÅNGA FLER experiment relaterade till densitet, fasförändringar och termodynamik, och många fler livsmedel att undersöka. Men vi nöjer oss för den här gången och lutar oss tillbaka med ett glas isvatten och drömmer om salta sommarköpp.

JOHAN MAURITSSON OCH MALIN SJÖÖ
Lunds universitet

Händelserika dagar i Göteborg

Måndag morgon, 24 november 2025, Göteborg. Den västkustska vinternatten lider mot sitt slut, staden vaknar till liv och spårvagnarnas gnissel med den. I Scantiasalen på Chalmers Tekniska Högskola har ett femtiotal **svenska partikelfysiker** samlats för att under två dagar diskutera några av fundamental fysikens nyheter, utmaningar och framtida forskningsinriktningar.

Det efterlängtrade morgonljuset till trots inleddes Partikeldagarna med föredrag om något mörkt och svårstuderat: den mörka materien och dess natur. Baserat på astronomiska studier vet vi sedan länge att mörk materia är en viktig del av universum, motsvarande ungefär en fjärdedel av allt vi känner till. Som partikelfysiker vill vi förstå vad för typ av partiklar denna sorts materia består av, samt hur vi kan skapa och leta efter dem i experiment som LDMX, XENONnT, ALPHA och ESS där Sverige på olika sätt är involverat.

Utforskandet av ny fysik bortom Standardmodellen är ett centralt tema för svenska fysiker, även utöver den mörka materien. Som berättades i *Fysikaktuellt* nummer 3/2025 förstår vi inte varför det finns en stor asymmetri mellan materia och antimateria i universum. För att förklara detta krävs tre ingredienser: (i) processer där baryoner och antibaryoner kan växla karaktär, (ii) laddnings- och paritetsbrott så att materia och antimateria har olika egenskaper, (iii) processer ur termisk jämvikt så att en skapad asymmetri kan bestå. Alla tre studeras och planeras undersökas på olika sätt av svenska teoretiska och experimentella fysiker, dels utomlands på bland annat CERN, dels i Sverige vid ESS. I flertalet föredrag berättades att det finns mycket intresse för att på olika sätt studera fundamental fysik med hjälp av neutroner och neutriner vid just ESS.

Neutrinon är en intressant partikel inom Standardmodellen som är elektriskt neutral och har mycket liten massa.



Under Partikeldagarna diskuterades bland annat framtidens möjliga partikelfysikexperiment.

Genom spridningsexperiment av neutriner mot atomkärnor finns det möjlighet att leta efter nya partiklar, möjligen associerade med en femte naturkraft. Det finns tre olika sorters neutriner och eftersom de inte är masslösa kan de oscillera mellan varandra, vilket i sin tur kan relateras till nya källor av symmetribrott som behövs för att förklara universums materieasymmetri. Jorden bombarderas dessutom konstant av neutriner. Sverige är djupt involverat i IceCube-experimentet på Sydpolen, där man utnyttjar detta för att studera de spår som lämnas när högenergetiska neutriner färdas genom isen och växelverkar med dess beståndsdelar. Detta ger en möjlighet att bättre förstå några av universums mest våldsamma processer.

GIVETVIS PRESENTERADES under mötet också teoretisk och experimentell forskning för experimenten på CERN. Vid ALICE-experimentet kollideras nu syre- och neonjoner, som ett komplement till de proton- och blykollisioner som redan tidigare studerats. Vid ATLAS-experimentet undersöks Higgspartikeln och olika typer av nya partikelfysikmodeller. Svenska fysiker och svensk industri är involverade i diverse uppgraderingar inför framtida mätningar. Händelsegeneratorn Pythias roll som forskningsinfrastruktur för experiment och hur maskininlärning byggs in presenterades också (läs mer om Pythias och dess historia på sidorna 8–10).

Lisbeth Olsson, Vetenskapsrådets huvudsekreterare för forskningens

infrastrukturer, samt Mattias Marklund, före detta huvudsekreterare för natur- och teknikvetenskap, var på plats för att ge insikt och svara på frågor om sitt arbete. Precis som tidigare år bjöds även två externa talare in till Partikeldagarna. Julia Becker Tjus från Ruhr-Universität Bochum pratade om synergier mellan partikel- och astropartikelfysik, och David Marzocca från INFN i Trieste om möjligheterna för precisionstest av Standardmodellen vid en potentiell framtida myonkolliderare.

Just framtidens möjliga partikelfysikexperiment är ett ämne i tiden, eftersom det pågår en strategiuppdatering för Europas partikelfysikprogram där för- och nackdelar med olika typer av experiment vägs mot varandra. Som vi skrev i förra numret av *Fysikaktuellt* måste ett beslut om en ny partikelaccelerator vid CERN tas med mycket eftertanke, eftersom det kommer påverka generationer av partikelfysiker och forskning.

Det svenska samfundet står enat bakom en framtida cirkulär kolliderare (Future Circular Collider, FCC), en samlad ståndpunkt som formats efter flertalet undersökningar, möten och diskussioner, och som har sammanfattats i ett nationellt dokument som underlag för framtida beslut. Svenska fysiker ser också den stora vikten av fortsatt arbete med experiment för utforskandet av neutriner, mörk materia och hadroner som beskrivits ovan.

KONFERENSENS DELTAGARE var av olika akademiska åldrar, allt från masterstudenter till professorer. Under mötet trakterades Sveriges partikelfysiker rikligt, med såväl fikapauser som middag på restaurang längs Avenyn. Utan tvekan är det mycket som händer inom svensk partikelfysik, och vi ser fram emot ett lika trevligt möte i Lund under 2026.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Edinburgh universitet

Länk till samtliga föredrag: indico.chalmers.se/event/300/timetable/#all.detailed

Den amerikanske astronauten Eugene "Gene" Cernan under en rymdpromenad i juni 1966.

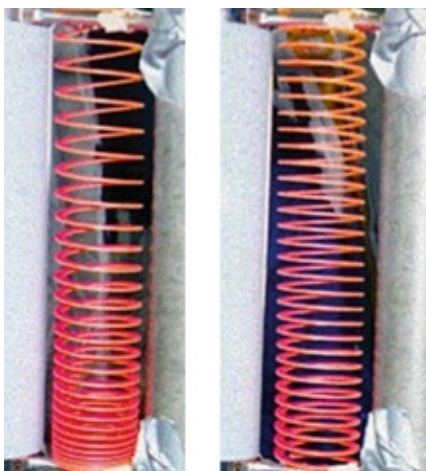
Konsten att andas i rymden

Våra lungor är utvecklade för att fungera vid normal gravitation. Så vad händer med dem i tyngdlöshet? Och vad finns det för andra hot mot **vår andning** när vi lämnar jorden?

Den normala gravitationen på jorden (jordaccelerationen) orsakas av jordens massa. På jordens yta uppgår den till i snitt $9,81 \text{ m/s}^2 = 1 \times g$, den acceleration som en fallande kropp skulle ha utan luftmotstånd. Det går inte att ändra gravitationen i ordets rätta bemärkelse, men med hjälp av acceleration av en kropp uppstår tröghetskrafter som har samma natur som jordaccelerationen och som kan adderas eller subtraheras från jordaccelerationen. Om en acceleration ger en tröghetskraft i motsatt riktning mot jordaccelerationen och är av samma storlek så upplever en kropp tyngdlöshet.

Det är tämligen enkelt att skapa ökad gravitation (hypergravitation) i en centrifug där man kan utsätta människor och material för centripetal acceleration, som ger upphov till en tröghetskraft i motsatt riktning. Gravitationsnivån kan här varieras med radien och/eller rotationshastigheten. Det är betydligt svårare att åstadkomma tyngdlöshet. Mycket korta perioder av tyngdlöshet kan erhållas genom att låta material falla i ett torn med vakuum. Ett flygplan som rör sig i en parabelbana kan ge upptill 25 s av tyngdlöshet.

I motsats till vad många tror verkar gravitation även i rymden. På ungefär 400 km höjd verkar 90% av jordaccelerationen på den Internationella rymdstationen (ISS), men samtidigt rör den sig med



FIGUR 1 En slinkyfjäder monterad i ett flygplan under parabelflygning. Till vänster ser man hur fjädern trycks ihop av sin egen vikt av gravitationen. Till höger samma fjäder under en kort period av tyngdlöshet när planet är på toppen av sin parabelbana. Från Prisk GK. "Microgravity and the respiratory system". *Eur Respir J.* 2014; 43:1459–1471. doi: 10.1183/09031936.00001414.

27 000 km/tim i en cirkulär bana runt jorden, vilket gör att människor ombord upplever tyngdlöshet. Termen mikrogravitation används ofta för att betona att höjjusteringar och rörelser ombord kan ge små avvikelser från tyngdlösheten hos objekt, som är fixerade vid stationens struktur.

Lungans mekaniska egenskaper

Lungorna är på grund av sin uppbyggnad

det organ i kroppen, som mest påverkas av gravitationen. Efter en normal utandning innehåller lungorna tre liter luft. Därutöver innehåller de ungefär en liter blod och vävnad, vilket ger dem en densitet som är 25% av den de flesta andra organ i kroppen har. Luften är fördelad i 300 miljoner tunnväggiga små blåsor, *alveoler*, vars väggar innehåller ett nätverk av blodkapillärer och elastiska trådar. Insidan av varje alveol är klädd med ett tunt vätskeskikt, vars ytspänning också bidrar till lungornas fjäderkraft. Effekten av gravitationen kan liknas vid vad som händer med ett fisknät med elastiska trådar om man hänger upp det i dess övre kant. Hela nätet tyngd kommer att dra ut de översta maskorna i nätet, samtidigt som maskorna längst ner på nätet inte dras ut av någon vikt alls. De översta alveolerna är alltså utdragna och stora och volymen hos alveolerna minskar sedan gradvis neråt. Detta gäller i alla kroppsställningar; till exempel när man ligger på rygg är de främre alveolerna störst och de bakre minst. En så kallad slinky-spiral kan användas för att illustrera hur gravitationen verkar på en fjädrande struktur (figur 1).

Lungventilationen vid normal gravitation

Vid en inandning gör andningsmusklerna mellan revbenen att bröstkorgen lyfts framåt och uppåt, samtidig som ▶

LUNGOR I RYMDEN

► mellangärdets (diaphragmas) kupolformade muskler plattas ut och drar lungans nedre gräns nedåt. Lungans volym ökar så, och luft sugas in. På grund av lungans mekaniska egenskaper så fördelas den inandade luften inte likformigt vid normal gravitation på jorden. De övre alveolerna är redan utspända och kan enbart göra en obetydlig volymökning. De nedre alveolerna, däremot, är små och eftergivliga och kan öka sin volym flerfaldigt. På så sätt kommer ventilationen (luftsomsättningen per tidsenhet) vara obetydlig i de översta delarna av lungorna och störst i de nedersta delarna. Den här påtagliga ojämnheten av ventilationsfördelningen i lungorna vore katastrofal för syretransporten från lungluften till blodet i lungkapillärerna om det inte var så att blodflödet hade en likartad fördelning, vilket beskrivs nedan.

Fördelningen av blodflödet i lungorna vid normal gravitation

Den högra hjärthalvan, som pumpar blod genom lungorna är en lågtryckspump. Hos den vilande människan är topptrycket vid varje pulsslag nätt och jämnt tillräckligt för att *perfusionen* (blodflödet) då skall kunna övervinna uppförsbacken från hjärtats högra utlopp till de överst belägna lungkapillärerna, som därmed endast får en mycket liten del av den totala lungperfusionen. Blodets vikt och nerförsbacken från högerhjärtats utlopp till lungans nedre delar gör att de nedre lungkärlen passivt vidgas. På så sätt får de nedre delarna den största delen av lungperfusionen.

Matchningen mellan ventilationen och perfusionen

Den normala gravitationen orsakar likartade vertikala gradienter för ventilation och perfusion i lungorna och därför fungerar gasutbytet mellan gas i alveolerna och lungkapillärernas blod bra hos människor och alla andra djur med liknande lungstruktur. Blodet som lämnar lungan har nästan helt kommit i jämvikt med den syrehalt som genomsnittligt finns i alveolerna – men inte helt, för det finns en ofullkomlighet i systemet: gradienten för perfusionen är nämligen



FOTO: NASA

FIGUR 2 1972, under Apollo 17, blev Gene Cernan den astronaut som spenderat mest tid ute på månens yta. Här syns han på väg åter till jorden. Hans ansikte och underställ är nedfläckade med måndamm som har förts in i farkosten med rymddräkterna.

något brantare än den för ventilationen. Alltså är kvoten mellan ventilation och perfusion högre i högt belägna alveoler (relativ överventilation) och lägre i lågt belägna alveoler (relativ överperfusion). På grund av att blodet blir fullmättat med syre redan vid normal ventilations/perfusionskvot ”tjänar” man ingen extra syresättning i de överventilerade delarna, men man kan förlora lite i de överperfunderade.

Syrsättningen av blodet vid hypergravitation

Kunskaperna om hur gravitationen påverkar lungornas ventilations- och perfusionsfördelningar har i stor utsträckning erhållits genom att utsätta människor för hypergravitation. Funktioner som regional ventilation eller regional perfusion kan mätas med hjälp av exempelvis radioaktiva gaser. I sådana försök har man visat att den vertikala gradienten för perfusion och blodfyllnad blir mycket brantare under hypergravitation, så att stora delar av den övre lungan blir helt utan perfusion, och de nedre delarna hos en sittande person blir så blodfyllda att alveoler och små luftrör komprimeras och inte får någon ventilation. Normalt gasutbyte förekommer då endast i en sektor i lungans mitt, och den sektorn blir smalare ju högre gravitationen är.

Lungan fungerar alltså dåligt vid höga g-tal vilket naturligtvis inte är förvånande eftersom lungans evolution under flera hundra miljoner år skett vid normal gravitation. Om man utgår från att lungorna är optimerade för funktion i normal gravitationsmiljö så kan man kanske inte heller räkna med att de skulle fungera lika bra i tyngdlöshet.

Lungornas funktion i tyngdlöshet

Under de tidiga åren av rymdfartens historia, innan djur och människor hade vistats i rymden, fanns farhågor om att lungorna skulle svikta i tyngdlöshet. Enligt en teori skulle lungorna fyllas med alltför mycket blod, så att vätska skulle tränga ut från lungkapillärerna in i alveolerna. Enligt en annan teori skulle inte ventilationen och perfusionen nödvändigtvis styras till samma del av lungorna när gravitationen inte längre som normalt verkade som en samordnande kraft. I ett tänkt extremfall skulle all ventilation kunna gå till ena lungan och all perfusion till den andra. Det visade sig emellertid att dessa farhågor hade varit överdrivna när både ett antal djur och så småningom också den första människan (Jurij Gagarin, 1961) välbehållna hade genomfört rymdfärder. Fortsatt forskning har sedan bekräftat att lungan är ett av de minst problematiska organen

i människokroppen, även under årslånga vistelser på ISS.

Det som händer i tyngdlöshet är i stället att både ventilationen och perfusionen blir likformigt fördelade i lungorna, så att den tillgängliga sammanlagda arean av alveolväggar utnyttjas bättre för syresättning av blodet än vid normal gravitation. Det beror på att luftrörens förgreningsmönster är nästan helt kongruent med blodkärlens. Samtidig visade mer avancerade mätningar av gastransporten i lungan att det ändå finns ett litet korn av sanning i den gamla teorin om ökad vätskemängd i lungvävnaden: Väggarna hos de allra minsta luftrören blir aningen svullna vilket hindrar gastransporten något. Resultatet blir därför att lungan fungerar annorlunda i tyngdlöshet – men i slutändan varken bättre eller sämre än på jorden.

Hotet från dammet

Det stora potentiella hotet mot lungornas hälsa vid framtida rymdfärder är istället inandad giftigt damm. Månens yta är täckt av ett lager av damm som generas genom att den bombarderas av mikrometeoriter. Det finns ingen atmosfär som dämpar mikrometeoriternas hastighet och det finns heller inget magnetfält som skyddar mot strålningen från solen eller den galaktiska kosmiska strålningen. Dammpartiklarna är vassa, för det finns varken vind eller vatten som skulle kunna slipa ner partiklarna, och deras ytor är kemiskt reaktiva på samma sätt som

nyligen krossat stendamm på jorden. Strålningen, huvudsakligen protoner från solen, gör partiklarna elektriskt laddade så att en del av dammet svävar ovanför månytan.

Astronauterna som besökte månen under Apolloprogrammet noterade att mycket damm fastnade på utsidan av rymddräkterna och att det sedan följde med in i retur farkosten (figur 2). De noterade irritation i ögon, luftvägar och hud. Då varade exponeringen för måndamm bara något dygn och inga bestående skador registrerades. Det betyder dock inte att mer långvariga exponeringar kan accepteras utan hälsorisker.

Även på Mars finns damm, men det har en annan karaktär än dammet på månen. Mars har en tunn atmosfär, huvudsakligen bestående av koldioxid och med ett tryck som är 1 % av det på jordens havsytta. Stormar driver dammoln runt planeten och dammpartiklarna blir då avslipade och mindre vassa än de på månen (figur 3). Marsdammet är inte kemiskt aggressivt på samma sätt som måndammet men de innehåller perklorat, som är giftigt för sköldkörteln.

Partiklar som är mindre än 20 μm i diameter följer med andningsluften in i luftrören. Många fastnar i de större luftrören och kan sedan transporteras ut med cilier på luftrörens yta. Partiklar av mindre storlek kan följa med den inandade luften djupare ner i luftvägsträdet. Vid tyngdlöshet och vid den låga gravitation som finns på månen kan små partiklar lättare nå till

alveolerna. Partiklar som fastnar där slukas av makrofager, ett slags vita blodkroppar. Nanopartiklar (mindre än 0,1 μm) kan i värsta fall tränga in i blodet och deponeras någonstans i övriga kroppen.

För framtida vistelser på månen planeras därför ett antal åtgärder för att undvika dammexposition. Rymddräkter ska ha ett glatt yttskikt där damm inte fastnar lika lätt och de får inte tas in i bebodda utrymmen. Slussning ut och in i samband med utflykter på månytan måste utformas så att damm inte kan tränga in.

Ett viktigt och aktuellt forskningsområde är studier av hur länge måndamm behåller sin giftighet i närvaro av den fukt och syrgas som måste finnas i ett bebott utrymme. Mätningar på material som hämtades från månen för flera decennier sedan visar att det med tiden har förlorat den kemiska reaktiviteten. I nya studier planerar man att mala månmaterial så att det får färsk frakturtytor, som sedan exponeras för protonstrålning i vakuum. På så vis får man partiklar av måndamm, vars giftighet kan mätas med kemiska och biologiska metoder.

I andra planerade forskningsprojekt planeras analys av damm på månen och Mars med obemannade farkoster. Resultaten av dessa experiment kommer att vara avgörande för hur man skall hantera planetariskt damm vid framtida bemannade rymdfärder.

DAG LINNARSSON

Professor Emeritus, Karolinska institutet

FIGUR 3 Virvelvindar med damm nära kanten av Jezerokratern på Mars. Stillbild från film tagen av rovern Perseverance i september 2025. Hela filmen kan ses på www.jpl.nasa.gov/news/nasa-rover-detects-electric-sparks-in-mars-dust-devils-storms.



Skyll inte på administratörerna

För närvarande använder vi 8% av BNP till utbildning i Sverige [1]. Att resurserna används på ett ändamålsenligt och effektivt sätt är därför av stor betydelse. Här diskuteras **resurshanteringen** inom universitet och högskolor*.

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

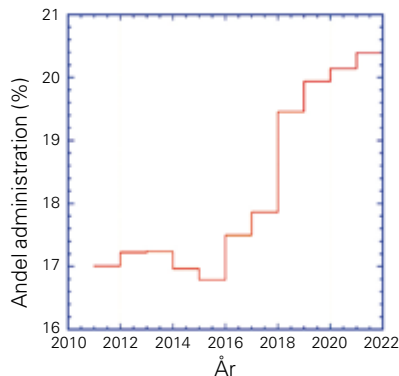
Mellan 2001 och 2018 ökade enligt SCB [2] lärarkåren inom högre utbildning med 39%. Under samma period ökade administrativ personal med ungefär 10% mer, nämligen 43%. Samtidigt minskade teknisk personal med 13%. Den relativa andelen av personer sysselsatta med huvudsakligen administrativa sysslor har därför ändrats mer än direkt jämförelse mellan undervisande/forskande och administrativ personal indikerar.

I samma SCB-dokument [2] rapporterades 911 tjänstetitlar som användes för 15 577 administratörer år 2018 (ungefär dubbelt så många som 2001). Antalet tjänstetitlar för kärnverksamheten är ungefär två storleksordningar mindre. Denna asymmetri kan antas återspegla förändringar av prioriteringar inom verksamheten, förändringar som inte nödvändigtvis gagnar högre utbildning och forskning [3]. Därför kan det finnas anledning att reflektera över hur resurserna används inom högre utbildning.

Exempel

Uppsala Universitet (UU) används här för att konkretisera verkligheten bakom siffrorna. UU omsatte nära nio miljarder kronor 2024 och antalet anställda var närmare åtta tusen personer [4]. År 2011 var ungefär 17% universitetets personal anställda för att utföra administrativa sysslor. Under perioden 2011 till 2021 ökade andelen med 18%, se figur 1. Administration är därför en väsentlig och ökande del av universitetets verksamhet.

* Artikeln har ursprung i ett föredrag som jag gav vid Kungliga Vetenskapsakademien. Jag vill passa på att tacka kollegor och vänner som har hjälpt till med att ta fram underlag för föredraget och givit synpunkter på texten. Ingen nämnd, ingen glömd!



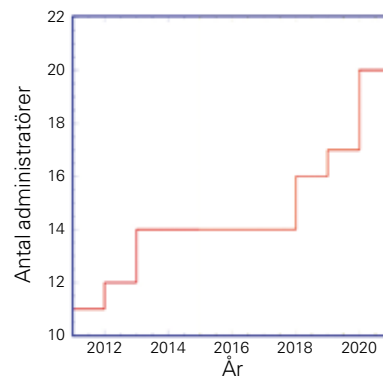
FIGUR 1 Andelen administrativ personal vid Uppsala Universitet, 2011–2022. Data inhämtades från UU årsrapporter.

Ett annat mått på förändrad prioritering är kostnaden för olika personalgrupper. Exempelvis ökade lönekostnaderna för centrala administrationen vid UU från ungefär 300 till nästan 500 miljoner kronor under åren 2012–2020. Antalet anställda vid enheten ändrades inte nämnvärt under tiden.

Sådana förändringar är inte begränsade till den centrala delen av lärosätenas verksamhet. Vi tar institutionen för fysik och astronomi vid UU som representativt exempel. Institutionen bildades 2009 genom sammanslagning av flera institutioner. Målsättningen var att öka effektiviteten inom administration, undervisning, och forskning. Utvecklingen av antalet administratörer vid den nya institutionen de följande åren återges i figur 2.

Institutionens program samlades i några avdelningar där varje avdelning styrs av en avdelningschef. En ny tjänstetitel för en ny kategori av akademiska byråkrater hade därmed uppfunnits inom organisationen! Rollen som avdelningschef innehas i regel av en professor. Avdelningsmöten ordnas regelbundet.

Men, vi lever i föränderliga tider. För



FIGUR 2 Förändringen i antalet administratörer vid institutionen för fysik och astronomi. Data framtagna med hjälp av GLIS.

att framgångsrikt möta nya utmaningar bestämdes det att söka nya vägar för att förbättra organisationen av den nya institutionen. Initiativet fick namnet "Styr & Led". Ett antal personer från olika personalkategorier engagerades under några år i arbetet. Ett stort antal möten med de anställda, enskilt och tillsammans i olika grupper, genomfördes och dokumenterades. Någon redovisning av antalet manår som ägnades åt projektet föreligger inte och slutrapporten (med reservation från två av programprofessorerna) finns för närvarande inte tillgänglig. Ingen av de involverade hade relevant formell utbildning för uppgiften.

"Styr & Led" utmynnade i införandet av en ny personalkategori vid institutionen: enhetschef. Arbetsuppgifterna är administration på högre nivå än en avdelningschef, med rapportering till institutionens prefekt. Rekryteringsbasen för den nya befattningen är professorer och lektorer.

Skyll inte på administratörerna

Lärosätena styrs i stor utsträckning av

akademisk personal. Många gör sitt yttersta för att göra nytta och fyller därför tillgänglig tid med sysslor som de anser vara till gagn för verksamheten. När sysslorna inte hinns med uppstår behov av hjälp, som leder till nyanställningar, precis på det sätt som beskrivs i den klassiska arbetet "Parkinson's Law" [5] och här ovan. Det finns således argument för att se ökad byråkratisering och administration som självförvårdad av akademisk personal vid landets universitet och högskolor.

Att undervisande och forskande personal nyttjas som glorifierade byråkrater är inte optimalt. För att använda resurserna på bättre sätt är det nödvändigt att öka fokus på kärnverksamheten och minska onödiga sysslor. I sådant förbättringsarbete är en reflektion över antalet personer anställda för att utföra olika uppgifter en viktig aspekt, samtidigt som relevansen av arbetsuppgifterna beaktas. När landets professorer och lektorer ägnar tid åt administration sker detta ofta på bekostnad av engagemang inom forskning och undervisning, vilka till syvende och sist är universitetens samhälleliga uppdrag.

BJÖRGVIN HJÖRVARSSON

professor i fysik vid institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet

Referenser

- [1] www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/utbildning-samt-forskning-inom-hogskolan/befolkningens-utbildning-och-studiedeltagande/kostnader-for-utbildningsvasendet/pong/statistiknyhet/kostnader-for-utbildningsvasendet-2024/
- [2] "Administratörerna. Administration, kontroll, och styrning vid svenska universitet och högskolor" *Arkiv: Tidskrift för samhällsanalys*, nr 12 (2020), doi: <https://doi.org/10.13068/2000-6217>
- [3] Två OECD länder använder större andel av BNP för forskning och utveckling än Sverige men enligt *Forskningsbarometern 2025*, ISBN 978-91-89845-39-8 är genomsnittet av forskningen bara strax över genomsnittet.
- [4] Omsättning (intäkter): 8 871 mnrk, www.uu.se/om-uu/korta-fakta
- [5] "Parkinson's Law". <https://web.archive.org/web/20180705215319/https://www.economist.com/news/1955/11/19/parkinsons-law> Finns även som bok, Parkinson, C. Northcote (1958). *Parkinson's Law: The Pursuit of Progress*. London: John Murray General Publishing Division. ISBN 978-0719510496.

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

Ett mirakulöst möte

Människan är ett mirakel

Ulf Danielsson
& Björn Ranelid
Förlag: Fri Tanke, 2025
ISBN: 978-91-89-96055-8



Två människor möts vid en brunn på torget. Vid en första anblick är de väldigt olika och har fundamentalt skilda syner på universum. Kanske har de något gemensamt, men var går gränserna? I den osannolika boken *Människan är ett mirakel* får vi observera mötet mellan två av Sveriges mest kända profiler: Björn Ranelid och Ulf Danielsson.

Danielsson är uppsaliensisk professor i teoretisk fysik och medlem i Kungliga Vetenskapsakademien. Han har ett stort intresse för folkbildning som mynnat ut i ett antal populärvetenskapliga böcker samt återkommande medverkan i radio och TV. Ranelid är en älskad författare och uppskattad talare, hemmahörande på bland annat Österlen. Han väger sina ord väl och när han skriver bär alla bokstäver högtidsdräkt – detta kännetecknar "ranelidskan" som hans breda läsarskara är välbekant med.

Fröet till boken såddes i Sveriges Television, i programmet *30 minuter* där Ranelid i september 2024 blev intervjuad om en då nyutkommen bok. Inför programmet hade Danielsson blivit ombedd att kommentera ett antal av Ranelids ovetenskapliga påståenden rörande evolutionsläran och universums uppkomst genom Big Bang. Meningsskiljaktigheten var ett faktum, men istället för dagens kanske annars så vanliga mediala smutskastning och allmänt polariserade klimat valde de båda författarna tillsammans den osannolika vägen – att skriva en gemensam bok där båda får ta plats. Trettio minuter blev fyrahundra sidor.

I boken får vi följa författarna i deras liv från barnsben till idag. Vi kastas från Sallerupsvägen i Malmö till landsbygden i Dalarna, från Ångströmlaboratoriet i Uppsala till äppellunden på Österlen. Längs vägen stiftar vi bekantskap med en uppsjö människor, både i glädje och i sorg. Bokens betraktelser lägger ofta grunden

för diskussioner författarna emellan, men ibland lämnas läsaren att reflektera vidare på egen hand eller kanske med någon människa i sin närhet.

Ett återkommande tema är människans roll i naturen. Vi är medvetna varelser som kan placera oss själva på planeten jorden och i universum. Känner läsaren sig osäker på det senare ges han eller hon ett intressant tips på hur Haydns skapelseorium en stjärnklar natt kan hjälpa. I den artificiella intelligensens tidsålder bör vi även fråga oss själva hur vår plats relaterar till ett eventuellt maskinellt medvetande och tillhörande etiska dilemman. Vår existens och livet i sin helhet kan enligt bokens titel ses som ett mirakel, ett laddat ord som direkt för tanken till det övernaturliga och religiösa. Hur kan det då komma sig att två författare, den ene religiös och den andre teoretisk fysiker, med så olika bild av naturen enas om en sådan titel? Enligt Svenska Akademien är *mirakel* något som i hög grad väcker beundran, och lutar vi oss vidare mot Augustinus av Hippo är mirakel inte emot naturen utan emot vad vi vet om den. Från det vetenskapliga perspektivet och nyfikenheten kan därför även en forskare använda ordet mirakel. Gränsen går alltså vid valet mellan gåtan och guden.

I boken möter vi två författare vars världslinjer i rumtiden korsats på osannolikt sätt. De är ivriga att dela med sig av sina respektive erfarenheter och världsbilder, särskilt om en gemensam kärlek till naturen som yttrar sig på olika sätt. Den ömsesidiga respekten är både viktig och beundransvärd, likaså de öppna diskussionerna om vad som är vetenskapliga fakta eller inte. Forskning låter oss bättre förstå universum, från mikrokosmos till gränsen av det observerbara. Som författarna nämner står vi likt barnen i Harry Martinsons dikt "Småskolans utflykt" på toppen av ett berg med det okända i naturen framför oss. Människans nyfikenhet genererar en aldrig sinande ström frågor, som outtröttligt kommer driva vår gemensamma kunskap framåt.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Edinburgh universitet

Tips till stekare



FOTO: PIXABAY

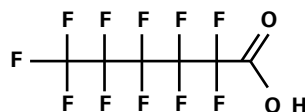
Ägg, kyckling och mager fisk fastnar lätt i stekpannan. De har låg fetthalt, hög proteinhalt eller hög sockerhalt. Pannan måste därför vara ordentligt varm och ha getts tillräckligt med fett. Om inte, måste pannans molekyler, vänligt men bestämt, avvisa närmandet från matens. Detta erbjuder pannor vars stekyta är belagda med **teflon**.

Handelsnamnet ”Teflon”, PTFE (polytetrafluoreten), (figur 1), ingår i gruppen PFAS (per- och polyfluorerade alkylsubstanser). De är syntetiskt framställda och mycket svåra att bryta ner. I dag finns det mer än 10 000 olika PFAS-ämnen, där vissa kan ha skadliga effekter, både för människa och miljö. PTFE används bland annat till impregnering av ytterplagg, tält, paraplyer, väskor, samt till smörjmedel och skidvalla. EU-förbud mot vissa PFAS-ämnen är på gång, dock inte mot PTFE i stekpannor.

Historia

PTFE upptäcktes av Roy Plunkett (1910–94) redan 1938. Han lär ha experimenterat med att använda tetrafluoreten (TFE) som kylmedel i kylskåp. En kväll glömde han en flaska TFE-gas, och när han dagen efter kom för att fortsätta sitt experiment hade gasen omvandlats till ett vitt pulver, det vi idag känner som PTFE.

Plunkett fann att ämnet hade liten friktion, hög ytspänning, tålde värme och var kemikalieresistent. Militären använde det senare till de rör som fraktade högreaktiv uranhexafluorid till anrikningen vid Manhattanprojektet. Efter krigsslutet upphörde hemligstämpeln och företaget DuPont döpte ämnet till det folkligare ”Teflon”. Fransmannen Marc Gregoire försåg 1954 stekpannor med teflon. Därmed behövdes inget extra fett i matlagningen. Jämfört med dåtidens gjutjärnspannor, var detta en revolution. Företaget ”Tefal” lanserade 1956 en aluminiumpanna med teflon. Samtidigt dök benämningen ”non-stick” upp i reklamen.



FIGUR 1 PTFE är en polymer, vars molekyler består av en lång kedja kol- och fluoratomer. Kolatomerna utgör ryggraden med fluoratomerna på ömse sidor.

Egenskaper

PTFE har extremt låg friktionskoefficient, 0,04–0,08, mot de flesta ämnen, nästan lika låg statiskt som dynamiskt. Kohesionskrafterna är mycket starka, men de adhesiva (van der Waals) krafterna är svaga mellan PTFE-molekylerna och allt som kommer i kontakt med dem. Materialet är elektriskt isolerande, åldersbeständigt, tål temperaturer från -200°C till $+260^{\circ}\text{C}$, samt klarar långvarigt bruk även utomhus.

Hur får man teflonet att fastna?

Teflonet ska ge en slät stekyta, men för att det ska fastna görs pannans yta skrovlig med blästring. Därmed ökas ytans area och PTFE-molekylerna fäster då bättre. Teflonet kan appliceras genom sprutning eller genom att låta det rinna över ytan för att få ett jämnt skikt. Teflonet måste flyta ut och fylla groparna för att undvika fickor av instängd luft. Teflonet läggs på i upp till fem skikt (totalt 60–80 μm). Därefter ”gräddas” pannan i en ugn i $370\text{--}385^{\circ}\text{C}$ under ungefär fem minuter.

Hydrofobi

En vätskas tendens att fästa på en fast yta definieras som vinkeln, mätt genom vätskan, vid trefspunkten, det vill säga den

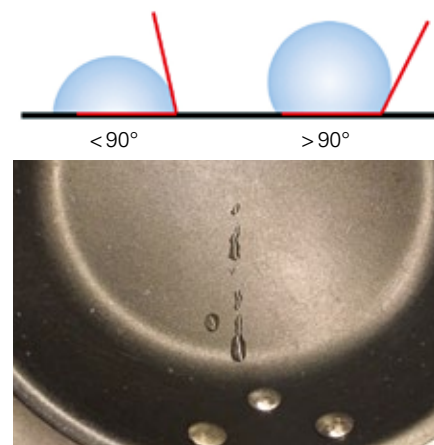
punkt där gränsen mellan vätska och luft möter den fasta ytan (figur 2). Teflon är hydrofobt; varken vatten eller vatteninnehållande ämnen väter teflon. Kontaktvinkeln för teflon-vatten är 108° (hydrofob), medan teflon-matoljas kontaktvinkel är klart mindre än 90° (oleofil), varför oljan flyter ut.

Ytjämnhet

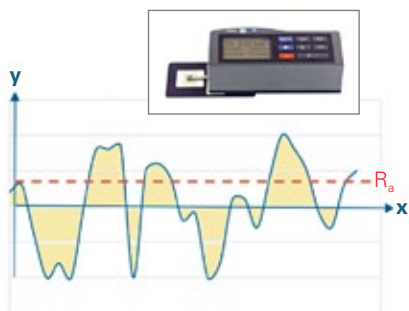
Trots den ringa friktionen är teflonytan inte helt slät. Reflexen från en laserpekare blir till skillnad mot den från en blank yta oskarp. R_a -värdet kvantifierar ytjämnheten som det aritmetiska medelvärdet av mätta avvikelser (y_k):

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k|$$

längs en sträcka (figur 3). Teflon har R_a -värden mellan 0,1–0,4 μm beroende på



FIGUR 2 Överst kontaktvinkel för ett hydrofil ($<90^{\circ}$) ämne respektive ett hydrofobt ($>90^{\circ}$). Nederst en vatten- respektive oljedroppe, som båda startat från pannans centrum. Då den lutats har de runnit ner mot handtaget. Vattendroppen håller ihop, medan oljedroppen lämnar spår.



FIGUR 3 Infällt ett släpnålsinstrument. Det fungerar som en äldre skivspelare, där nålen släpas över ytan och registrerar ojämnheter vilka visas i diagrammet. R_a står för "roughness average".

tillverkningen. $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ upplevs speglalande och $R_a < 0,02 \mu\text{m}$ som spegelblankt.

Varför fastnar (inte) maten?

Mat (fett, protein, vatten) bildar inte tillräckligt starka bindningar med teflon. Droppar och mat glider därför lätt av. Äggvita består mest av vatten och proteiner. När ägget värms denaturerar proteinerna (vecklas ut) och kan då lättare fästa vid ytor. I en panna av stål eller gjutjärn är ytan inte helt slät på mikronivå. Proteinerna kan "haka fast" i små ojämnheter och bilda kemiska bindningar med metallen, varpå äggvitan fastnar. Med smör eller olja i pannan bildas ett skyddande lager mellan ägg och panna. Fettet fyller porerna och ger viss non-stick-känsla, medan teflon är kemiskt non-stick från början.

Stekytans temperatur

Man behöver inte vara Michelin-afficionado för att uppskatta en jämnvarm stekyta. Teflonpannorna i figur 4 uppvisar en tydlig temperaturgradient, osynlig för blotta ögat. Vitan i mina stekta ägg stelnar snabbare i mitten och lossnar också lättare där.

Undvik (galen)pannor

En stekpanna för induktionshäll måste vara tillräckligt robust för att bibehålla en plan botten vid normala stektemperaturer. Botten görs av (ferritiskt) rostfritt stål, dels för att det är reptåligt, dels för att det är magnetiskt. Skiktet är vanligtvis 0,5–2,5 mm tjockt, eftersom större tjocklek inte lönar sig, då magnetfältets

styrka från hällen avtar som $(1/r)$. För jämn värmefördelning på stekytan integreras ofta en pressad eller kapslad aluminiumkärna på 2–4 mm. Aluminiums värmeledningsförmåga är 238, jämfört med Fe = 82, stål = 45, Ti = 19, keramiska skikt = 2, och teflon = $0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Då teflonskiktet är mycket tunt påverkar dess värmeledningsförmåga inte pannans vardagliga användning. Dessutom bidrar aluminiums låga densitet till att pannan väger mindre.

Faror

Utsläpp från tillverkningen av PTFE kan skada miljön. Om beläggningen repas eller flagnar kan teflon hamna i maten, i avloppet eller bland soporna. Undvik snabba temperaturväxlingar för att inte orsaka sprickor och även höga temperaturer, materialet kan då avge hälsofarliga gaser. Teflonpannor ska sorteras som metall på återvinningscentralen. De återvinns vanligen i ugnar vid höga temperaturer för att förstöra eller sönderdela teflonet.

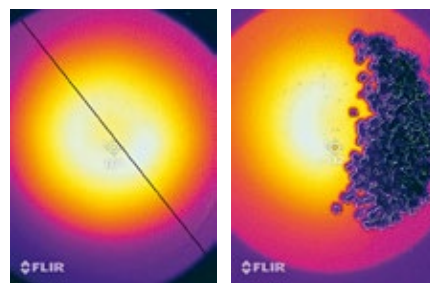
PFAS-fria alternativ

Nya, ofta haussade, uppfinningar kan ha nackdelar, som uppmärksammas först efter lång tid. DDT och asbest är några historiska exempel. Efter att problemen med PFAS uppmärksammats har olika försök gjorts att ta fram stekpannor utan teflon, men med samma non-stickegenskaper.

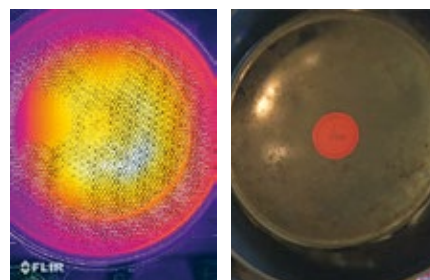
Keramiska skikt består till största delen av kisel, där en gel-liknande lösning appliceras på produkten och torkas i ugn till en hård, glansig yta. De tål hög värme, men är inte så slitstarka och kräver viss varsamhet med metallredskap. Stekning av magert kött kan dock kräva lite fett. Om smårepor uppstår fastnar fett som i gjutjärnspannan. Det kommer då att brännas fast och på sikt försämra non-stick effekten.

En annan variant är vaxkakestruktur (hexmönster) i rostfritt stål (figur 5). Sänkorna har non-stick-beläggning (keramiskt eller PTFE) och åsarna utgörs av stålet. Det skyddar mot metallredskap och minskar därmed risken att beläggningen slits.

Tefal lanserade år 2000 en rund



FIGUR 4 Teflonbelagd stekpanna med plan stekyta och diameter 21 cm på induktionshäll 21 cm. Vita ytans diameter 9,5 cm, gula 13 cm, orangea 19 cm. Till höger samma panna med frusen pytt.



FIGUR 5 Till vänster panna med hexmönster och till höger stekpanna med Thermo Signal.

"Thermo-Signal" i mitten av pannan. Den består av ett termokromatiskt pigment, i en värmestålig lack som beläggning, vilken reagerar på värme. När temperaturen är låg har pigmentet en viss färg. När en stektemperatur på 140°C – 195°C nås, ändrar pigmentet struktur. Det gör att färgen, från det i pannan reflekterade ljuset, ändras. När materialet svalnar återgår färgen till sitt ursprung.

På gång

Utvecklingen är snabb och stekpannor med keramiska beläggningar med små, hårda partiklar av titan eller diamant för bättre reptålighet och ökad hållbarhet finns nu på marknaden. En annan beläggning, PLASLON®, består av ett gradientlager för att ge bästa möjliga vidhäftning till stekytan och non-stick mot maten. En helt beläggningfri stekpanna med NoCo® (no coating), har en titanyta med ett mikromönster, osynligt för ögat, som påstås härma lotusbladet. Den sägs vara reptåligare än rostfritt stål och tåla över 500°C .

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet

AKTUELLT

Steril neutrinomodell utesluten

■ Inom partikelfysikens standardmodell finns det tre sorters neutriner. Kvantmekaniskt kan till exempel en så kallad myonneutrino som färdas en viss sträcka oscillera till en elektronneutrino. Oscillationen har en karakteristisk våglängd som särskilt beror på neutrino-tillståndens masskillnader, men sedan cirka tre decennier finns det experimentella mätningar från bland annat Los Alamos och Fermilab i USA som strider mot vår förståelse från standardmodellen.

En historiskt populär förklaring är att det finns en fjärde, hittills okänd neutrino, som är "steril" i den bemärkelse att den i övrigt inte märkbart växelverkar med våra



FOTO: PEDRIK FLICKER

Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), ligger i Illinois, USA.

kända partiklar. En sådan partikel skulle även kunna vara relevant för kosmologi och universums utveckling.

På Fermilab har MicroBooNE-experimentet nyligen undersökt möjligheten

för en steril neutrino att förklara tidigare oscillationsobservationer. Genom att snillrikt använda två neutrinostrålar kunde forskarna studera oscillationen och dess beroende på masskillnaden till den sterila partikeln, och slutligen utesluta den sterila neutrinomodellen.

Detta innebär att nya teoretiska modeller och experimentella mätningar behövs för att hitta en förklaring.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Edinburgh universitet

Läs mer i *Nature*-artikeln:
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09757-7>

Heureka!

Komplett fysikläromedel för gymnasiet

Nya Heureka! enligt GY25 är utvecklad i samarbete mellan ledande fysiker och erfarna lärare. Läromedlet vilar på väl förankrade ämneskunskaper och beprövade undervisningsmetoder. Ett stort antal arbetsuppgifter med varierande svårighetsgrad ingår och till elevböckerna finns digitala lärarhandledningar.

Elevbok, digital-
bok och lärar-
handledning



Provläs och beställ utvärderingsexemplar på
nok.se/heureka

