

Escape room · CP-brott i baryoner · Pingisfysik

Fysikaktuell

SVENSKA FYSIKER SAMFUNDET

NR 3 • SEPT 2025



Avancerad energiomvandling

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 Mauritsen, 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 4/2025 är 22 oktober 2025.

Medlemskap

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

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



Medlemsförmåner

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

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2025



OMSLAGSBILDEN: I det här numret av *Fysikaktuellt* tittar vi närmare på konståkning, och framförallt på hur omvandlingen från kinetisk energi till höjd och rotation faktiskt sker. På framsidan syns Merle Demuth från Lunds konståkningsklubb, som är en av två åkare som assisterat artikelförfattaren. Läs mer på sidan 6.
Foto: Haiyan Xie

Stödjande medlemmar

- Glerups Utbildning AB
www.glerups.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**
Emely Kjellsson Lindblom
- 4 **AKTUELLT**
- 6 **KONSTÅKNING**
Från kinetisk energi
till höjd och rotation
- 9 **FYSIKDAGARNA I LULEÅ**
- 10 **AVHANDLINGEN**
Fysik i biologins tjänst
- 11 **INTERVJU**
Darko Mitrovic
- 12 **ESCAPE ROOM**
MED FYSIKTEMA
- 14 **MEDALJREKORD PÅ EuPhO**
- 16 **IPhO**
- 18 **GOD FYSIK**
Termodynamiken
bakom frukostägget
- 20 **CP-BROTT I BARYONER**
- 21 **75 ÅR AV JAKT PÅ**
SYMMETRI BROTT
- 22 **BORDTENNISENS FYSIK**
- 25 **RECENSION**
- 26 **MYONENS MAGNETISKA**
MOMENT
- 27 **RECENSION**
- 28 **KVANTMEKANIKEN 100 ÅR**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Klockor i hälsans tjänst



Kan vi använda termodynamik för att optimera vår äggkokning? Läs mer på sidan 18.

En FLASHig behandling

Att man med hjälp av joniserande strålning och fysikaliska metoder kan oskadliggöra livshotande tumörer och bokstavligen rädda liv har aldrig slutat fascinerar mig. När jag för drygt tio år sedan gick en doktorandkurs i Bryssel, presenterade en av deltagarna sitt doktorandprojekt som handlade om strålbehandling med extremt höga så kallade dosrater (från engelskans "rate"). Nästan hela gruppen, inklusive lärarna, fnös mer eller mindre öppet åt idén att man skulle behandla med omkring 50 Gy/s – att jämföra med med 0,5–5 Gy/min i konventionell strålbehandling. Vi var nog många som undrade om den nyblivna doktoranden helt enkelt fattat pinsamt fel – men tji fick vi! I juli i år uppmärksammades nämligen tioårsjubileet av konceptet FLASH, den metod för att leverera strålbehandling ultrasnabbt som bemöttes med så stor skepsis i Bryssel 2015.

Hög dosrat ställer stora krav på precisionen vid behandlingen, vilket kan vara en stor utmaning beroende på var tumören sitter. Dessutom ökar den biologiska effekten av strålningen generellt med ökande dosrat, vilket ofta utgör en utmaning för att minimera biverkningar. Med den enda skillnaden att dosen levereras mycket snabbare med FLASH har intressanta effekter observerats i djurexperiment: man uppnår liknande tumörkontroll men med mindre biverkningar jämfört med konventionell behandling.

Hur kan då denna skyddande effekt förklaras? Merparten av strålningsinducerade DNA-skador – som *de facto* orsakas av fria radikaler som genereras vid strålningens växelverkan i cellerna – fixeras av molekyllärt syre. Den här effekten kallas syreeffekten, och den gör det svårare, om inte omöjligt, för cellen att upptäcka och reparera skadan.

En hypotes som presenterats är att den höga dosraten leder till syrebrist i de normala vävnaderna. Avsaknaden av syre innebär att syreeffekten inte kan ske, vilket ökar sannolikheten för att cellen ska kunna reparera skadan. Senare rön har



dock påvisat att magnituden av denna effekt inte enskilt kan förklara de minskade biverkningarna. Sannolikt handlar det istället om en kombination med andra effekter, som till exempel mindre belastning på immunförsvaret i och med att behandlingen går så snabbt.

Än så länge har kliniska studier på människa genomförts med elektron-FLASH och proton-FLASH. Vad gäller röntgenfotoner, som är den absolut vanligaste stråltypen inom strålbehandling, är det svårare att komma upp i de höga dosrater som krävs i en vanlig linjäraccelerator. Forskargrupper från USA och Kina har utvecklat ett antal lösningar, exempelvis baserat på en supraleddande elektronaccelerator som kunnat åstadkomma dosrater på hisnande 200 Gy/s. FLASH är alltså ännu ett strålande exempel där fysiken, tekniken och biologin utvecklas parallellt för att åstadkomma medicinska landvinningar inom cancerbehandling.

Över hälften av alla i världen som drabbas av cancer får strålbehandling, vilket innebär att mer än var sjätte person har eller kommer att erfara detta personligen. Hur många av dessa behandlingar som blir av det mer FLASHiga slaget återstår att se.

EMELY KJELLSSON LINDBLOM
Universitetslektor i medicinsk strålningsfysik
vid Stockholms Universitet

Dags för årsmöte

■ Fysikersamfundet håller årsmöte den **14 november** 14.00 i sal FB55 på plan 5 i AlbaNovas huvudbyggnad, Roslagstullsbacken 21 i Stockholm.

Uppvaktade politiker – vill ha mer pengar till olympiader

■ "Öka potten till tio miljoner kr per år och ange att den ska prioriteras för deltagande i 'demokratiskt styrda internationella vetenskapsolympiader med begränsat deltagarantal per land!'" Det var huvudbudskapet när representanter för tolv organisationer uppvaktade statssekreterare David Lindberg på Utbildningsdepartementet i juni.

De tolv organisationerna, bland annat Fysikersamfundet, är alla engagerade i att organisera svenskt deltagande i vetenskapsolympiader och andra internationella tävlingar för ungdomar. De har under de tre senaste åren fått en allt mindre del av kostnaderna för tävlingsdeltagandet täckt av statsbidraget, i år inte ens hälften av vad de ansökt om. Statsbidraget har inte höjts och formuleringen om vad som gäller för det har varit fortsatt luddig, trots åtskilliga skrivelser om den prekära situationen från de berörda organisationerna.

Jonas Forshamn, gymnasielärare i fysik och svensk landskoordinator för EOES (European Olympiad of Experimental Sciences) var med som representant under uppvaktningen. Han är försiktigt optimistisk:

–Det märktes att statssekreteraren och handläggarna kände stor sympati för vår situation och de visade också en tydlig vilja att vara behjälpliga till att finna en bra lösning. Men om det resulterar i någon konkret förbättring får vi veta först i december när regeringens budget presenteras.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Fysikaktuell

Medaljer med Tyngdpunktens logotyp.



FOTO: JACK ELLIOT COLLIER RYDER

Exempeluppgift från 2024

Exakt samma mängd värmeenergi tillförs till två identiska metallkylor, som därefter inte utbyter någon energi med omgivningen. Den ena kylan hänger i ett snöre, medan den andra ligger på ett bord. Vilken av kylorna blir varmast? (Du hittar lösningen sist i artikeln nedan!)

Lagtävla i Tyngdpunkten i höst!

■ *Tyngdpunkten* är en lagtävling i fysik som i höst arrangeras för andra gången av föreningen Ung Vetenskapssports Fysiker. Deltagarna ska i lag om högst tre personer så bra som möjligt lösa tio roliga och utmanande fysikproblem. Lagen med högst placering vinner priser, och priser lottas även ut bland samtliga deltagare!

Det finns två upplagor av tävlingen: en lättare och en svårare. Den lättare är främst anpassad för gymnasieelever som läser kursen Fysik 1, medan den svårare riktar sig till gymnasieelever som läser Fysik 2. Gränserna är dock inte knivskarpa. Även ni som inte studerar på gymnasiet är varmt välkomna att delta och tävla om utlovningspriserna!

Det finns två tillfällen att skriva tävlingen.

Fredagen den 21/11 kan gymnasieelever skriva provet på sina gymnasieskolor. Då måste en lärare anmäla skolan till tävlingen. Lördagen den 22/11 hålls samma tävling på distans, och då kan alla som inte skrivit tävlingen tidigare vara med! Söndagen den 23/11 hålls en lösningsgenomgång på distans.

Mer information om tävlingen samt anmälningsformulär finns på vår hemsida: ungvetenskapssport.se/tyngdpunkten.

TYNGDPUNKTENS ARRANGÖRSGRUPP

Lösning på exempeluppgift: När kylorna värms upp expanderar de. För kylan i snöret innebär det att kylans centrum för sig nedåt, varvid den potentiella energin minskar. För kylan på bordet sker det motsatta. Sålunda blir kylan i snöret varmast! (Men skillnaden är förstås mycket liten).

Poddtipset

Rays and Waves

■ Daniel Jimmerskog och Steven Jones, som båda doktorerade på Chalmers, har startat en podcast om optik och fotonik. *Rays and Waves* lanserades i januari i år, och har hittills haft avsnitt om bland annat optisk kommunikation och optiska kvantdatorer.

open.spotify.com/show/04PWdg4VSe28LEPXVVG7I



IYPT 2025 – En fysikfest i Lund

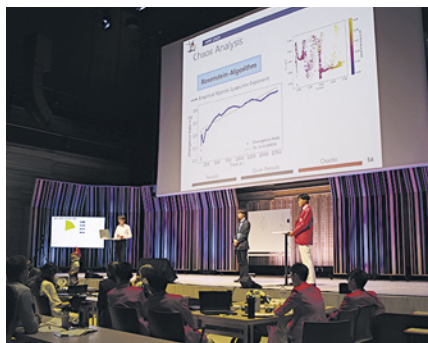
Den 30 juni–5 juli 2025 arrangerades den 38:e International Young Physicists' Tournament (IYPT) – även kallat **Fysik-VM** – i Lund.

■ Det blev en intensiv och inspirerande vecka där 36 lag från hela världen tävlade i att presentera och försvara sina lösningar på årets IYPT problem. Segrande lag blev (kanske inte oväntat) Singapore. Det svenska laget hamnade på 24:e plats med ett hedersomnämmande.

Evenemanget var en stor framgång med över 420 deltagare, varav många svenska volontärer. För att bedöma presentationerna engagerades rekordmånga jurymedlemmar – varav ett tiotal ”lokala” jurymedlemmar, främst från Lund. Andreas Isacsson från Chalmers fick äran att vara i juryn under finalen.

Vi vill rikta ett varmt tack till alla som ställde upp ideellt – utan ert engagemang hade tävlingen inte varit möjlig!

Den 39:e IYPT kommer att hållas



Tysklands lag presenterar. Uppgiften handlade om att undersöka en droppande kran.

i Zürich i Schweiz 5–12 juli 2026. Problemen publicerades i somras, och finns här: www.iypt.org/problems/iypt-2026-problems.

Fler fysiker behövs

IYPT är inte bara en tävling utan en inspirationskälla för många lärare och elever. Vi söker nu fler som vill engagera sig framöver – förstås deltagande elever, men även lärare och fysiker. Vill

du veta mer? Hör gärna av dig till oss på info@iyptsweden.org!

Extrautmaning eller gymnasiearbete

Vissa av de 17 fysikproblem som publiceras varje år inför IYPT lämpar sig utmärkt som gymnasiearbeten eller extrautmaning. Problemen är öppna och inbjuder till kreativt utforskande, dessutom har man chans att tävla med sin lösning.

Vi uppmuntrar därför gymnasielärare att använda IYPT-problem i undervisningen – och att anmäla sig till oss när ni har kommit igång. Vi kan ge tips, stöd och kan bidra med kontaktnät till högskolor. Dessutom kommer vi under hösten att ordna workshops i både Lund och Stockholm. Håll utkik!

Mer information och anmälan finns på vår hemsida: www.iypt.se.

SAM EDGECOMBE
Ordförande för IYPT Sweden

HD: Meteoriter tillhör upphittaren

I augusti föll den slugiltiga domen: en **meteorit** tillhör den som hittar den, inte den som äger marken den fallit på.

■ Den 20 november 2020 slog en meteorit ner utanför Enköping i Uppland. Geologerna Andreas Forsberg och Anders Zetterqvist lokaliserade stenen efter några veckors letande, men markägaren, greve Johan Benzelskierna von Engeström, hävdade att den var hans, eftersom den låg på hans mark. *Fysikaktuell* har tidigare skrivit utförligt om fallet, som nu alltså slutligen har avgjorts.

EFTERSOM DET INTE FINNS någon lagstiftning specifikt för äganderätten till meteoriter utgick Högsta domstolen från reglerna om vad som är fast egendom. Man bedömde att en meteorit har så pass

unika egenskaper att den inte kan anses utgöra en del av den fasta egendom den råkat hamna på, om den inte legat där en längre tid. Stenen är alltså att betrakta som lös egendom, och upphittarna hade rätt att ta den med sig.

Lantbrukarnas Riksförbund, LRF, har drivit saken som ett så kallat principmål. De beklagar domen.

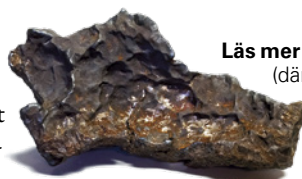
– Att domstolen nu beslutat att denna värdefulla sten tillhör de som hittat den gör gränsen för vad som ingår i allemansrätten otydligare. Domen öppnar för godtyckliga tolkningar av vad som omfattas av äganderätten, säger Björn Galant, näringspolitisk expert på LRF.

ENLIGT RYMDSTYRELSEN uppskattas värdet på meteoriten till ca 600 000 kr. I det här fallet har både upphittarna och mark-

ägaren varit tydliga med att de vill att stenen ska användas till forskning på ett eller annat sätt, men för framtida nedslag kan domen komma att få stor betydelse. Om meteoriter automatisk tillföll markägaren skulle ju incitamentet från forskarvärlden att leta upp dem bli mycket lägre.

– Att man kan ta med sig den – det är den tolkning som funnits tidigare, men det står ju inte i lagen och det har inte funnits någon dom från tidigare så nu är det lite mer klart vad som gäller, säger Anders Zetterqvist till TV4 Nyheterna.

CHRISTINA KJELLSTRAND
Fysikaktuell



Läs mer i *Fysikaktuell* nr 1/2022 (där vi dock angav fel datum för nedslaget, rätt ska vara den 7 november 2020), nr 1/2023 och nr 2/2024.

Från kinetisk energi till höjd och rotation

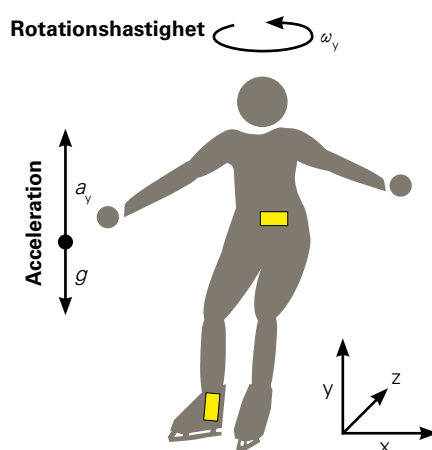
Hösten är här, och det är med andra ord hög tid att förbereda för vinterns nöjen! I början av 2025 (*Fysikaktuellt nr 1/2025*) tittade vi på hur skridskoåkning egentligen fungerar. Nu tar vi itu med **konståkningens** hemligheter.

Detta är en berättelse om de grundläggande lagarna inom fysik och hur de utnyttjas för att få människokroppen att utföra otroliga atletiska prestationer. Konståkning, och framförallt piruetten, är ett klassiskt exempel som används i fysikklassrum för att demonstrera rörelsemängdsmomentets bevarande. Vi tänkte ta detta betydligt längre genom att studera olika sorters piruetter och hopp och se om vi kan förstå hur omvandlingen från kinetisk energi till höjd och rotation faktiskt sker!

Om du har stått med ett par skridskor på isen, vet du hur svårt det kan vara att hålla balansen, få upp farten eller rotera. Hur klarar de professionella konståkarna alla de olika moment som ger dem poäng? De behöver göra rena skär i hög hastighet, piruetter i flera olika positioner, eller hoppa upp och snurra, kanske rent av fyra varv, för att sedan landa baklänges på ett ben.

Teorin må vara tydlig för en fysiker – man tillämpar fysikens grundläggande bevarandelagar – men i praktiken är det väldigt utmanande. Det åkaren vill uppnå är att omvandla den kemiska energin i pastan från kvällen innan tävlingen till kinetisk-, potentiell- och rotationsenergi. Vilka är verktygen som vår konståkare har till sitt förfogande för att utföra den här omvandlingen?

DET ÄR FRÄMST muskelstyrkan, spänsten och precisionen som utnyttjas – konståkare är atleter som har optimerat samspelet mellan alla dessa genom många års träning.



FIGUR 1 Koordinatsystemet som används vid dessa mätningar. En positiv acceleration (a_y) sker i uppåtriktning, alltså motsats till gravitationen (g), och en positiv rotation sker moturs (ω_y). Mätningarna sker med telefoner vid midjan och högerfoten (markerat i gult).

Ett verktyg som ofta går under radarn är de vassa skären och taggarna som finns längst fram på konståkningsskridskor. När dessa interagerar med isen kan det bli väldigt höga impulser. I och med att isen är så hård (alltså att den har väldigt låg dämpningsförmåga) kan man utnyttja denna högimpulsiva interaktion för att omvandla från translationell kinetisk energi (väsentligen åkarens fart i kvadrat) till höjd och/eller rotation¹. Denna omvandling sker via den potentiella

energi som lagras i spända muskler och senor vid interaktionen mellan skär, tagg och is.

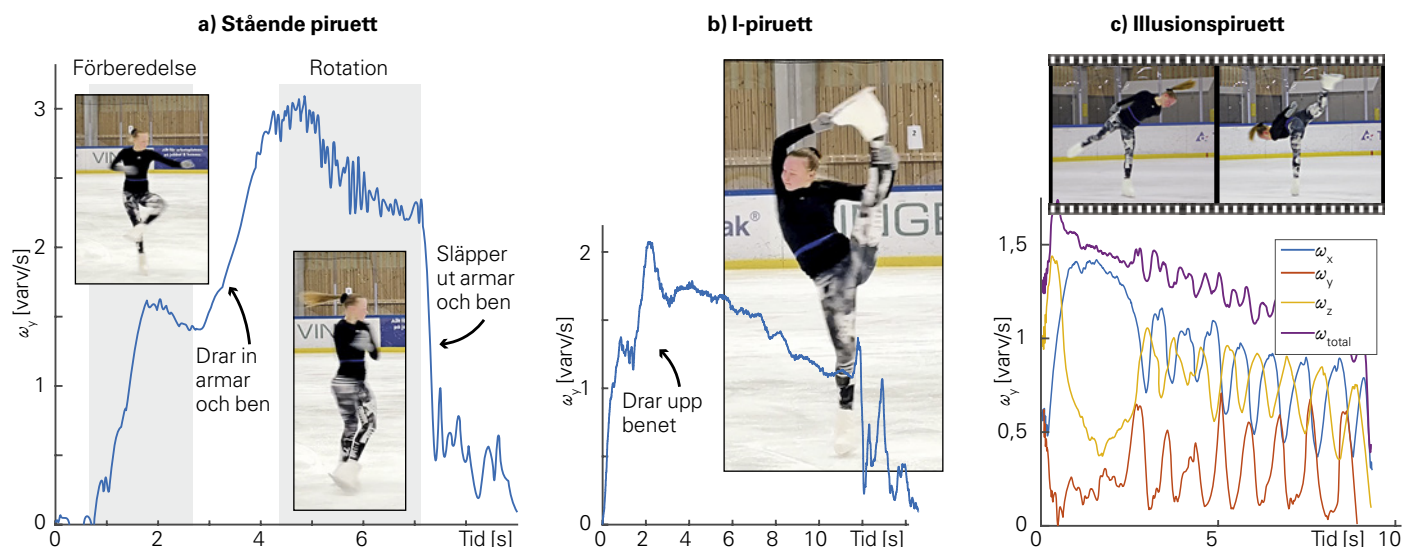
Hur detta går till i praktiken, såväl som en del andra detaljer, tänkte vi belysa utifrån experiment utförda med hjälp av konståkarna Merle Demuth (Lunds KK) och Grigory Kornienko (FSA Amsterdam).

För att kunna mäta de relevanta fysikaliska storheterna fäste vi telefoner på utvalda ställen på åkarna. Med gratisappen Physics Toolbox Suite, kunde vi få tillgång till data från accelerometern och gyroskopet i telefonerna. På så sätt kunde vi mäta såväl den linjära accelerationen som rotationshastigheten på de undersökta kroppsdelarna.

VI BÖRJAR MED NÅGOT som de flesta fysiker har sett eller demonstrerat – bevarandet av rörelsemängdsmoment inom en piruett. För att göra detta på isen fäste vi en telefon till Merles rygg (gul markering i figur 1). Sedan lät vi henne imponera på oss med med en stående piruett.

Piruetten inleds med att Merle kommer in med höger innerskär djupt nerborrat i isen. Detta hjälper henne att omvandla sin translationella kinetiska energi till rotation och därmed rörelsemängdsmoment. Under den här omvandlingen har hon utsträckta armar och ben,

¹ Isens hårdhet spelar stor roll vid den här interaktionen. För hård is resulterar i att musklerna inte klarar av den höga impulsen och för mjuk is är dämpande. Internationella konståkningsförbundet (ISU) har som rekommendation att isen ska vara -3°C , även om vi vet att det inte är enda måttet på hårdhet. Ishockey, som brukar vara det bestämmande organet på svenska ishallar, har en istemperatur på ca -6°C . Frågar du vilken konståkare som helst känns isen då alldeles för hård och elementen blir svårare att utföra.



FIGUR 2 a) Rotationshastighet som en funktion av tid för en vanlig stående piruett. Efter den korta förberedelsen dras armarna in och rotationen accelererar. Friktion tar sedan över så hastigheten minskar tills Merle väljer att stoppa rotationen helt genom att släppa ut armarna och benen. **b)** Istället för att minska sin radiell utsträckning minskar hon den genom att dra upp benet och på så sätt en rotationshastighet på upp till två varv per sekund. **c)** En så kallad illusionspiruett där Merle svänger upp och ner under tiden som hon roterar. I rotationsmätningarna ser vi att rotationskomponenterna är ur fas, precis som vid gyroskopisk precession.

som hon sedan drar in mot kroppen så att hennes radiella utsträckning minskar. Detta får till direkt följd att även hennes tröghetsmoment I minskar, vilket leder till att hennes rotationshastighet ω ökar, helt i enlighet med lagen om rörelsemängdsmomentets $L = I\omega$ bevarande (figur 2a).

För att öka svårighetsgraden ytterligare gjorde Merle en annan, liknande piruett där hon istället för öka rotationshastigheten genom att dra in armarna, drog upp benet över huvudet. Detta resulterade i en liknande ökning av rotationshastigheten, men då hennes radiella utsträckning är något större i den här positionen blir hennes slutliga rotationshastighet något mindre (figur 2b).

Som en bonus gjorde hon slutligen en så kallad "illusion spin" där hon roterar på ett ben medan det andra benet hålls parallellt med överkroppen, och dessa två svänger kring ett horisontellt jämviktsläge (figur 2c). För den här rörelsen visar den uppmätta tredimensionella rotationshastigheten en tydlig oscillation mellan de olika komponenterna – så kallad gyroskopisk precession.

VI SKA NU GÅ ÖVER TILL att studera hopp, genom att undersöka två sorters trippelhopp. Hur svårt kan det vara? Hoppa upp,

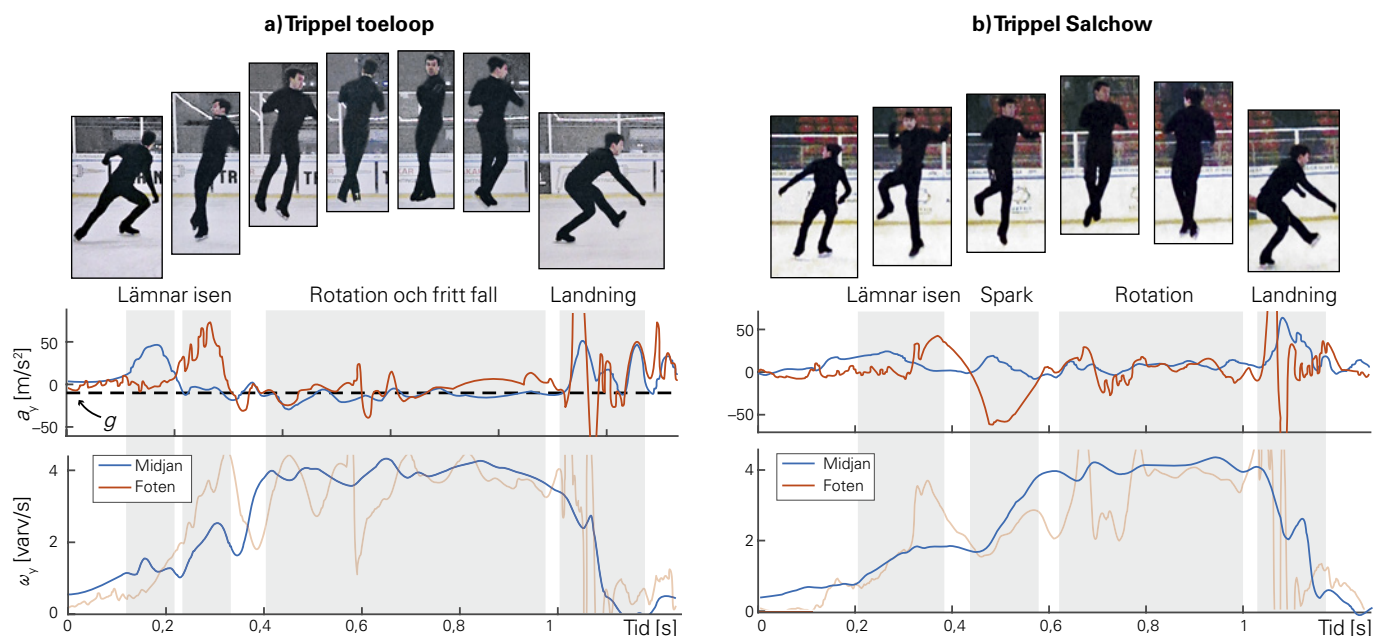
snurra så fort man kan och sedan landa på ett ben! I teorin är det faktiskt inte svårare än så, och så länge man kan genomföra den sedan tidigare diskuterade omvandlingen mellan energier med hög precision borde det gå vägen. I praktiken är den mest uppenbara begränsningen att man bara har tid på sig att rotera så länge man är i luften. Den tiden ges av hur högt man kan hoppa. Konståkaren ställs alltså inför ett val: hur stor andel av sin translationala kinetiska energi ska hen omvandla till hopp kontra rotation? I Grigorys fall är tiden i luften drygt 0,7 sekunder för en *toeloop*. Under den tiden ska han också hinna rotera tre varv, alltså i genomsnitt 4,3 varv i sekunden.

För att titta närmare på detta fäste vi två telefoner på Grigory, en runt midjan och en på högra fotleden (den fot han landar på). Telefonerna representeras av de gula lådorna i figur 1. Återigen använde vi oss av gyroskopet för att mäta rotationshastigheten ω_y , alltså antalet varv i sekunden, men också accelerometern för att mäta den vertikala acceleration a_y som han utsätts för när han hoppar, (en positiv acceleration är uppåtriktad i enlighet med pilarna i figur 1). Accelerationen som utgörs av gravitationen, g , är alltså att betrakta som negativ. Samtidigt som han hoppade åkte jag bredvid och filmade

honom med en kamera som klarar att ta 1 000 bilder i sekunden.

VI BÖRjade MED ATT undersöka Grigorys favorithopp – en trippel toeloop (figur 3a). Detta hopp går till så att efter att han tagit rejält med fart sätter han tån i isen, snurrar, och dundrar efter drygt 0,7 sekunder ner i isen på ett ben så att det knakar.

Toeloop är ett så kallat *tagghopp* där man gräver ner sin tagg i isen för att bromsa upp sin framåtrörelse och därmed inleda hoppet. Nyckeln här är att använda sig av impulsen vid denna inbromsning för att omvandla den inkommande horisontella rörelsemängden (och pastan i magen, via musklerna i benen) till vertikal rörelsemängd och rörelsemängdsmoment – i praktiken höjd och rotation. Det hela kan beskrivas i mer detalj (figur 3a): Grigory kommer in i hoppet med hög fart och bromsar upp med taggen. Den resulterande impulsen gör att hans kinetiska energi omvandlas till lagrad potentiell energi i senornas och musklernas elasticitet. Han använder sedan sin spänst och styrka för att få loss den energin i form av höjd och rotation. I det uppmätta fallet uppgår Grigorys acceleration till mer än 50 m/s^2 (mer än fem g -krafter) och hans rotationshastighet till strax över 4 varv i sekunden. Under det tidssegment där han roterar ►



FIGUR 3 a) Under en trippel toe loop accelererar Grigory först midjan och strax därefter foten. Genom att dra ihop alla lemmar, får han upp rotationshastigheten. **b)** En trippel Salchow sker i två faser. Först lämnar Grigory isen med en rotation på cirka två varv i sekunden. I fas två sträcker han sedan ut sig via en spark, och når en rotation på ungefär fyra varv i sekunden.

► med högst och relativt jämn hastighet är det noterbart hur den uppmätta accelerationen i stort sett är identisk med jordens gravitation (den streckade svarta linjen). Han faller alltså fritt, för att slutligen landa (där telefonerna registrerar kaotisk acceleration) och nästan omedelbart även avbryta rotationen.

Att den initiala energiomvandlingen verkligen sker i ögonblicket då tåtaggen grävs ner i isen är enligt Grigory något som faktiskt känns av. Enligt honom är det så att ju högre fart man kommer in i hoppet med, och ju hårdare man lyckas bromsa in farten, desto lättare blir det att rent *fysiskt* hoppa högt och snurra snabbt. Dock blir det samtidigt *tekniskt* svårare att tajma energiöverföringen och det krävs vad man i sporten kallar "snabba muskler" för att klara av att hantera impulsen.

EFTER TRIPPEL TOELOOP gick vi vidare med att undersöka trippel Salchow, vars grundform uppfanns av svenske Ulrich Salchow år 1909. Salchow är ett så kallat skärhopp, som i sitt utförande har stora likheter med de piruetter som beskrivits ovan. Man skapar sitt rörelsemängdsmoment redan på isen med hjälp av skär och tar sedan med sig detta in i hoppet. Väl i luften drar man ihop armarna och hoppas på att man

har tillräckligt mycket rörelsemängdsmoment för att hinna med så många varv som man behöver innan man landar.

Tittar man på data från sensorerna är denna övning lite mer komplicerad än den föregående. Hoppet sker nämligen i två distinkta faser. Där den första består i att Grigory lämnar isen och roterar relativt sakta med midjan medan hans högra fot roterar betydligt snabbare – och därmed roterar förbi midjan (jämför den blå och den rosa kurvan mellan 0,2 och 0,4 sekunder i den nedersta panelen i figur 3c). Detta leder till en spänning i vävnaden mellan fot och midja och att lite rotationsenergi lagras som användbar potentiell energi i Grigorys elastiska senor.

Den andra fasen inleds med att han sparkar neråt med sin fot, vilket leder till att hans midja accelereras uppåt, precis som Newtons andra lag kräver. Grigory beskriver det som att han "ställer sig" på sitt högra ben. Fasen fortsätter med att Grigory sträcker ut kroppen, drar in armarna (som i en piruett) och ökar rotationshastigheten till ungefär 4 varv i sekunden! Denna snabba rotation pågår i drygt 0,4 sekunder innan han landar och tar emot all inblandad energi i fotled och knä.

Den uppmärksamme läsaren kanske noterat att foten i rotationsdiagrammen

för både toe loop och Salchow verkar röra sig väldigt fladdrigt, nästan slumpmässigt (de rosa linjerna i understa panelerna i figur 3). Efter att ha analyserat data kom vi fram till att Grigory troligen förlorar energi under rotationen på grund av att foten fladdrar, så vi bestämde att han skulle testa att hoppa med spänd högerfot. Resultatet blev att han överroterade, alltså att han roterade lite längre än de avsedda tre varven – idrottare kan visst också få hjälp av fysiker!

GENOM DESSA MÄTNINGAR BLIR det tydligt att konståkning, likt många andra sporter, handlar om att vid givna tillfällen bevara energi och vid andra tillfällen så effektivt som möjligt omvandla energi från en form till en annan. Genom att optimera spänsten, styrkan och precisionen gör proffsen både piruetter som sätter fantasin på prov och kvadrupelhopp där man måste titta i slow-motion för att kunna räkna antalet varv. Då är frågan om vi kommer att se kvintuppelhopp snart? Enligt mina källor skulle det kunna ske inom nästa OS-cykel (någon gång mellan år 2026 och 2030). Vi håller tummarna!

VASSILY KORNIENKO
Postdoc, Lunds universitet



Ann-Kathrin Raab, årets Oseen-pristagare, med Fysikersamfundets ordförande Michael Odelius.



FOTO: NILS ALMÖVIST

Marcus Liwicki berättade om AI i fysikundervisningen.



Aleksandra Foltynowicz föreläste om molekylspektroskopi.

Uppskattade fysikdagar i norr

Fysikdagarna anordnas vartannat år i Sverige som ett samarbete mellan Svenska fysikersamfundet och de lokala arrangörerna. I år hade turen för första gången kommit till Luleå Tekniska Universitet (LTU).

Jag har aldrig varit i Luleå, så det var en ny och angenäm upplevelse. LTU ligger en bit utanför centrala Luleå, men nås lätt med buss. Fysikdagarna gick av stapeln 13–15 augusti, 2025.

Fysikdagarna brukar innehålla ett antal plenarföredrag och ett antal föredrag av yngre fysiker fokuserade på de olika sektionernas verksamheter. Plenarföredragen höll hög klass och var välbesökta, inte bara av de 110 registrerade deltagarna utan också av andra intresserade som arbetar eller studerar på LTU. Plenarföredragen täckte stora områden av fysiken: kvantdatorer, spektroskopi med optisk kam, AI i fundamental fysik, och batterier bortom Li-batterier. Men det i särklass mest besökta plenarföredraget gavs av Nobelpristagaren 2023, Anne L'Huillier.

Den stora hörsalen var helt full, och efter Annes pedagogiska och medryckande föredrag vidtog fotografering med henne tillsammans en och en – och en förväntansfull skara bildade en lång kö. Jag hade kontakter på SVT Norrbotten, så efter allt fotograferande blev hon intervjuad utomhus av dem.

Av Svenska fysikersamfundets 12 sektioner var endast tre representerade med föredrag av yngre forskare: Utbildningssektionen, Sektionen för kondenserade materiens fysik med nanofysik och Sektionen för atom-, molekyl- och optisk fysik. Enligt en av arrangörerna på LTU, som jag känner sedan gammalt, var alla sektioner tillfrågade men flera visade inget intresse.

För att avsluta med något positivt:

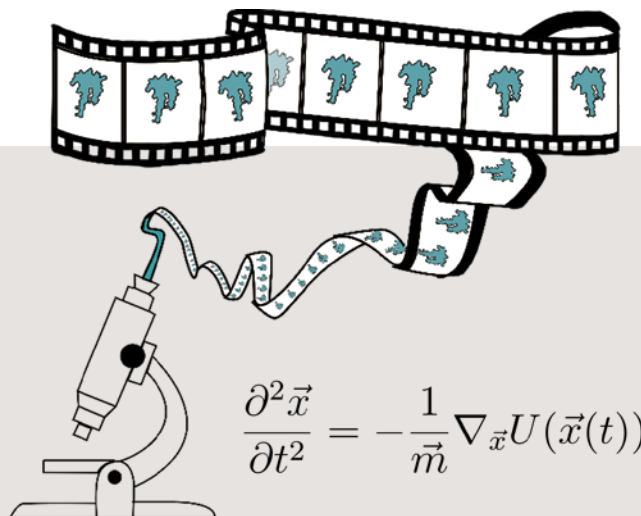
Ordförande Michael Odelius delade ut Oseen-medaljen till Ann-Kathrin Raab från Lunds universitet, som vi lärde känna i *Fysikaktuellt* nr 2/2025.

MATS LARSSON
Professor, Stockholms universitet

■ Anne L'Huillier, Nobelpristagare i fysik 2023, passade på att ge några råd till unga forskare. Se hela inslaget på SVT Norrbotten!

www.svt.se/nyheter/lokalt/norrbotten/nobelpristagaren-besoker-ltu-hor-hennes-rad-till-unga-forskare





Molekyldynamik-simuleringar är beräkningsmässiga "mikroskop" som genererar filmer på hur exempelvis protein rör sig. Potentialfunktionen (U) är en energifunktion vars gradient ger krafterna, liksom accelerationen om man delar med massan (m), på varje enskild atom (x) i systemet.

AVHANDLINGEN

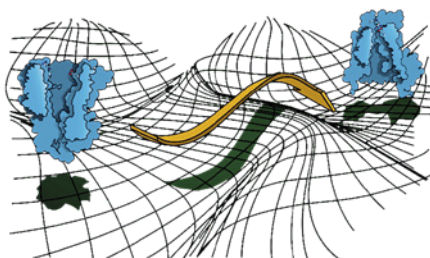
Fysik i biologins tjänst

Genom att kombinera fysik, bioinformatik och maskininlärning kunde **Darko Mitrovic** i sin avhandling ta fram en ny metod för att simulera proteiners rörelser.

Celler uppfattar och reagerar på sin omgivning med hjälp av proteiner i cellmembranet. Dessa *membranproteiner* fungerar som portar och mottagare, och styr allt från näringsupptag till nervsignaler. De kan växla mellan olika tillstånd, eller konformationer, för att släppa igenom molekyler eller skicka signaler vidare över membranet. Deras centrala roll i cellernas näringsupptag och signalsystem gör dem till attraktiva måltavlor för dagens läkemedel, av vilka membranprotein klart dominerar.

Under de senaste åren har tekniker som kryoelektronmikroskopi (kryo-EM) gjort det möjligt att bestämma proteiners tredimensionella strukturer med mycket hög upplösning. Detta har lett till en lavin av nya strukturer i databaser som Protein Data Bank.

Samtidigt har AI-verktyg som AlphaFold blivit en revolution inom biologi, eftersom de kan förutsäga proteinstrukturer som är nästan lika bra som de experimentella. Men varken kryo-EM eller AI löser den centrala frågan: hur proteiner faktiskt rör sig och fungerar. Att bara se en stillbild av ett protein är som att



En transportör genomgår en tillståndsomvandling för att transportera substrat över cellmembranet genom att ta sig över en lokal sadelpunkt i det fria energilandskapet.

försöka förstå handlingen i en film från en enda bildruta.

HÄR KOMMER FYSIKEN TILL undsättning, där vi kan använda grundläggande Newtonska ekvationer för att simulera hur enskilda atomer rör sig, och således generera nya datapunkter. För att förstå hur proteiner arbetar måste man beskriva deras rörelser och energilandskap. Med hjälp av molekyldynamik (MD, en fysikbaserad metod där man löser Newtons rörelse-ekvationer för varje atom i proteinet och omgivande vatten samt membran) kan man simulera hur proteinet förändrar tillstånd över tid. På så sätt kan man räkna ut hur olika tillstånd hänger ihop genom sitt fria energilandskap: mer stabila tillstånd motsvarar energidalar, medan höga barriärer avgör hur långsamt proteinet växlar mellan olika former.

Problemet är att dessa processer ofta sker på millisekunder eller längre, medan MD-simuleringar normalt bara kan följa några mikrosekunder. Det är lite som att försöka observera glaciärers rörelse genom att filma några sekunder – man missar de viktigaste händelserna.

Combining Evolution and Physics through Machine Learning to Decipher Molecular Mechanisms

- Författare: Darko Mitrovic
- Chalmers Biofysik, KTH, 2024
- ISBN: 978-91-8040-921-6
- Länk till avhandlingen: kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1853732/SUMMARY01.pdf
- Handledare: Lucie Delemotte, professor, Biofysik, KTH
- Opponent: Gerhard Hummer, professor, Max Planck Institute of Technology, Tyskland.



För att komma runt detta utvecklade jag under min doktorandtid en ny metod: *coevolution-driven MD*. Idén bygger på att evolutionen lämnar spår i proteinsekvenser, men är okänslig för vilket tillstånd vi råkar ha fått en bild på i PDB-databasen. Om två aminosyror ofta förändras tillsammans under evolutionen tyder det på att de är viktiga för proteinets funktion, kanske för att de rör sig mot varandra i någon alternativ konformation. I *coevolution-driven MD* använder vi detta för att utforska nya tillstånd med hjälp av dessa evolutionära spår. Här är fysiken vårt facit, och det fria energilandskapet ger oss svaret om de nyfunna konformationerna är stabila eller inte. Genom att kombinera denna bioinformatiska information med fysikbaserade simuleringar kunde vi styra MD så att den utforskar de mest relevanta tillstånden, oftast hela 1 000 gånger snabbare än alternativa metoder. Dessutom integrerade vi maskininlärningsmetoder för att destillera de komplexa konfigurationer av atomer som uppstår under simuleringarna till analyserbara tillstånd.

DETTA VISADE SIG GE ett enormt lyft: simuleringar som annars hade tagit år kunde nu göras på dagar, och dessutom avslöjade metoden helt nya mellanliggande tillstånd som experiment ännu inte fångat. Dessutom gav den bioinformatiska vinkeln oss en chans att hitta mekanismen

för inte bara ett enskilt protein, utan för en hel familj av besläktade protein. I avhandlingens första delarbete kunde vi för första gången skapa en överblicksbild av hur en hel familj av sockertransportörer arbetar. Just det fria energilandskapet gav oss en komplett bild av vad som händer med varje enskilt protein, särskilt när olika substrat eller andra stimuli påverkar systemet utifrån. För sockertransportörer hjälpte detta oss att förstå att "allätande" transportörer fungerar genom att sänka energibarriären för transport, något som förklarar hur malariaparasiten kan kapa människans sockertransportörer.

GENOM ATT KOMBINERA fysik, bioinformatik och maskininlärning kunde vi på liknande sätt undersöka även andra proteiner, som människans läkemedels-transportörer och G-proteinkopplade receptorer (GPCR:er) – den absolut största läkemedelsklassen. Utöver en valideringsstudie som visade väldigt hög korrelation till experimentella värden på receptorer-nas effekt, ville vi också studera hur pH-känsliga receptorer som är överrepresenterade i cancertumörer fungerar eftersom enskilda protoner är omöjliga att se experimentellt. Vi behövde även tänka till kring våra MD-simuleringar, där man vanligtvis inte kan bryta interatomära bindningar, utan kringgick detta genom att utöka potentialfunktionen för att kunna beskriva protonering av vissa aminosyror. På så sätt kunde vi följa enskilda protoners vandring i receptorn när pH förändras, något som varken AI eller experiment direkt kunde fånga. Resultaten visade att för att förstå hur membranprotein fungerar behöver vi förstå hela de mekaniska processerna, snarare än att fokusera på statiska strukturer.

Mitt avhandlingsarbete visar att fysikbaserade metoder inte bara kan komplettera dagens AI och strukturbologi, utan också öppna dörren till en ny era av läkemedelsforskning. Genom att kartlägga de fria energilandskapen och mekanismerna bakom hur proteiner rör sig kan vi börja designa läkemedel som inte bara binder till en form – utan som styr hela maskineriet.

DARKO MITROVIC
Biofysik, KTH



FOTO: PRIVAT

Darko Mitrovic.

Nyfiken på både biologi och fysik

Darko Mitrovics avhandling skulle kort kunna sammanfattas som livsviktig forskning med moderna maskininlärningsmetoder. Här träffar *Fysikaktuellt* forskaren bakom de imponerande resultaten för proteinstruktursimuleringar, som i framtiden kan få tillämpningar för riktig läkemedelstillverkning.

Darko är uppvuxen i Stockholm och utbildad civilingenjör vid KTH. Under studierna arbetade han parallellt som forskningsingenjör på bland annat Uppsala universitet. Redan i denna tjänst höll han på med simuleringar, fast för enzymstrukturer inom området kvantkemi. Särskilt tittade han på elektroner, som ju styr kemiska reaktioner, men fick snart ett intresse för själva proteinstrukturerna i termer av atomer istället. Som doktorand under handledare Lucie Delemotte fick Darko ta de första stegen som sedan skulle leda till en avhandling i gränslandet mellan biologi och fysik. Intresset för simuleringar väcktes redan i gymnasiet av två lärare, som bägge hade disputerat inom kvantkemiberäkningar.

På frågan om vad han är mest intresserad av mellan biologi och fysik svarar han skrattande att det pendlar fram ►

► och tillbaka, oftast med en frekvens på någon månad. Han har alltid varit nyfiken på just biologi, men även mekanik och hur saker fungerar i naturen. Han ser en röd tråd i sin karriär som handlar om just hur naturen är uppbyggd, med ökad komplexitet i varje ny nivå som studeras.

DARKO BERÄTTAR VIDARE att doktorandprojektet från början var något riskfyllt, eftersom det var oklart hur bra den nya metoden baserad på maskininlärning, fysik och bioinformatik (coevolution-driven MD) faktiskt skulle fungera.

När de väl fick se resultaten insåg de hur väl de hade lyckats, vilket blev det första steget på en fortsatt forskningskarriär för den unge doktoranden. Darko nämner att ovissheten och mängden upprepade försök att lösa problem var något han inte riktigt väntade sig innan han började forska. Till nyblivna och framtida doktorande ger han rådet att hålla ut och vara ihärdiga, i slutändan är det ofta mödan värt.

SEDAN DISPUTATIONEN 2024 arbetar Darko som senior forskare på KTH, i en grupp med tre andra personer. Imponerande nog har han även startat ett företag som försöker sprida den nya metoden till näringslivet, och redan nu är de i kontakt med stora företag för framtida läkemedelstillämpningar.

Fritiden spenderas med att bygga, snickra och renovera sitt hus (allt efter noggranna beräkningar utförda av den civilingenjörsutbildade), där han bor med sin fru och son på fem månader. Att få barn har inneburit en stor omställning för vardagen, och den nyblivne pappan är väldigt nöjd med sin tillvaro.

Utan tvekan är Darko en driven person med många strängar på sin lyra. *Fysikaktuellt* önskar honom all lycka i framtiden, med forskning, företag och familj.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Edinburgh universitet



I Aeroseums nya escape room ska deltagarna använda sina fysikkunskaper för att hindra att en

Fängslande fysik

Fyra civilingenjörsstudenter från Chalmers tekniska högskola har utvecklat ett **escape room** på Aeroseum utanför Göteborg.

Deltagarna ska i detta spel iklä sig rollen som agenter under kalla kriget. Dessa ska i sin tur försöka stoppa en fientlig makt från att spränga en bomb. För att lyckas med uppdraget behöver deltagarna använda kunskaper från gymnasiekursen Fysik 1 för att lösa olika slags pussel. Syftet med aktiviteten, vilken nu är öppen för allmänheten, är både att lära ut fysik och att stimulera gymnasieelever och andra till ett ökat fysikintresse.

Ett "escape room", eller rymningsrum på svenska, är en aktivitet i vilket en grupp på vanligen två till sex deltagare hjälps åt för att kunna ta sig ut ur ett rum eller utföra något annat uppdrag. För att klara detta behöver deltagarna hitta gömda föremål och ledtrådar och lösa olika slags klurigheter som ofta bygger på att se logiska mönster. Det är vanligt med magnetlås och andra tekniska lösningar för att komma närmare målet.

Det första rymningsrummet skapades

i Japan 2007 och aktiviteten har sedan spritt sig runt om i världen. I Sverige finns det idag omkring 200 olika rymningsrum utspridda i cirka tio städer. Temat för dessa varierar stort. Det kan handla om att fly från ett fängelse eller en galen vetenskapsman, lösa en mordgåta, utföra ett bankrån eller genomföra en tidsresa. På senare år har det även skapats rymningsrum i brädspelsformat att utföra i hemmiljö, se till exempel *Fysikaktuellt* 4/2021.

AEROSEUM ÄR ETT UNIKT flygmuseum och upplevelsecenter beläget i en tidigare topphemlig militär bergsanläggning i Säve, strax norr om Göteborg. Museet är inrymt i en enorm underjordisk hangar på 22 000 m², cirka 30 meter under markytan, som byggdes under 1950-talet för att skydda svenska stridsflygplan mot kärnvapenattacker under det kalla kriget.

Aeroseum rymmer idag både civila och militära flygfarkoster (inklusive svenska

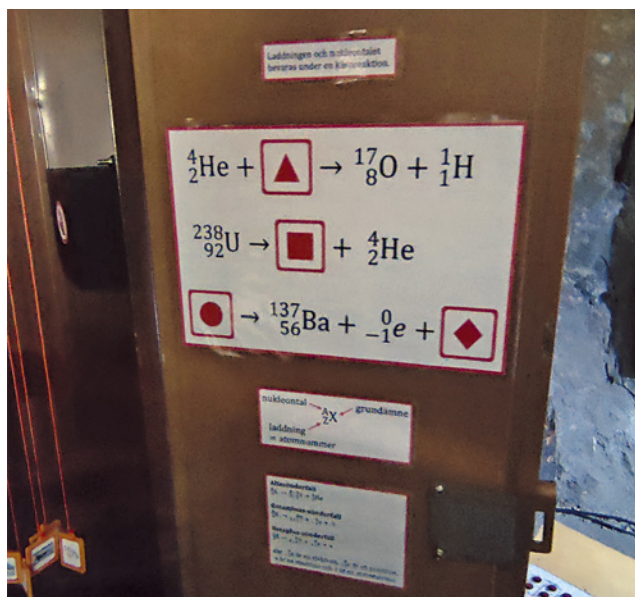


FOTO: JONAS ENGER

bomb sprängs. Bland annat ska de lösa ett pussel baserat på kärnreaktioner.

djupt under marken

klassiker som J 29 Tunnan, J 35 Draken, AJ 37 Viggen och JAS 39 Gripen), utställningar, flygsimulatorer och andra roliga och lärande aktiviteter. Aeroseum ingår i nätverket Sveriges Militärhistoriska Arv.

UNDER VÅREN 2025 HAR de fyra civilingenjörsstudenterna Agnes Karlsson, Hjalmar Löfgren, Sofie Söderqvist och Vendela Sandell från Chalmers som sitt kandidatarbete utvecklat ett så kallat Educational Escape Room (EER) på Aeroseum.

Ett EER fungerar som ett vanligt rymningsrum men är också utformat för att deltagarna ska lära sig exempelvis ett skolämne, i detta fall gymnasiefysik. Det utvecklade rummet har ett tema som grundar sig i det kalla kriget. Deltagarna tar rollen som agenter vilka får i uppdrag att hindra en fientlig makt från att spränga en bomb, något som kommer att ske inom 60 minuter om agenterna skulle misslyckas.

För att lösa uppgiften behöver deltagarna lösa olika pussel med koppling till Fysik 1 på gymnasiet. Som en första uppgift använder deltagarna fältflaskor för att lösa ett hävstångspussel, något som i sin tur ska ge en fördjupad förståelse för be-

greppen jämvikt och moment. I en senare uppgift ska deltagarna koppla nio olika grafer med händelseförloppen en flygresa, ett fallskärmschopp och en raketfärd, något som kopplar till området rörelse och krafter. Ytterligare ett exempel på koppling till Fysik 1 är ett resistorpussel där deltagarna ska använda olika motstånd för att maximera strömmen genom en sluten krets. Det hela kopplar till energi och energiresurser och deltagarna behöver både applicera Ohms lag och räkna på serie- och parallellkopplade kretsar. I en sista övning ska deltagarna lösa ett kärnreaktionspussel. Här gäller det att nyttja bevarandelagarna samt tillämpa olika slags sönderfall, delar som kopplar till strålning inom medicin och teknik.

PRECIS SOM KOMMERSIELLA rymningsrum inkluderar det nyutvecklade rummet på Aeroseum gömda objekt samt använder sig av magnetlås, RFID-läsare och andra tekniska lösningar för att deltagarna ska komma framåt. Rummet nyttjar Aeroseums koppling till kalla kriget på ett väldigt effektivt sätt genom att det använder olika slags artefakter från denna

tidsepok. Den fysiska belägenheten, i ett kargt bergsrum 30 meter under mark, förstärker den tematiska upplevelsen ytterligare. Medan andra rymningsrum kräver att en spelledare övervakar deltagarna genom TV-monitorer har detta i stället ett sinnrikt sätt att ge deltagarna ledtrådar om de skulle köra fast. Tiden det tar för att återställa rummet är också kort – några minuter och sedan är det redo för att nyttjas igen. Detta för att det inte ska behövas dedikerad personal för rymningsrummet och för att underlätta för skolklasser att snabbt kunna alternera mellan att delta i rummet och att se och uppleva andra delar av Aeroseum.

Rummet har framgångsrikt testats av gymnasieklasser, lärare från Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet och är nu redo att ta emot skolklasser och allmänheten.

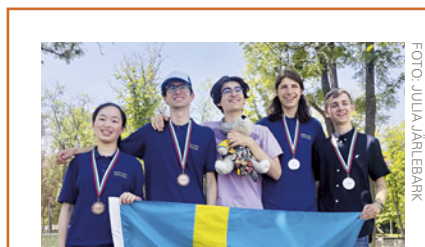
JONATHAN WEIDOW
Chalmers tekniska högskola
SEBASTIAN KILDE WESTBERG
Göteborgs universitet
JONAS ENGER
Göteborgs universitet

Medaljrekord på EuPhO

Årets europeiska fysikolympiad, den nionde i ordningen, gick av stapeln i Bulgariens huvudstad Sofia den 13–17 juni. Totalt deltog 189 gymnasister från 30 europeiska och 10 utomeuropeiska gästländer. För Sverige blev lagets resultat **det bästa någonsin** på EuPhO med två silvermedaljer och två bronsmedaljer.

Tävlingen inleddes sedvanligt på lördagen med två experimentuppgifter. I den första uppgiften fick deltagarna studera ett artificiellt neuralt nätverk. Uppgiften bestod av en svart låda med en elektrisk krets som fungerade som en fysisk modell för en neuron, och deltagarna skulle dra slutsatser kring denna genom att välja lämpliga inspänningar och med multimeter mäta den utgående spänningen från neuronerna. Den andra experimentuppgiften kretsade kring ett halvgenomskinligt plastark med ett mikroskopiskt mönster av sinusformade vågor, vars dimensioner skulle bestämmas. Till sin hjälp hade deltagarna en laser och uppgiften kunde lösas genom att studera diffraktionsmönstret som uppstår då plastarket belyses med lasern.

Söndagens första teoriuppgift handlade om ett vardagsfenomen som vi nog alla har observerat: mönstret som bildas då solens strålar reflekteras från ett stolsben av metall. I den andra teoriuppgifterna fick deltagarna testa sina mekanik-



Svenska laget

(från vänster)

Leshi Zhang , Danderyds gymnasium	brons
Jacob Ädelroth , Danderyds gymnasium	brons
Allan Ismail , Katedralskolan Växjö	
Dag Sochman , Nacka Gymnasium	silver
Ossian Wellmark , GTG Göteborg	silver

kunskaper genom att lösa ett problem med en "svävande" bordsyta, och den tredje handlade om att beräkna det resulterande magnetfältet från två strömförande kablar. Det svävande bordet förevisades

under modereringen även som en fysisk pappersmodell.

EuPhO till Göteborg nästa år

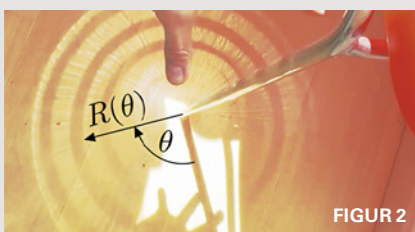
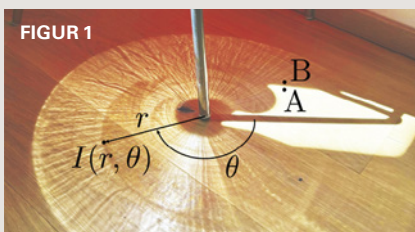
Liksom föregående år var Sveriges delegation vid EuPhO 2025 den största av samtliga länder, med hela sex ledare utöver de fem deltagarna, detta som ett led i förberedelserna för att arrangera kommande europeiska fysikolympiad. När alla medaljer delats ut under avslutningsceremonin var det dags för oss att presentera Sverige som värdland för tävlingens tioårsjubileum! Vi ser fram emot att få välkomna alla deltagare till Göteborg nästa år, och passar på att rikta ett varmt tack till Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond, som möjliggör det svenska deltagandet och arrangemanget av fysikolympiaden.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON,
JULIA JÄRLEBARK, MATTIAS BJERKLÖV,
MAX KESSELBERG, TOPI LIND
OCH TOVE TIEDEMANN
Svenska lagledare, EuPhO 2025

Teoriuppgift 1: Soligt

■ Du ska studera egenskaperna hos den upplysta cirkelytan och de mörka ringarna i figur 1. Utgå från en idealiserad situation när du gör dina beräkningar: Metalicylindern (ett stolsben) är en perfekt, strikt vertikal, cylinder med radien a och med en perfekt reflekterande och perfekt slät yta. Du får göra rimliga antaganden och införa approximationer som du bedömer förenklar dina beräkningar.

a) Bestäm hur den utökade illuminansen $I(r, \theta)$, inuti den ljusst upplysta cirkelytan på golvet, beror på de polära



koordinaterna $r \gg a$ och θ . Denna illuminans är ett mått på mängden inkommande ljus per areaenhet. Med "utökad" avses den extra illuminans som uppkommer på grund av cylinderns inverkan. Uttryck svaret i termer av I_0 , definierat som differensen i illuminans mellan punkterna A och B i figur 1.

b) I figur 2 ser du några fingrar som hindrar en del av ljuset från att nå stolsbenet. $R(\theta)$ betecknar det radiella avståndet från den mittersta mörka ringen som en funktion av vinkeln θ . Låt $R_{\min}$ vara det minsta värdet på $R(\theta)$. Bestäm differensen $R(\theta) - R_{\min}$.



Olympier på sightseeing-tur.



Alexander Nevskij-katedralen.



Isbjörnsmaskoten Sven med det svenska lagets medaljskörd.

FOTO: J. ÅDELROTH/JÄRLEBARK

”Ett konstigt lugn infann sig”

Att **delta i en fysikolympiad** är så mycket mer än bara tävlingen. Här berättar två av årets svenska olympier om sin resa till Sofia.

Vi är båda personer som lätt blir nervösa av småsaker, och den europeiska fysikolympiaden var ingen liten sak. Under veckorna innan hade vi spenderat mycket tid med att öva, men när vi klev ut från Sofias flygplats i den kokande hettan var vi fortfarande oroliga över hur det skulle gå.

Tävlingsmomenten började nästan direkt när vi kom fram. Vi hann lägga av oss vår packning i rummen, och sedan behövde vi ta oss till öppningsceremonin. Dagen därpå var det dags för det experimentella provet. Trots all träning visste vi inte vad vi skulle förvänta oss. Ändå infann sig ett konstigt lugn när vi hade satt oss till rätta i våra små bås. Till slut hade fem koncentrerade timmar passerat.

Hela det svenska laget hade klarat sig bra. Det var alltid förvånande att vi tänkte så lika fast vi satt ensamma i helt olika rum. Av de två uppgifterna hade alla valt att lägga ner mest tid på den första. Sedan var det teoretiska provet redan nästa dag, och hur nervösa vi än var gick det också över förväntan.

INVÄVT I ALLT TÄVLINGSRELATERAT fanns det massor av tillfällen att lära känna Sofia och Bulgarien. Alla tävlingsdeltagare åkte tillsammans in till stadskärnan efter varje prov. Att se medeltida kyrkor bland viktiga statliga byggnader gjorde historien

närvarande på ett helt nytt sätt. Vi kunde inte ha fått en bättre bulgarisk guide och det bästa sättet att se staden var när hon fick visa oss runt.

Även om alla i laget har mycket talang fanns det en som stod ut som den uppenbart bästa: maskotbjörnen Sven. Det är i varje fall allmänt känt att han kan alla svaren. Enligt tradition skulle han få en bulgarisk souvenir, men när vi letade framför den stora Alexander Nevskij-katedralen var det svårt att hitta något annat än antikföremål från andra världskriget eller kommunisttiden.

VÅRT HOTELL, EN VÄLDIGT hög betongklump, hade förmodligen sett sina glansdagar någon gång innan murens fall. Middagen serverades alltid enligt samma formel: en hög med kött, någon kolhydratkälla, en kaka och en grönsak (oftast gurka). En annan intressant upplevelse var att utforska hotellets oanvända trapphus. När hissarna tog för lång tid att komma var det naturligt att ta den vägen istället. Det visade sig se femtio år äldre ut än resten av byggnaden, med många gömda vrår att upptäcka.

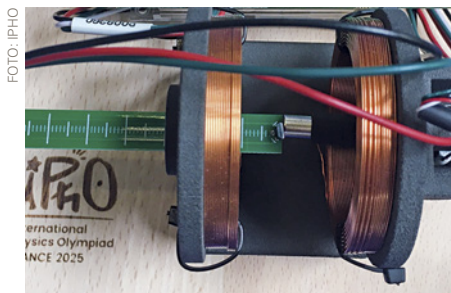
Det bästa med den europeiska fysikolympiaden var att träffa så många olika människor. Laget kom nära varandra under långa nätter tillsammans i rummen. Vi hade en sjuk lagmedlem, Allan, som inte kunde vara med oss under dagarna och som istället fick en resa präglad av sjukhusbesök och ständigt växlande orosmoment. Men där på rummet kunde vi i

varje fall umgås. Vi lånade även Svenja från det schweiziska laget efter att hon berättat att hon kunde svenska. Sedan var hon med oss nästan hela resan. Det gick alltid att gå fram och skämta med deltagare från andra delar av världen, att lära sig något om deras land. Den sista natten satt vi uppe ända in på småtimmarna och spelade kort med folk från hela världen.

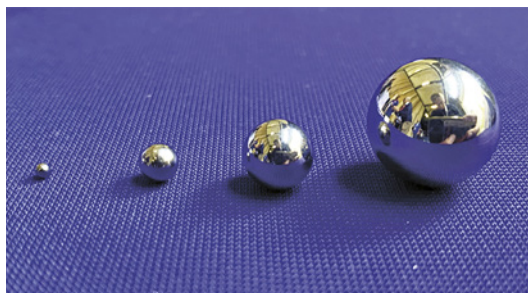
EFTER TÄVLINGSDAGARNA VAR DET dags för modereringsdagen. Det var på sätt och vis den mest spännande dagen. Det var då vi fick de rättade resultaten, men det dröjde ett tag. Ledarna gav oss sina preliminära rättningar av våra prov på morgonen. Sedan fick vi vänta på att få de faktiska poängen. De kom först vid lunch, och det blev en glad överraskning. Ledarnas preliminära rättning skulle vara generös men ingen fick lägre poäng än vad de hade gett och flera fick högre. Då gick det att pusta ut. Tävlingen var klar.

I efterhand var den europeiska fysikolympiaden en av de roligaste resorna vi har gjort. Allt var stort och nytt men på ett kul och intressant sätt. Det fanns massor att lära sig av tävlingen. Den sista dagen var det prisutdelning, och på sätt och vis var det fantastiskt att det gick så bra som det gick. Att just det laget vi hade fått lära känna skulle få Sveriges bästa resultat, två brons och två silver! Kanske borde vi inte ha oroat oss så mycket inför tävlingen.

DAG SOCHMAN OCH
JACOB BRZEZINSKI ÅDELROTH



FIGUR 1 Helmholtzspole, cirka 10 cm lång med magnetfältsensor.



FIGUR 2 Kulor, 2, 5, 9 och 16 mm samt kratrar.



Hedersomnämmanden och brons i Frankrike

17–25 juli var det dags för den 55:e **internationella fysikolympiaden**, i Paris. I årets IPhO deltog 92 länder från fem världsdelar, varav 5 som observatörer. Inalles 415 deltagare, 163 ledare och 98 observatörer.

Den svenska utdelningen vid årets fysikolympiad blev en bronsmedalj genom Leshi Zhang, Danderyds gymnasium, och tre hedersomnämmanden genom Erik Bengtsson, Hvitfeldska gymnasiet, Göteborg, Allan Ismail, Växjö gymnasieskola, och Tor Lonnert, Polhemskolan, Lund.

Vi höll mestadels till på ett sommar-tomt École polytechnique, beläget cirka 20 km sydväst om Paris. Vårt hotell låg också i södra utkanten av Paris, precis utanför ringleden runt den gamla stadskärnan. Det var en dryg halvtimmes bussfärd mellan de båda. Liten besvikelse att inte kunna promenera i det egentliga Paris.

Invigning

En fransk mimare underhöll i randig tröja, svarta byxor och basker, vitt ansikte och vita handskar samt röda hängslen. Plateau de Saclay Orchestra framförde "Habaneran" ur *Carmen* och "Cancan" ur *Orfeus i underjorden* och publiken klappade takten. L'orchestra Garde Républicaine spelade militärmusik, men varken "Marseljäsen" eller "Marche Militaire".

Bland talarna märktes Serge Haroche, Nobelpristagare 2012, som berättade om tidmätning över fyra sekler. Ministern med ansvar för utbildning och forskning, Philippe Baptiste, passade på att göra reklam för att studera och forska i Frankrike, men påpekade också den låga andelen kvinnor inom IPhO. Under avslutningen talade även Nobelpristagaren Alain Aspect (2022), och berättade om hur kvantmekanik har revolutionerat världen. Han var sämre på att hålla tiden, men efter att ha bett om publikens stöd och mötts av applåder tilläts han fortsätta.

Översättning

Uppgiftstexterna presenteras dagen före varje tävlingsdag. Efter långa diskussioner och slutgiltigt godkännande, översätter varje land till respektive språk. Experimentdagen i säng kl 04 och teori-dagen redan kl 01. Dagen därpå erbjuds utflykter, för de ledare som orkar upp.

Tyvärr var fader Pluvius i farten både under lunchkryssningen på Seine och vid besöket på Versailles. Det uppskattades nog mer av växterna i trädgården än av

besökarna, som i stället trängdes inomhus bland målningar och statyer.

Uppgifterna

Som vanligt var provet uppdelat i en experimentell och en teoretisk del, med fem timmars skrivtid för vardera. Den första experimentuppgiften gick ut på att mäta jordens magnetfält med hjälp av en torsionspendel, där en liten permanentmagnet kunde fästas. Utmaningen bestod i att varken magnetens styrka eller pendelns tröghetsmoment var kända. Deltagarna behövde därför först bestämma magnetens egenskaper, bland annat med hjälp av en anti-Helmholtz-spole samt en kraft- och magnetfältssensor, och därefter hitta ett sätt att eliminera tröghetsmomentet ur ekvationen för pendelns periodtid (figur 1).

Det andra experimentet var inspirerat av planeten Mars. Deltagarna skulle dels undersöka hur diametern på sandkratrar beror på nedslagsenergin, dels vilka risker som finns för att en Marsrover kör fast i sanden. Experimentuppställningen var enkel och bestod av fyra metallkulor i olika storlekar, sand i en behållare, ett stativ och

en skena som säkerställde att varje försök fick så lika förutsättningar som möjligt, samt ett måttband och ett tidtagarur (figur 2). Tack vare det stora spannet i kulornas massor kunde nedslagsenergi över fyra storleksordningar studeras.

De tre teoriuppgifterna var både aktuella för året och tematiskt kopplade till världlandet, med frågor om bland annat astronomi, kvantfysik, och inte minst, champagne. Den första uppgiften handlade om väte och galaxer. Inledningsvis skulle deltagarna härleda våglängden för fotoner som emitteras vid övergången mellan energinivåerna i väteatomens hyperfina struktur. Därefter skulle de bestämma rotationshastigheterna och massfördelningen i vår galax med hjälp av verkliga data, och avslutningsvis undersöka en alternativ modell med modifierad newtonsk dynamik (MOND).

Den andra uppgiften handlade om Cox klocka, uppfunnen 1765 av britten James Cox, som drivs helt av förändringar i atmosfärstrycket. Drivmekanismen består av två upphängda behållare som båda innehåller kvicksilver. Behållarna är placerade så att ändringar i atmosfärstrycket tvingar kvicksilvret att rinna från den ena behållaren till den andra, och på så sätt skapas en resulterande kraft som kan driva klockan. Huruvida Cox klocka faktiskt fungerade i praktiken låter vi vara osagt, men säkert är att uppgiften var mycket klurig, och endast några få tävlande tog sig hela vägen till slutet.

I den tredje och sista uppgiften fick deltagarna, efter en varning om alkoholens skadliga hälsoeffekter, räkna på bubbelbildning, sprickande bubblor och fysiken kring själva öppningstillfället. Uppgiften testade därför deltagarnas kunskaper inom flera områden, bland annat fluid-dynamik, termodynamik och ytspänning. Den avslutande delen handlade om färgen på kondensen precis när en flaska champagne öppnas. Beroende på temperaturen dominerar antingen kristaller av koldioxid, vilket ger en blåaktig färg, eller så bildas stora mängder kondenserad vattenånga, vilket resulterar i den vanliga vita färgen. Det var deltagarnas uppgift att räkna ut vid vilka temperaturer de respektive fenomenen inträffar.

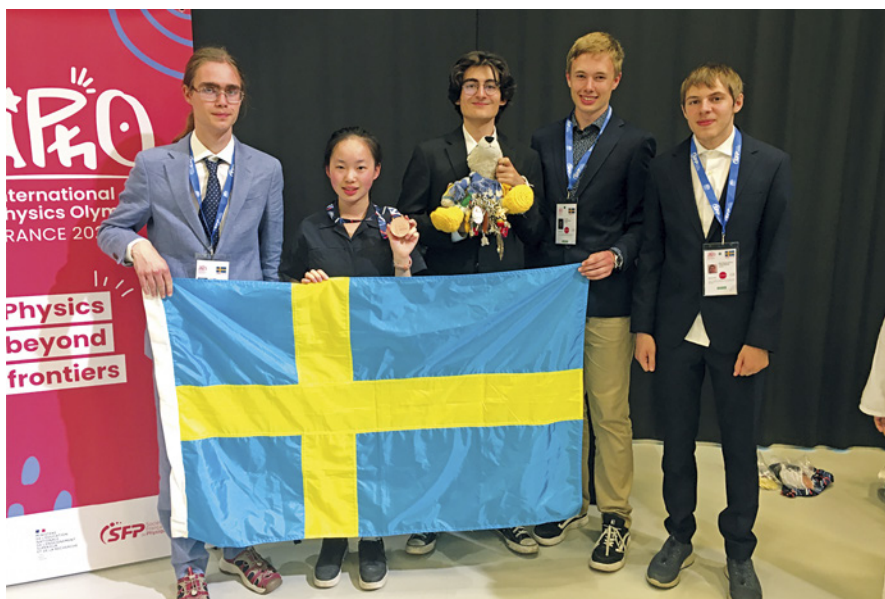


FOTO: OSKAR VALLHAGEN

Det svenska laget. Från vänster: Tor Lonnert, Leshi Zhang, Allan Ismail) med maskoten Sven, Erik Bengtsson och Noa Torstensvik.

Alla uppgifter hittas på IPhOs hemsida: www.ipho2025.fr/official-questions-ipho-france-2025. De var svåra, och framför allt omfattande, och segraren nådde bara 43 av 50 poäng.

Resultaten

Vann gjorde Lee Hyeekjoon från Korea. Bästa europé blev Stan Ionut-Gabriel från Rumänien med 37,6 poäng på plats åtta. Näst bäst var slovenen Aljaz Erman som med 32,0 poäng kom på plats 30. Den asiatiska dominansen består.

Bästa lag blev USA med fem guldmedaljer, följt av Kina, Korea och Hongkong med fyra guld. Estland tog tre silver, ett brons och ett hedersomnämmande (HM) – som vanligt imponerande med tanke på folkmängden. Danmark blev bäst i Norden med två brons och tre HM. Finland tog två brons och ett HM, Sverige ett brons och tre HM, och Island ett HM. Norge blev, i likhet med 11 andra länder, utan.

Trist tvist om framtiden

Olympiadens högsta beslutande organ är "International board", där en ledare från varje land har rösträtt. Vid dess senaste möte ifrågasattes beslutet som togs på IPhO 2024 i Iran att låta Ryssland arrangera IPhO 2030. I det beslutet deltog

endast 43 länder. Men IPhO-presidenten Rajdeep Singh Rawat försvarade beslutet in absurdum. Trots att han tidigare fått e-post om detta vägrade han tillåta en ny omröstning, trots att omkring dubbelt så många länder nu var närvarande. Han möttes av protester och den vanligtvis goda stämningen försvann. Det framhölls att om många länder inte vill/kan delta är olympiaden inte längre "International". Till slut blev han tvungen att tillåta en röstning om hur många länder som skulle vilja/kunna åka till Ryssland, som visade att 88 av de 132 ledare som röstade ansåg att deras land inte kunde/ville. Nu kommer sannolikt Ukraina att lämna in en "proposal" inför 2026 om att hålla en ny omröstning. Utfallet av en sådan är dock osäkert, då två tredjedelar av de närvarande röstberättigade behöver stödja beslut om framtida arrangörländer för att det ska bifallas.

Olympiaden 2026 kommer att anordnas 4–12 juli i Bucaramanga i Colombia.

Vi tackar Skolverket och Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond för det ekonomiska stöd som gör deltagandet i olympiaden möjligt.

ADAM WARNERBRING, OSKAR VALLHAGEN, MAX KESSELBERG
Lagledare



Resultatet av ett periodiskt kokat ägg med en (nästan) helt fast vita och en perfekt, krämig gula.

Termodynamiken bakom frukostägget

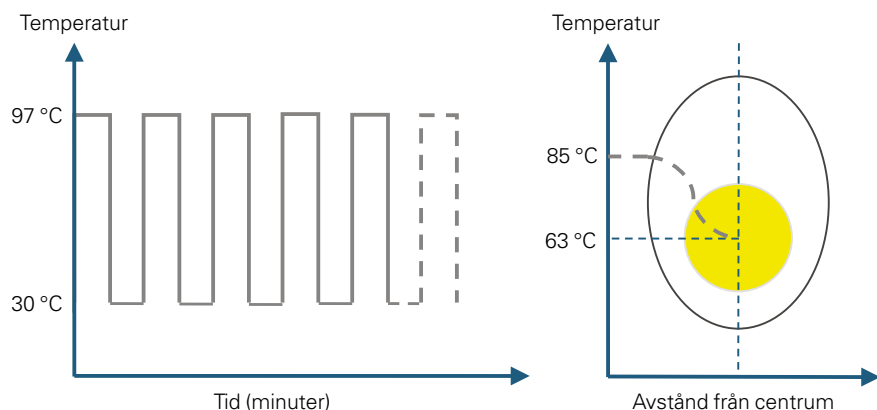
En yrvaken morgon slås man plötsligt av vilket utmanande värmeledningsproblem man försöker lösa där man står vid spisen i färd med att koka några frukostägg. Vi har att göra med två olika delar av **ägget** (vitan och gulan) med väldigt olika proteinsammansättningar och därför också olika måltemperaturer. Vi vill ha en fast och fin vita utan att gulan blir torr och smulig.

Varje år runt påsk dyker det upp olika förslag på hur man kan koka ägg och i litteraturen återfinns flera beskrivningar av hur huvudrollsinnehavarna vill ha sina ägg tillagade. Agatha Christies Hercule Poirot anser att det viktigaste är att hans två ägg är exakt lika stora (han har en poäng) och Ian Flemings James Bond har åsikter både om hur drin- kar ska serveras och hur frukostäggen ska kokas. Bond vill ha brunspräckliga, helt

färska ägg kokta i exakt 3 minuter och 20 sekunder (inte lika hårdkokta som karaktären). Vilken inverkan äggens färg har på resultatet har vi inte studerat, men form, storlek, tid och temperatur påverkar alla vilket resultat vi till slut får.

För några år sedan var det populärt med 63-graders ägg på finkrogarna. Med hjälp av en doppvärmare går det att kontrollera vattentemperaturen och därmed förhindra att ägget blir för varmt. Efter

30–60 minuter i 63-gradigt vattnet har äggen samma temperatur rakt igenom och gulan får en fantastisk len, krämig konsistens. Samtidigt visar metoden på utmaningarna med att koka ägg. Vid 63 grader har bara ett av proteinerna i vitan börjat stelna (ovotransferrin) och vitans konsistens påminner mest om ett nyöppnat ostron. En fast och fin vita får man vid 85 grader, men om gulan blir så varm så blir den torr och smulig.



Genom att periodisk variera temperaturen mellan 97 °C och 30 °C med 2-minuters intervaller under 30 minuter går det att få en temperaturgradient i ägget som gör så att både gulan och vitan blir korrekt tillagade.

Ett kul experiment med doppvärmaren är att visa hur kokta ägg blir på olika höjd allt eftersom kokpunkten sjunker – se LTH:s julkalender på www.youtube.com/watch?v=I9cY0SB0-Hw.

I Japan har det länge varit populärt med *Onsen tamago*. *Onsen* är de varma källorna som har gett upphov till sparutiner med samma namn. Temperaturen i det varma vattnet i källorna är tillräckligt hög för att en del av proteinerna i ägg ska börja stelna, men inte alla. Traditionen att lägga några ägg i en varm källa för att senare plocka upp dem och njuta av den mjuka, krämiga konsistensen är med andra ord mycket äldre än det molekylära kökets intåg i gastronomin.

DET ÄR ALLTSÅ INTE bara finkrogarna som experimenterar med äggkokning. Det görs i alla kulturer och även fysiker fascinerar av ägg. Vad sägs till exempel om artikeln ”Exploring non-equilibrium processes and spatio-temporal scaling laws in heated egg yolk using coherent X-rays” som publicerades i *Nature Communications* 2023, där en frielektronlaser används för att studera hur äggulans struktur påverkas när ägget kokas. I en annan artikel från 2025 har italienska forskare matematiskt modellerat kokningsprocessen för att optimera resultaten och kommit fram till att periodiserad uppvärmning är den bästa lösningen på randvärdesproblemet. Men vad är det optimala resultatet? Och varför är det så svårt att nå dit?

Lite förenklat kan vi säga att det



Ett periodiskt kokat ägg där gulan inte var centrerad i ägget. Den yttre delen av gulan är överkokt och en stor del av vitan har inte stelnat ordentligt.

handlar om tre olika proteiner som koagulerar vid tre olika temperaturer. (Se *Fysikaktuellt* 3/2023 för diskussion om fler proteiner i ägg). Vi vill att äggulan ska få en jämn temperatur på 63–65 grader. Då börjar lipoprotein stelna, men vi har ännu inte fått den hårda, lite smuliga konsistensen som uppstår vid 70 grader. Samtidigt ska vitan helst ha värmts upp till 85 grader för att få en fast och fin konsistens.

VI TESTAR DEN OPTIMERADE metoden med periodisk kokning. Två grytor med

vatten värms upp och hålls konstant vid 30 °C respektive 97 °C. Äggen flyttas sedan mellan de två vattenbadens varannan minut i 30 minuter. Receptet är framtaget genom att optimera randvärdesproblemet för äggkokning med rätt temperaturprofil som slutresultat. Resultatet är överraskande trevligt. Det varma vattenbadet gör att (nästan) hela vitan passerat 85 grader och är fint stelnad, medan den periodiska avkyllningen gör att gulan inte blir för varm. Den långa koktiden resulterar i en lätt krämig konsistens.

Nackdelen med metoden är uppenbar. 30 minuters övervakad tillagning är kanske inte vad man önskar sig innan frukosten, men det kan vara kul att prova någon gång.

Vi frågar oss om man inte istället kan värma hela ägget till 63 grader utan övervakning och sedan snabbt värma upp äggen i kokande vatten. Då kan man ta morgonduschen i lugn och ro medan den första uppvärmningen sköter sig själv. Metoden fungerar ganska bra, men resultatet blir inte lika tydligt som vid den periodiska kokningen. Efter två minuter i kokande vatten har vitan på 63-graders äggen nästan stelnat helt, men redan efter 3 minuter har gulan börjat bli överkokt. Här behövs ytterligare optimering av tiden, och kanske också en nedkyllning mellan uppvärmningarna.

VI NOTERAR OCKSÅ ATT gulans placering i ägget är av central vikt för att uppnå den eftersträfvade mål bilden. Om gulan är placerad nära kanten kan den periodiska kokningen resultera i att halva gulan är krämig och halva smulig. På samma sätt kan en del av vitan ha stelnat och en del ha den karaktäristiska ostronkonsistensen. Vid jämförande försök rekommenderas också ägg av samma storlek à la Hercule Poirot (för värmeöverföringen), och motsvarande färskhet (för sammansättningen).

Vi önskar er flera trevliga termodynamiksexperiment på spisen, men konstaterar av vi framöver kommer att göra som James Bond i de tidiga böckerna och äta våra frukostägg scrambled.

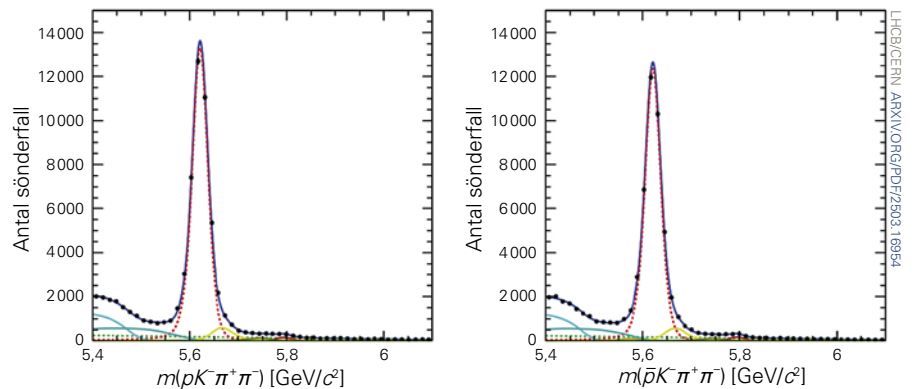
JOHAN MAURITSSON OCH MALIN SJÖÖ
Lunds universitet

CP-brott i baryoner

LHCb-experimentet vid CERN har för första gången observerat skillnader mellan materia och antimateria hos partiklar bestående av tre kvarkar, eller *baryoner*. Detta är en viktig milstolpe i utforskandet av **skillnaden mellan materia och antimateria**, som syftar till att förstå varför universum nästan uteslutande består av materia.

Enligt kosmologins standardmodell skapades lika andelar materia och antimateria vid Big Bang, och när de möttes annihilades båda. Om andelarna hade varit exakt lika stora skulle allt ha annihilats, men en liten rest av materia blev kvar – fröet till dagens galaxer, stjärnor, planeter och biologiska liv. De flesta fysiker utgår från att en ännu okänd mekanism i det tidiga universum gav upphov till det materiaöverskott som finns idag. Även om detaljerna är okända vet vi att tre grundläggande kriterier måste vara uppfyllda. En av dessa är att det finns processer som bryter *CP-symmetrin*. En CP-symmetrisk process innebär att fysikens lagar är samma om man byter ut en partikel mot dess antipartikel (*C* från engelskans *charge conjugation*) och samtidigt spegelvänder rummet (*P* från engelskans *parity*).

Standardmodellen i elementarpartikelfysik innehåller en mekanism som bryter CP-symmetrin vid övergångar mellan olika kvarktyper genom den svaga växelverkan. Kvarkar finns i sex varianter: *upp*, *ned*, *sär*, *charm*, *botten* och *topp*. Mekanismen parametreras av en 3×3



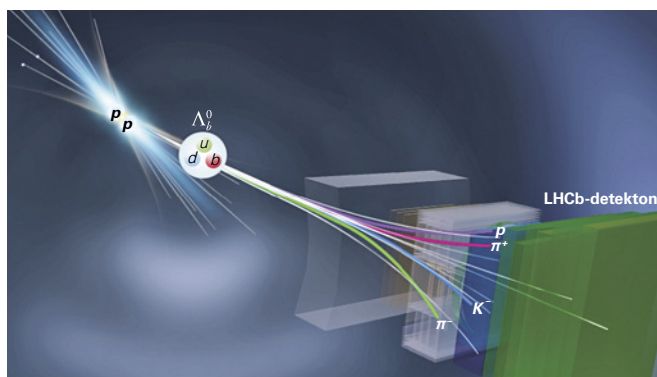
FIGUR 2 Massfördelning för sönderfallsprodukter för Λ_b^0 (vänster) och $\bar{\Lambda}_b^0$ (höger). De olika färgerna markerar olika sönderfallsprodukter. Λ_b^0 sönderfaller ungefär 2,5 % oftare till sitt sluttillstånd – ett tydligt tecken på CP-symmetribrott.

komplex matris (CKM-matrisen) vars element anger sannolikheterna för kvarkomvandlingar, men som också introducerar en komplex fas i amplituden. Det är denna fas som, genom kvantmekanisk interferens, ansvarar för standardmodellens CP-symmetribrott¹.

Att det existerar processer i naturen som bryter CP-symmetrin upptäcktes 1964 i sönderfall av mesoner – partiklar bestående av kvark-antikvarkpar som innehåller *särkvarkar*. Sedan dess har CP-

brott ytterligare bekräftats i sönderfall av bottenmesoner och charmmesoner. CP-symmetribrott har mätts med god precision i många sönderfall och resultaten stämmer överens med förutsägelseerna från CKM-mekanismen. Men eftersom CKM-mekanismen bara kan förklara en bråkdel av universums totala materia-antimateriasymmetri, behövs det fler bidragande orsaker. Ett sätt att söka efter andra mekanismer är att mäta avvikelser från CP-symmetrin och jämföra dem med motsvarande förutsägelser från CKM-mekanismen.

FIGUR 1 För den CP-brytande mätningen skapades Λ_b^0 genom hög-energetiska proton-protonkollisioner, som sedan sönderfaller till elektriskt laddade partiklar – en proton, en kaon och två pioner, som rekonstrueras i LHCb-detektorn.



LHCb-EXPERIMENTET VID LHC I Genève har ett rikt program av precisionsstudier av CP-symmetri, och experimentet publicerade nyligen upptäckten av CP-symmetribrott i sönderfall av baryoner

¹ Det finns en liknande mekanism för neutriner men än så länge har man inte kunnat verifiera att den komplexa fasen i neutrino-sektorn är nollskild.

– partiklar som, likt protonen och neutroner, består av kvarktripletter.

Upptäckten gjordes genom att studera bottenbaryonen, Λ_b^0 , som består av en *upp*, en *ned* och en *bottenkvark*, och dess antipartikel $\bar{\Lambda}_b^0$. Den tunga och relativt kortlivade baryonen sönderfaller till mer stabila partikelkonfigurationer, i detta fall, $pK^+\pi^-\pi^-$ (figur 1). Om CP-symmetrin är bevarad ska sönderfallskedjan för Λ_b^0 och $\bar{\Lambda}_b^0$ vara lika frekvent förekommande, men mätningen visade att Λ_b^0 -baryonen sönderfaller ungefär 2,5 % oftare till sluttillståndet än sin antipartikel-motsvarighet (figur 2).

Antalet Λ_b^0 - och $\bar{\Lambda}_b^0$ -sönderfall som registreras påverkas också av eventuella asymmetrier i produktionen av dessa partiklar och i detektionen av de två sönderfallen. När dessa effekter korrigerats i dataanalysen är den statistiska signifikansen för observationen 5,2 standardavvikelser. Närmare studier visar att de kortlivade resonanserna av andra partiklar som finns i sönderfallet både kan öka och minska CP-asymmetrin, eftersom den kvantmekaniska interferensen skiljer sig mellan de olika sönderfallsvägarna. LHCb har även studerat sönderfallskanalerna $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+ K^-$ och $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p \pi^-$, som visar tecken på CP-symmetribrott men med en signifikans av 3,1 och 3,9 standardavvikelser, och mer data behövs för att fastställa att CP-symmetrin är bruten i dessa sönderfall.

LHCb BEFINNER SIG NU i en tredje datainsamlingsperiod, med ett planerat produktionsstopp i mitten av 2026. Med den nyinsamlade datamängden fortsätter arbetet med att förstå vad som hände vid universums födelse, då materia och antimateria gick skilda vägar.

LARS EKLUND

Professor, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet

PATRIK ADLARSON

Forskare, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet

Läs mer

LHCb Collaboration. "Observation of charge-parity symmetry breaking in baryon decays", *Nature* 643, 1223–1228 (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09119-3>

75 år av jakt på symmetribrott

Till vardags ser vi många exempel på symmetribrott. Sannolikheten för att en snäcka i trädgården eller på stranden ska vara en högerskruv är överväldigande, medan kaprifoler och humle bildar vänsterskrivar. Kan det finnas skillnader även på partikelnivå?

Under lång tid tog fysiker för givet att elementarpartiklar och deras växelverkan var spegelsymmetriska. Det var länge så självklart att man inte ens undersökte det.

Norman Ramsey började 1950 fundera över varför elementarpartiklar inte kunde ha elektriska dipolmoment (EDM). Han kontaktade kollegan Edward Purcell, vilket resulterade i en artikel där de skriver: "Argumentet mot elektriska dipoler kommer direkt från frågan om spegelsymmetri [*parity*]. En kärna med ett elektriskt dipolmoment skulle uppvisa en asymmetri mellan vänster- och högerorienterade koordinatsystem. I ett system skulle dipolmomentet vara parallellt med rörelsemängdsmomentet, och i det andra anti-parallellt." De påbörjade experiment, men resultaten publicerades inte förrän 1957, alltså samma år som Tsung-Dao Lee och Chen-Ning Yang tilldelades Nobelpriset för att de föreslagit paritetsbrott som en möjlig förklaring på observationer av K-mesoners sönderfall.

CHIEN-SHIUNG WU BLEV den första att visa experimentellt att pariteten inte är bevarad i beta-sönderfall, när hon studerade beta-sönderfall av kobolt-60 och upptäckte att fler elektroner flög ut från sydpolen av kärnans magnetiska moment än från nordpolen.

Beta-sönderfallet bryter alltså mot spegelsymmetri, *P*, men också mot *C* – symmetri mellan materia och antimateria. Ett elektriskt dipolmoment för neutronen skulle inte bryta mot *C*, men däremot mot kombinationen CP. Det

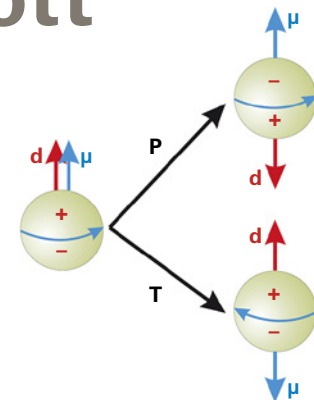


Illustration av symmetribrott för ett elektriskt dipolmoment för en neutron.

bryter också mot tidssymmetri, *T*, som också kan ses som att alla rörelser skulle byta riktning.

NÅGRA ÅR EFTER upptäckten av paritetsbrott i beta-sönderfall visade James Cronin och Val Finch år 1964 att K-mesonernas sönderfall också bröt mot CP. Upptäckten belönades med Nobelpriset i fysik 1980. Längre var just detta sönderfall det enda där CP-brott hade observerats. Senare har ett fåtal andra experiment visat CP-brott.

Norman Ramsey (som dock dog 2011) och hans medarbetare fortsatte sökandet efter ett EDM hos neutroner. Det är fortfarande "noll-experiment", det vill säga resultatet ger en övre gräns på hur stort det skulle kunna vara. Gränsen har blivit lägre och lägre, och fortsätter att sjunka (se arxiv.org/pdf/2103.01898). Den nuvarande gränsen svarar mot att en elektronladdning skulle ha flyttats ungefär 10^{-28} m. Detta kan jämföras med neutronens storlek, som är ungefär en femtometer.

ANN-MARIE PENDRILL

Professor emerita, Göteborgs universitet

Läs mer

"On the Possibility of Electric Dipole Moments for Elementary Particles and Nuclei", *Phys. Rev.* 78, 807 (1950)

Martin Gardner, *The New Ambidextrous Universe* (1990) s 213

Bordtennisen fysik

Bordtennis, eller **pingis** som vi ofta säger, har gamla och stolta traditioner i Sverige. Skälet är egentligen enkelt: sporten kräver så lite. Det räcker med ett bord, nät, en boll, några racketar och ett något så när tomt rum.



FOTO: MARKUS VOCKRODT/PIXABAY

Antagligen har nästan alla läsare någon gång spelat pingis, som spelas av en eller två personer på varje sida av bordet. Många har nog också spelat rundpingis, som är en av pingisens sociala funktioner. Att pingisen har fått ett starkt ökat intresse i Sverige på senare tid beror mycket på Truls Möregårdh. Hans "ormslag" ("snake shot") mot en av världens främsta spelare, kinesen Fan Zhendong, i finalen i OS 2024 har blivit en viral succé på Youtube. Vi kommer tillbaka till det slaget i slutet på artikeln.

Det finns ytterligare en anledning till sportens popularitet: den kan utövas i alla åldersgrupper. Pingisen passar synnerligen väl som motionsidrott när man kommer upp i åren. Den tränar snabbhet och reaktionsförmåga, och i motsats till många andra idrotter är skaderisken mycket liten. Det har också visat sig att bordtennis har en positiv effekt på patienter med Parkinsons sjukdom. "Pingis Parkinson" är ett nationellt projekt för att öka antalet spelare som drabbats av sjukdomen.

De viktigaste reglerna som gäller för

Regler för bordtennis

Bordet

Bordets övre yta, "spelytan", ska vara rektangulär, 274 cm lång och 152,5 cm bred, och ligga horisontellt 76 cm över golvet.

Nätställningen

Nätställningen består av nätet, dess upphängningsanordning och två 15,25 cm höga lodräta stolpar på varsin sida av bordets mittpunkt. Den övre nätkanten ska i hela sin längd vara 15,25 cm över spelytan (den absurda noggrannheten har historiska orsaker).

Bollen

Bollen ska vara klotrund med 40 mm diameter och väga 2,7 gram. Den ska vara av plastmaterial, och den ska vara vit eller orange och matt.

Racketen

Racketen får ha vilken storlek, form och vikt som helst, men bladet ska vara plant och oböjligt. Det finns omfattande regler gällande racketen, men vi går inte närmare in på dem.

bordtennis är samlade i rutan här ovan. Racketutvecklingen har genom åren förändrat sporten, men det skulle leda för

långt att i denna artikel ingående analysera denna utveckling. För den som vill följa sportens utveckling genom decennierna finns utmärkta klipp enkelt tillgängliga på Youtube.

Bordtennisen fysik är i grunden mycket enkel. Med givna begynnelsevärden för hastighet, riktning och rotation (skruv), som bestämts genom tillslaget med racketen, bestäms en pingisbolls bana av endast tre krafter: gravitationen och de två aerodynamiska krafterna luftmotståndet och Magnuseffekten (som beror på bollens hastighet och rotation). Eftersom pingis i stort sett endast utövas inomhus så kan vi helt bortse från variationer i parametrar för de tre krafterna. Spelare på elitnivå kan ha synpunkter på hur de upplever en idrottsbana, men detta är rent subjektiva upplevelser och några objektiva kriterier som till exempel finns för aukustik, finns inte.

En pingsboll kan fysikaliskt beskrivas som en ihålig sfär med ett tunt, homogent och, i det närmaste, oelastiskt skal. Därmed uppstår inga vibrationer när bollen kolliderar med bordet eller med en

Grundläggande krafter

■ **Tyngdkraften** $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$
 m är bollens massa, 2,7 gram, och g är tyngdaccelerationen, 9,8 m/s²

■ **Friktionskraften mot luft** (Air Drag)

$$\vec{F}_D = -0,5 \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot \vec{v}$$

v är bollens hastighet (m/s),
 A bollens tvärsnittsarea ($1,26 \times 10^{-3}$ m²),
 ρ är luftens densitet ($1,2$ kg/m³), och
 C_D är en luftmotståndskoefficient (vanligen 0,2).

■ **Magnuskraften** (Air Lift, Dynamic lift, Magnus Force)

$$\vec{F}_L = 0,5 \cdot C_L \cdot \rho \cdot A \cdot r \cdot (\vec{\omega} \times \vec{v})$$

v är bollens hastighet, A bollens tvärsnittsarea, ρ luftens densitet, r är bollens radie (0,02 m), $\vec{\omega}$ bollens rotationshastighet (radianer/s), och C_L en luftmotståndskoefficient för en roterande boll (vanligen 1,23). I denna artikel diskuterar vi endast de fall när de två vektorerna i kryssprodukten är ortogonala.

Dessa krafter gäller när bollen rör sig i en bana genom luften.

När bollen kolliderar med bordet eller racketen kommer friktionskraften mellan boll och bord respektive boll och racket in i bilden. Dessa friktionskrafter är för komplicerade att beskriva med enkla formler, och särskilt kollisionen mellan boll och racket beror mycket på racketens material, som kan ha en stor variationsrikedom beroende på spelstil.

racket. Detta förenklar den fysikaliska beskrivningen.

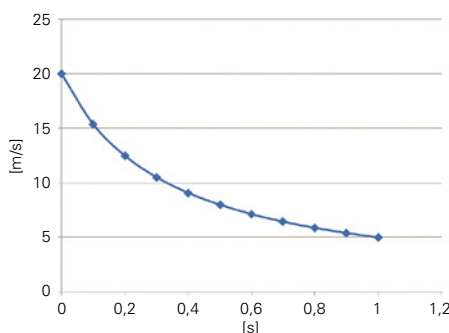
Serven

Spelets sätts igång av att en spelare servar. Bollen ska vila i spelarens öppna hand, som ska hållas utanför bordet och hela tiden vara synlig för motståndaren. Spelaren kastar upp bollen vertikalt och utan rotation. Den måste nå en höjd av minst 16 cm ovanför handen. Spelaren kan sedan vid tillslaget med sin racket skruva bollen för att ställa till problem för motståndaren. Bollen måste först kollidera med bordet på servarens sida en gång innan den går över till motståndarens sida, där den också ska träffa bordet en gång. Serven är enda gången en spelare får slå bollen mot den egna bordshalvan. Spelaren har full frihet att kasta bollen högre än 16 cm, så att den på grund av gravitationen får lite högre hastighet nedåt, när tillslaget med racketen kommer. Det finns spelare på världsnivå som kastar upp bollen ett par meter, men variationen är stor på den nivån.

En pingisspelare använder i huvudsak tre typer av slag: smash, överskriv och underskriv. De två skruvslagen kan också varieras genom att kombineras med sidoskriv.

Smash

Smashen är bortennisens hårdaste slag. Bollen får ingen rotation, vilket gör att bollbanan enbart bestäms av gravitationen och luftmotståndet. Vid en hård smash kan bollen ha en hastighet av 20 m/s när den lämnar spelarens racket. Figur 1 visar hur hastigheten avtar som funktion av tiden under den första sekunden. Efter



FIGUR 1 Bollens hastighet under den första sekunden efter en smash. Utgångshastigheten när bollen lämnar spelarens racket är 20 m/s, men efter en sekund är hastigheten nere i beskedliga 5 m/s.

en sekund är farten beskedliga 5 m/s, vilket motsvarar hastigheten när två spelare bollar fram och tillbaka med lösa slag. Hastighetsminskningen beror helt och hållet på luftmotståndet, som är proportionellt mot v^2 , alltså hastigheten i kvadrat.

En bollsäker spelare som rör sig en bra bit från bordet kan invänta bollen, som

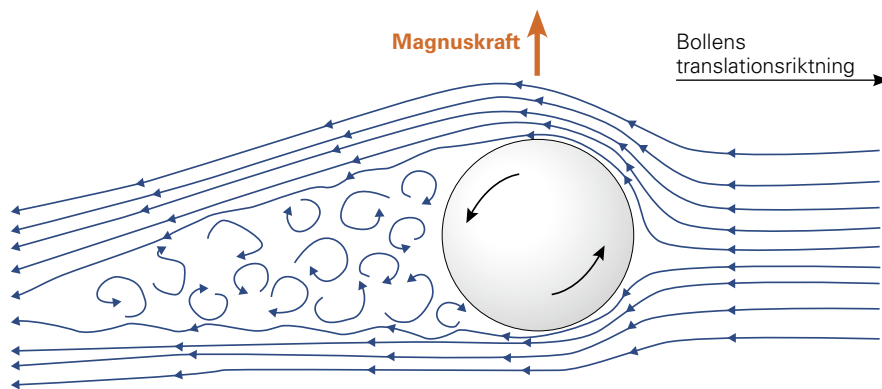
ju dras nedåt av gravitationen, och sedan lägga den högt tillbaka på motståndarens sida utan att sätta bollen i rotation, på pingisspråk kallat "ballongplock". Motståndaren slår smash efter smash och kan till slut göra ett misstag.

Skruvslag

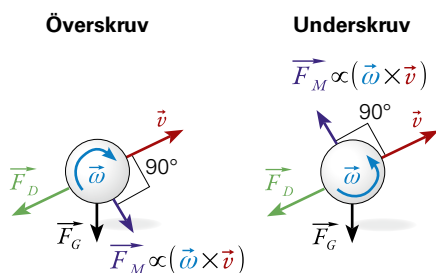
En riktigt bra pingisspelare behärskar att skruva bollen på olika sätt med ett tillslag av racketen, det vill säga att sätta bollen i rotation samtidigt som den ges en translation. Dessutom måste spelaren kunna "läsa" hur motståndaren skruvar bollen och avgöra hur returslaget ska utföras för att eliminera motståndarens skruv, och helst åstadkomma ett slag som ger motståndaren svårigheter att i sin tur returnera bollen.

Innan vi går in på över- och underskrivade slag, måste Magnus-effekten förklaras.

Figur 2 illustrerar hur molekylerna påverkas i luftlagret närmast en roterande pingisboll när den rör sig efter ett tillslag av racketen. Friktionen mellan bollens yta ►



FIGUR 2 Bollen har fått en translationsrörelse och en rotationsrörelse (i detta fall en underskriv) genom ett tillslag med racketen. Luftströmmens riktning är motsatt translationsrörelsen. Den övre bollhalvan roterar då i samma riktning som luftströmmen, vilket ger ett lägre tryck än för den nedre bollhalvan. Detta ger en uppåtriktad nettokraft, Magnuskraften.

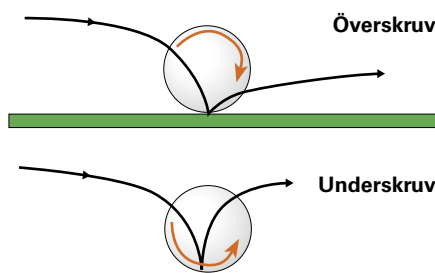


FIGUR 3 De två bilderna visar krafterna på en pingisboll som slagits med de två skruvslagen, överskruv respektive underskruv. Tillslaget med racketen har givit bollen translationshastigheten v m/s och rotationshastigheten ω (radianer/s). En överskruvad boll pressas nedåt av Magnuskraften, F_M , medan en underskruvad boll pressas uppåt.

► och luftlagret närmast bollen åstadkommer att luftmolekylernas hastighet ökar på övre sidan av bollen och minskar på den undre. Bernoullis princip innebär att lufttrycket blir lägre där hastigheten ökar, och högre där hastigheten minskar. Tryckskillnaden på bollens sidor genererar en kraft på bollen, vinkelrät mot translationsrörelsen och riktad uppåt där molekylnas hastighet ökar (se figur 3). Effekten kallas Magnus-effekten och kraften Magnuskraften, efter den tyske fysikern Heinrich Gustav Magnus (1802–1870). Effekten upptäcktes faktiskt

redan på 1600-talet när bland andra Isaac Newton lade märke till hur en boll svänger i luften. Den finns dokumenterad i *New Theory of Resistance of Fluids*, 1672, och senare i *Principia*, 1687.

Skruvn påverkar bollens bana i hög grad efter att den studsar mot bordskivan. Det gäller såväl studsarna på den egna bordshalvan vid serve-slag som på motståndarens bordshalva efter returslag. Bollens riktning efter studs är beroende av typen av skruv – överskruv, underskruv eller sidoskruv. Studsen mot den passiva



FIGUR 4 Illustration av skillnaden mellan hur en överskruvad och underskruvad boll rör sig efter studs i bordet. En överskruvad boll får en betydligt flackare rörelsebana efter studs än en underskruvad. Studsen i bordet ändrar inte bollens rotationsriktning.

bordsytan ändrar inte bollens rotationsriktning. Friktionen mellan bordet, som har en matt yta, och bollen påverkar bollens rörelse efter studs.

När en överskruvad boll träffar bordet trycks den nedåt mot bordsytan av Magnuskraften och rotationen ger bollen en acceleration framåt – friktionskraften blir framåtriktad. Om rotationen/skruvn är hög kan bollytan i kontaktpunkten glida något bakåt. För den överskruvade bollen medför detta att utgångsvinkeln efter studsarna blir tydligt mindre än ingångsvinkeln före studsarna och en del av rotationen övergår i translation. För en överskruvad boll med hastigheten 15 m/s och rotationen 754 radianer/s (120 varv/s) fördelar sig translations- och rotationsenergin ungefär lika.

När en underskruvad boll träffar bordet bromsas den – friktionskraften blir bakåtriktad. Eftersom Magnuskraften lyfter bollen blir trycket mot bordsytan mindre och bollen kan glida lättare. I detta fall minskar både rotationen och translationen. Studsen blir mera uppåtriktad än i fallet med överskruv. Figur 4 illustrerar skillnader mellan hur över- och underskruvade bollar studsar mot bordsytan.

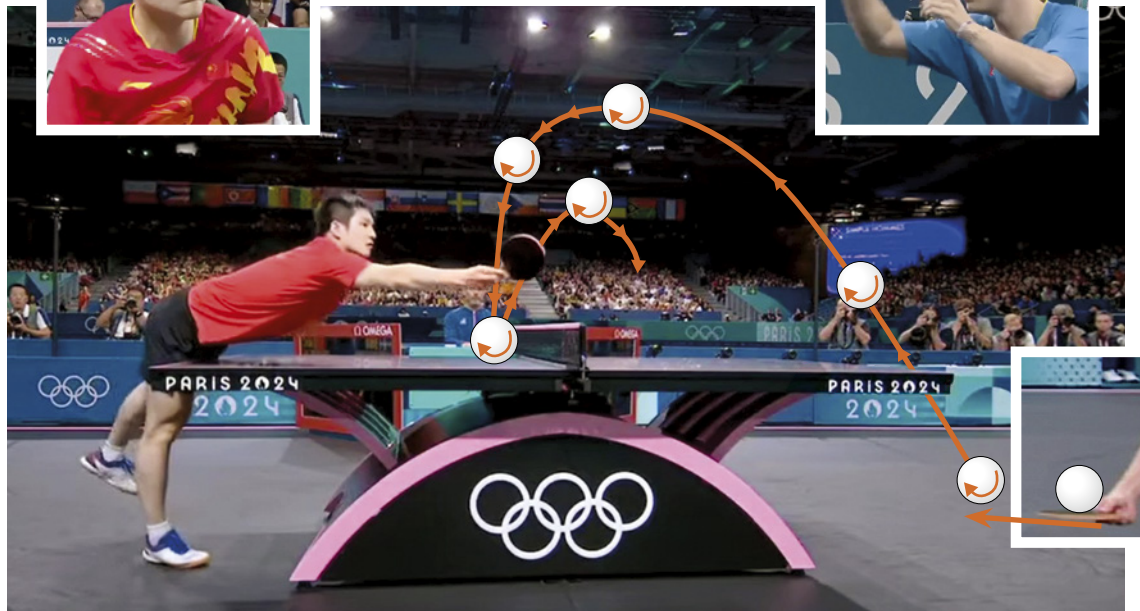
FIGUR 5 Illustration av Truls Möregårdhs "ormslag" i OS-finalen mot Fan Zhedong i Paris 2024. Tillslaget – bilden längst ned till höger – nära golvet med stark underskruv skickar iväg bollen i en hög lyra över bordet. Strax efter nätpassagen dyker bollen nästan lodrätt. Vid träffen i bordet studsar bollen bakåt så att Fan Zhedong inte når bollen när han ska returnera den.

Storleken på den inritade bollen har överdrivits.

Fan Zhedong (樊振东)



Truls Möregårdh



SKÄRMKLIPP FRÅN YOUTUBE

Vi har fokuserat på de grundläggande skruvslagen, överskruv och underskruv. Krafterna (se figur 3 och 4) som styr hur bollarna rör sig gäller även för bollar som är sidskruvade. För sidskruvade bollar skiljer sig vinkeln mellan vektorerna för translationsriktningen och rotationsriktningen från de rätta vinklarna som gäller för överskruvade och underskruvade bollar (figur 3).

Ormslaget

Som avslutning ska vi beskriva det så kallade ormslaget, som Truls Möregårdh slog i OS-finalen 2024 (se figur 5). Slaget är mycket kraftigt underskruvat. Det finns också en liten sidskruv i slaget, men vi bortser från denna. Truls slog det nära golvet och det riktades uppåt/framåt och högt över bordet. Magnuskraften, som är riktad uppåt, vinkelrätt mot translationsriktningen, är till en början stor eftersom både rotationshastigheten och translationshastigheten är stora. Gravitationskraften drar bollen nedåt, lodrätt. Luftmotståndskraften är riktad motsatt translationsriktningen.

Magnuskraften avtar efterhand, eftersom både translationshastigheten och rotationshastigheten avtar. Detta medför att bollbanan blir en båge över bordet och när bollen närmar sig motståndarens bordshalva har bollen bromsats så att translationshastigheten i det närmaste försvunnit – och därmed också Magnuskraften. Bollen dyker lodrätt eftersom den nu huvudsakligen påverkas av gravitationskraften. Bollen roterar fortfarande, men eftersom farten nedåt är liten är Magnuskraftens påverkan obetydlig. Slutligen: när bollen träffar bordet, nära nätet, studsar den tillbaka över nätet, bort från motståndaren, som inte når bollen. Succé!

MATS LARSSON

Stockholms universitet

ÖRJAN SKEPPSTEDT

Stockholms universitet
och tidigare Chalmers

Båda författarna spelar aktivt pingis.

Svagt om kvantmekanik

Helgoland

Carlo Rovelli

Förlag: Fri tanke

Utgivningsår: 2022

ISBN: 978-91-891393-6-7



■ Titeln *Helgoland* syftar på den karga ön i Tyska bukten i sydöstra Nordsjön, cirka 70 kilometer från den tyska kusten. Man kan fråga sig varför den italienske teoretiska fysikern Carlo Rovelli skriver en bok om kvantmekanik med den titeln, men förklaringen är enkel. Det var till Helgoland den unge Werner Heisenberg reste från Göttingen för att komma över sitt allergiska problem med hönsnuva. Hur mycket som är myt och hur mycket som är verklighet vet jag inte. Att Heisenberg var på Helgoland 1925 är helt klart, men den enda redogörelsen för vad han verkligen gjorde på Helgoland baseras på hans egen bok *Delen och helheten*, som skrevs många år senare. Nu spelar det ingen roll – vad vi vet är att Heisenbergs artikel där han ställer upp den nya kvantmekaniken ankom till *Zeitschrift für Physik* den 29 juli, 1925, där den publicerades några månader senare.

Jag har tidigare inte läst något av Rovelli. Hans forskningsområde är kvantgravitation, men han har också gjort pionjärinsatser inom den tolkning av kvantmekaniken som är bokens tema. Rovelli börjar sin historiska genomgång med Max Planck kring sekelskiftet till 1900-talet. Han gör ett dåligt jobb, men det kan förlåtas, de flesta som skriver om vad Planck gjorde gör det slarvigt och felaktigt. När Rovelli kommer till Heisenberg är det betydligt bättre, och beskrivningen av Heisenbergs intuitiva uppställande av kvantmekaniken är bra. Att Heisenberg är Rovellis favorit är uppenbart, Erwin Schrödinger får en annan behandling – med ett par sidor om hans vidlyftiga kvinnohistorier, som inte bidrar till någon förståelse om vad han faktiskt gjorde. Rovelli berättar om hur han själv för första gången studerade kvantmekanik med Paul Diracs lärobok från 1930, som han anser den bästa lärobok som skrivits om kvantmekanik, men Dirac spelar där efter en undanskymd roll i boken.

För att vara en bok som handlar om tolkningen av kvantmekaniken är den förvånansvärt kortfattad om viktiga milstolpar. Det viktiga arbetet av Einstein-Podolsky-Rosen från 1935 omnämns inte och Bells olikhet, som John Stewart Bell härledde i sitt extremt viktiga arbete från 1964, och som gjorde att det fanns möjlighet att experimentellt testa kvantmekaniska tolkningar (Nobelpris i fysik 2022, efter att Rovellis bok publicerats på italienska), avhandlas på en halv sida och är dessutom obegriplig.

Boken innehåller bara ett par figurer och de är inte bra. Figurtexterna kunde varit bättre förklarande.

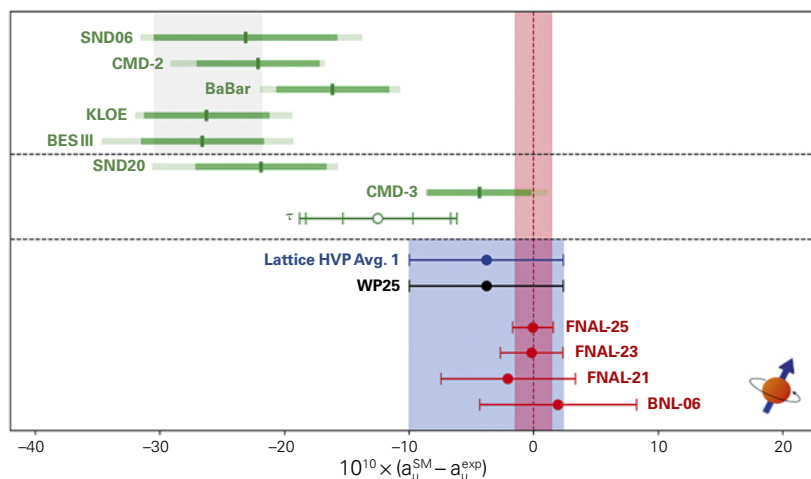
När Rovelli diskuterar sammanflätning, ett av de mest förbryllande kvantmekaniska fenomenen, tar han som exempel det spektakulära experimentet som genomfördes med en kinesisk satellit, *Micius*. Med den lyckades man visa sammanflätning av fotonpar över ett avstånd av 1 200 km. Vad Rovelli inte nämner är att det inte finns något avståndsberoende för sammanflätning och att utfallet av ett experiment kan beräknas med standardvarianten av kvantmekaniken.

Rovellis huvudpunkt är den relationella tolkningen av kvantmekaniken. Ett kvantmekaniskt system beskrivs av relationen mellan systemet och observatören. Utifrån denna tolkning får man sedan följa utflykter till österländsk filosofi och relationen mellan Lenin och en annan bolsjevik, Alexander Bogdanov. Kapitlet om Lenin och Bogdanov hade kunnat bära titeln "Ernst Mach" – den österrikiske fysikern och filosofen är, enligt mig, den största behållningen med kapitlet.

Kan man lära sig kvantmekanik genom att läsa boken? Nej, det kan man inte. Men för den som redan kan kvantmekanik och är intresserad av tolkningar av den så är boken läsvärd. Den stora svagheten med den relationella tolkningen, och detta måste framhållas är en mycket stor svaghet, är att Rovelli inte föreslår ett enda experiment som skulle kunna etablera den.

MATS LARSSON

Professor, Stockholms universitet



FIGUR 1 Jämförelse mellan teori (svart, WP25) och experiment (rött band). De blå och gröna punkterna visar teoretiska förutsägelser från gitter-QCD (blå) och dispersions-teori (grön). Att inte alla gröna punkter överensstämmer med varandra visar att några data måste vara felaktiga. Figuren är tryckt med tillåtelse av Muon g-2 Theory Initiative.

Teori och experiment eniga

Det slutgiltiga resultatet från **Fermilabexperimentet** överensstämmer med nuvarande teori. Det finns alltså ingen ny fysik att se i myonens magnetiska moment.

Vår nuvarande förståelse för vilka elementarpartiklar som finns och hur de växelverkar sammanfattas i partikelfysikens standardmodell (läs mer i *Kosmos* 2023). Trots att standardmodellen fungerar mycket bra för att beskriva till exempel partikelkollisioner i experiment på CERN, vet vi med säkerhet att den inte räcker till för att fullt ut beskriva verkligheten: Vad är mörk materia, som astronomiska observationer säger oss måste finnas, och varför finns det nästan ingen antimateria i universum? Från dessa obesvarade frågor kan vi sluta oss till att det måste finnas nya, hittills okända partiklar att upptäcka i experiment. Partikelfysikerns främsta uppgift idag är därför att leta efter den nya fysiken och därigenom komplettera standardmodellen.

På Fermilab i USA har man under ett drygt årtionde arbetat med en precisionsmätning av myonens magnetiska moment, för att vidare undersöka en tidigare observerad avvikelse från den dåvarande

teoretiska förutsägelsen som skulle kunna bero på vår modells saknade partiklar. Experimentet är nu avslutat, det teoretiska värdet uppdaterat och det slutgiltiga resultatet av precisionstestet tillkännagavs i början av juni.

Det magnetiska momentet är en egenskap som beskriver hur ett kvantmekaniskt spinn växelverkar med ett omgivande magnetfält (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2020). I Fermilabexperimentet och dess föregångare på Brookhaven National Laboratory lät man myoner färdas i en cirkulär bana genom ett starkt magnetfält ortogonalt mot rörelseplanet. Detektorer kring banan uppmätte positroner skapade i myonernas sönderfall, från vilka Larmorfrekvensen och därmed det magnetiska momentet a_μ kunde bestämmas.

Fermilab släppte resultat i tre omgångar, 2021, 2023 och juni 2025, med en slutgiltig precision bättre än en faktor fyra jämfört med Brookhavens mätning. Det experimentella medelvärdet är $a_\mu^{\text{exp}} = 0,00116\,592\,0715(145)$ [124 ppb]

med en relativ precision på imponerande 124 ppb.

Parallellt med de experimentella mätningarna har den globala samman slutningen Muon g-2 Theory Initiative arbetat hårt för en uppdaterad teoretisk förutsägelse från standardmodellen, och svenska forskare har spelat en central roll i detta arbete. Intresset för det nya värdet har varit väldigt stort på grund av den sedan länge kända diskrepansen mellan teori och experiment. Som planerat släpptes värdet dagarna innan Fermilab tillkännagav sin mätning, och lyder

$$a_\mu^{\text{teori}} = 0,00116\,592\,0330(620) \text{ [530 ppb]}$$

JÄMFÖR VI TEORI MED experiment (figur 1) ser vi direkt att de överensstämmer, även om den teoretiska förutsägelsen har en större osäkerhet. Med ovanstående värden och precision finns det alltså inte längre någon diskrepans och därmed inte heller någon ny fysik att se i myonens magnetiska moment. Att situationen har ändrat sig så drastiskt sedan den senaste

uppdateringen 2020 beror på att man upptäckt ett fel i indata till den traditionellt använda metoden dispersionsteori, som behövs för att ta hänsyn till den starka kärnkraften och hadroner. Dessa indata kommer från separata mätningar vid kollisionsexperiment av elektroner och positroner, och i framtiden kommer teoretiker tillsammans med experimenter att arbeta hårt för att se vad felet beror på. För det senaste a_μ^{teori} användes istället en annan metod som kallas gitter-QCD, där den starka kärnkraften simuleras på superdatorer. Med fortsatta storskaliga gitterberäkningar och kontroll över inputen till dispersionsteori i framtiden kommer osäkerheten i a_μ^{teori} systematiskt förbättras tills den når samma nivå som a_μ^{exp} .

RESULTATET AV VÅRT precisionstest innebär att vi ännu inte hittat bevis på standardmodellens otillräcklighet att beskriva det vi observerar i faktiska partikelfysikexperiment. Trots att detta kan låta negativt är det viktigt att komma ihåg att vår nya kunskap sätter begränsningar på den nya fysiken – vår teoretiska förutsägelse från en ny modell får inte ändras, vilket i sin tur indirekt sätter krav på de gäckande partiklarnas egenskaper.

Det finns fortfarande andra mätningar och beräkningar att utföra som kan ge oss fler ledtrådar till en ny partikelfysikmodell. Förutom de experiment som utförs på till exempel CERN (läs mer på sidan 20) kommer myonens elektriska dipolmoment mätas på Fermilab, och på japanska J-PARC planeras nya oberoende experiment för både det magnetiska och elektriska dipolmomentet. I Sverige finns det stor potential att studera fundamental fysik på ESS. Utan tvekan är det mycket som sker inom partikelfysiken för tillfället, och endast med en kombination av teoretiska förutsägelser och experimentella mätningar kommer vi kunna nå en bättre förståelse för mikrokosmos.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
Edinburgh universitet

Läs mer

<https://arxiv.org/abs/2506.03069>
<https://arxiv.org/abs/2505.21476>

Skrämmande händelser vid vatten

U-235

Christoph Bargholtz
Förlag: Bargholtz Publishing
Utgivningsår: 2018
ISBN: 978-91-984763-1-6



■ Christoph Bargholtz har skrivit en verklig spänningsroman. Den börjar år 1982 med att en ung pappa blir utskälld av sin fru för att inte ha bytt blöja på den lilla dottern. Familjen är på semester i Stockholms skärgård medan ubåtsjakten pågår i närheten av sommarhuset och de hovrande helikoptrarna stör sommaridyllen.

Sedan hoppar vi ca 35 år fram i tiden och den unga pappan har blivit professor i kärnfysik vid Stockholms universitet. Han föreläser, handleder studenter, håller föredrag på konferenser och svarar på frågor. Han är expert på strålning från radioaktiva ämnen och har ett laboratorium för mycket känsliga mätningar. Han träffar kollegor och inleder nya forskningsprojekt. Livet i Stockholms skärgård har lugnat ner sig till trevliga måltider, ofta i kollegors goda sällskap. Det börjar nästan kännas som en torr beskrivning om forskarvärldens vardag.

INTE SÅ LÅNGT IN i boken börjar det dock hända. Berättelsen böljar mellan segling, mysterier under vattenytan, radioaktivitet, atombomber, mycket guld, en resa på en motorbåt längs kanalerna och en seglats på en stor segelbåt till Medelhavet, hyggliga forskare, försvunna personer, armenier, brutala skurkar, hög militärledning och extremnationalistiska grupperingar. Det som först verkar vara rysk-sovjetiska intressen, visar sig vara något helt annat, och mycket mera skrämmande. Fast om man lägger detaljer på minnet under läsningen, kan man börja ana vart alla mystiska sammanträffanden kommer

att leda till och vilka som är de verkliga skurkarna.

Christoph Bargholtz kan sin kärnfysik, professor som han är i ämnet. Läsaren får lära sig att uran-235 behövs för kärnladdningar. Uran består av två sorters nuklider, i huvudsak den tyngre uran-238 och lättare uran-235, som utgör mindre än en procent av uranet i naturen. Det är bara den som kan upprätthålla kedjereaktion, men då behövs minst tre procents anrikningsgrad. En kärnladdning kräver nästan rent uran-235, som bara en avancerad centrifug kan producera. Därför pågår även i dag politiska påtryckningar runt om i världen för att hindra detta i länder med kärnvapenambitioner.

VI VET ATT DET finns radioaktivt cesium-137 med 30 års halveringstid i naturen efter Tjernobylhaveriet, men dess mängd har minskat. När sedan färsk cesium-134 med två års halveringstid och radioaktiv jod med halveringstid på bara en vecka mäts i nyfiskade simpor i Stockholms skärgård, växer frågorna om vad och vilka som dumpat den nu aktiva källan i havet. Och har det en koppling till den gamla ubåtsjakten? Olika intressenter börja smyga i området och det blir riktigt obehagligt.

Boken är underhållande och spännande i sin oförutsägbarhet. Lugn akademisk Uppsalamiljö blir skrämmande när berättelsen fortskrider. Man undrar om sådant verkligen kan ske i Sverige – men det har ju hänt tidigare på andra platser, och strömningarna i världen är oroliga i tiden. Det har faktiskt blivit allt värre sedan boken gavs ut 2018. Därför är *U-235* mycket aktuell, och beskriver enkelt riskerna med totalitära tendenser och kärnvapen i fel händer.

ASTA PELLINEN-WANNBERG
Prof. em. i fysik, Umeå universitet
och Institutet för rymdfysik

Kvantmekaniken 100 år

2025 har utsetts till **International Year of Quantum Science and Technology** av UNESCO, delvis för att det gått 100 år sedan Heisenberg formulerade teorin. Här berättar vi teorins väg från Plancks försök att formulera svartkroppstrålningens beroende av temperatur och våglängd, hela vägen till till Nobelprisen 1932 och -33.

I år uppmärksammas det på olika sätt att det gått 100 år sedan kvantmekaniken först formulerades av Werner Heisenberg (1901–76). Efter det följde raskt olika utformningar och tolkningar av Max Born (1882–1970), Pascual Jordan (1902–80) och Erwin Schrödinger (1887–1961), samt en relativistisk vidareutveckling av teorin av P. A. M. Dirac (1902–84) ett par år senare. Med anledning av dessa viktiga vetenskapliga genombrott har UNESCO utsett 2025 till International

Year of Quantum Science and Technology (IYQ). Organisatörerna av detta firande är angelägna om att det inte bara är en historisk återblick, utan poängterar att "100 years of quantum is just the beginning"!

Men låt oss först backa drygt 100 år. Kvantfysikens födelseår brukar anges som år 1900, då Max Planck (1858–1947) efter att i några år försökt lösa problemet med hur man bäst kan formulera svartkroppstrålningens beroende av temperatur och våglängd kom med en lösning. Han

postulerade då att energin bara kan emitteras kvantiserad, där $E = h\nu$. Där h är det vi kallar Plancks konstant, E är fotonens energi och ν frekvensen. Albert Einstein (1879–1955) gjorde vidare tolkningar av vad denna kvantifiering innebar och Niels Bohr (1885–1962) konstruerade utifrån dessa antaganden 1913 en enkel atommodell med elektronerna i stationära och diskreta banor runt en atomkärna, som gav kvalitativt goda resultat för spektrallinjerna hos enklare atomer. Denna modell vidareutvecklades av Arnold Sommerfeld (1868–1951) med relativistiska hänsyn och ännu godare överensstämmelse.

I juni 1922 höll Bohr föreläsningar om den dåvarande teorin i Göttingen. Den danske fysikern var där mycket hoppfull om att man skulle kunna lösa återstående problem inom kvantfysiken, när han diskuterade med sin gamle vän, svensken C. W. Oseen (1879–1944), som nyligen valts in i Svenska Vetenskapsakademien, KVA, och som var på plats. En annan av åhörarna var en av Sommerfelds unga doktorander i München, Heisenberg, som ställde en kritisk – men uppskattad – fråga till föreläsaren. Hur tilltalande än dessa inledande teorier var så hopades problemen allteftersom, och det skulle bli just den unge Heisenberg som till slut formulerade den första versionen av kvantmekaniken.

EFTER ATT OSEEN HADE varit i Göttingen reste han inte på några ytterligare konferenser, så hur gjorde sig Nobelkommittén underkunnig om tänkbara kandidater för Nobelpris, utöver att följa publikationer och undersöka nomineringar? Ett exempel är som följer. Hösten 1925 befann sig den nydisputerade Ivar Waller (1898–1991),

De så kallade Bohr Festspiele i Göttingen 1922. Stående från vänster: C. W. Oseen, Niels Bohr, James Franck, Oskar Klein. Sittandes Max Born.



FOTO: NIELS BOHR ARCHIVE

en av Oseens tidigare doktorander, på Niels Bohrs institut i Köpenhamn och han rapporterade hem till Oseen:

Det är vackert att se Bohrs beredvillighet att låta sin äldre teori träda tillbaka för en ny, som i varje fall icke helt är hans egen. Likväl tror jag att det för mycket vida kretsar skall te sig som ett förintande nederlag för atomteorien, om man definitivt måste avstå från utsikten att kunna ge en beskrivning av atomen i rum och tid.

(15/12 1925)

En månad senare skrev Niels Bohr ett långt och utförligt brev direkt till sin gamle vän Oseen om allt som timat inom den teoretiska atomfysiken och var optimistisk för utvecklingen. Oseen var dock kritisk; senare under våren skrev han tillbaka:

Det intryck som Heisenbergs teori har gjort på mig torde bäst kunna uttryckas så: ett stort anlagt försök, i matematisk mening vackert och intresseväckande, i fysisk mening lidande av det felet, att denna teori ytterligare och våldsamt ökar atomteoriens formella karaktär.

(6/3 1926)

DENNA VINTER HADE annars Schrödingers alternativa formulering i form av vågmekanik utformad på ett matematiskt sätt, som var mer lättillgängligt för de flesta fysiker, kommit. Och senare visades att Heisenbergs kvantmekanik och den utveckling av denna som Born och Jordan formulerat med hjälp av matriser var ekvivalenta med Schrödingers vågmekanik. Men Oseen var uppenbarligen störd av förlusten av åskådligheten. Arbeten med att applicera teorierna på flera olika experimentella problem tog vid, och bidrog till tilltron att teorierna var rätt väg. En tidig invändning var dock att de inte tog full hänsyn till relativistiska effekter. Den unge Dirac lyckades 1928 formulera en relativistisk rörelseekvation för elektronens vågfunktion. Även detta rapporterade Waller hem till Oseen om: "Dirac synes verkligen nu inta ledarplatsen inom

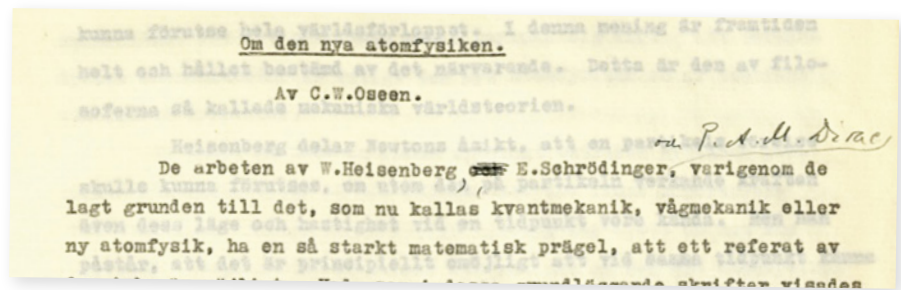
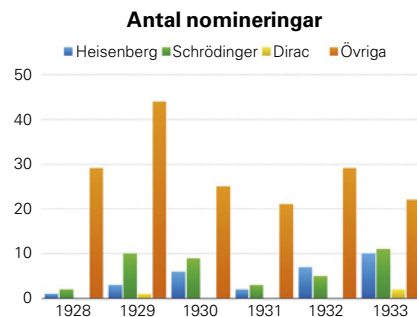


FOTO: KVA

Diracs namn kom in sent i utredningsarbetet. Här tillagt för hand i Oseens rapport "Om den nya atomfysiken."



Nomineringar för Nobelpris i fysik, 1928–1933.

kvantmekaniken. Det är märkligt då man hör att han blott är 25 år." (3/5 1928)

I ett svenskt uppslagsverk från året efter, 1929, står det till och med att läsa:

[D]et kan väl sägas, att kvantmekaniken redan nu utgör en sluten lärobyggnad, som kan mäta sig med den klassiska mekaniken. Denna lärobyggnad som kännetecknas av vittgående resignation med avseende på åskådlighet, står dock i närmaste kontakt med de experimentella erfarenheterna från atomforskningens område.

(Bonniers konversationslexikon, 1929)

Från och med 1928 började det även komma in nomineringar till Stockholm för kvantmekanikens huvudpersoner. Men försiktigheten från kommittén gällde framför allt de experimentella bevisen, särskilt vad det gällde tolkningen av Diracs relativistiska teori. Engelsmannen föreslog en "hålteori" för att kunna härberga de negativa energierna. Det dröjde dock några år innan det kom experimentellt stöd för denna teori i och med upptäckten av positronen. Detta gjorde att Nobelkommittén gjorde ett sent tillägg med Diracs namn.



FOTO: TEKNISKA MUSEET/KOAND

De tre fysikpristagarna på Stockholms Centralstation, december 1933. Från vänster: Dirac, Heisenberg och Schrödinger.

1933 tilldelades Heisenberg det sedan året innan sparade Nobelpriset, och Schrödinger och Dirac delade på 1933 års Nobelpris i fysik.

Kvantmekaniken gäller fortfarande som den allra bästa beskrivningen av energi och materia på den mikroskopiska nivån. Vidareutveckling i form av kvantelektrodynamik och tillämpningar i form av kvantkemi med mera har bidragit till insikten om att kvantmekaniken är en fundamental vetenskaplig teori. Likafullt för den med sig för oss paradoxala resultat som fascinerat många som söker mystik, men kvantmekaniken är nödvändig för att rätt kunna beskriva atomära förhållanden idag och sedan 100 år.

KARL GRANDIN

Centrum för vetenskapshistoria, KVA

Läs mer

quantum2025.org

Werner Heisenberg, "Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen", *Zeitschrift für Physik* 33:1 (1925): 879–893.

Brev Ivar Waller till C.W. Oseen, Kungl. Vetenskapsakademien.

Brev C.W. Oseen till Niels Bohr, Niels Bohr-arkivet.

Bengt Nagel, "Kvantmekanikens utveckling", *Kosmos* (1987), 95–120.

Klockor i hälsans tjänst

I förra numret av *Fysikaktuellt* tittade vi närmare på hur **smartklockor** egentligen fungerar. Den här gången tar vi itu med alla de mätdata som man kan få ut ur dem.

Många smartklockor har sensorer som övervakar hälsa och fysisk aktivitet. De kan bland annat mäta antal steg, puls, syrenivå, blodtryck, EKG och till och med ge en sömnanalys. Man kan därigenom hålla koll på både hälsa och kondition, och om smartklockan har e-SIM kan hälsodata skickas direkt till läkare.

Body Mass Index (BMI)

Vår moderna livsföring har lett till mer stillasittande och därmed ökad kroppsvikt. Kvoten mellan vikten och kroppslängden i kvadrat BMI (kg/m^2), är ett vanligt mått för att bedöma hälsa och tillhörande riskfaktorer.

Ett BMI mellan 25 och 30 (kg/m^2) benämns övervikt och ett BMI över 30 (kg/m^2) benämns obesitas (fetma). Detta ökar bland annat risken för hjärt-kärlsjukdom, typ 2-diabetes, högt blodtryck, höga blodfetter och ger färre friska levnadsår. Enligt Folkhälsomyndigheten har BMI i Sverige sedan 1980, för åldrarna 18–64 år, stigit från strax under 24 till strax under 26 kg/m^2 . År 2024 klassades 48 procent av kvinnorna och 58 procent av männen som överviktiga.

En massa om vikt

Vikt (*massa* på fysiklingo) är lätt att mäta och den både känns och syns. Ska man hålla den på önskad nivå måste energiintaget från mat, vara i balans med energiförbrukningen från fysisk aktivitet. Energiinnehållet i maten framgår av innehållsförteckningar. I media talas ofta om kalorier, men kalori är en liten enhet. Energiinnehållet brukar anges både i den gamla enheten kcal och i kJ, där $1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$ (exakt).

Förbrukningen kan man uppskatta med en kaloriräknare på nätet. Den utgår från ett grundvärde (BMR = Basal

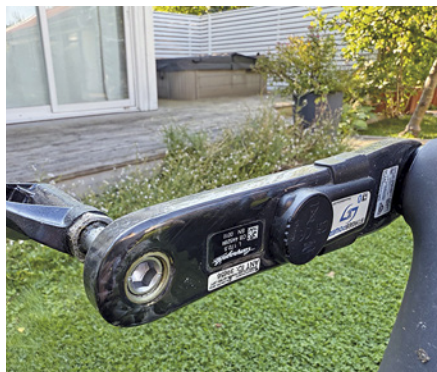


FOTO: MAX KESSELBERG

FIGUR 1 Till vänster vevarm med kraftgivare och batteri (knappcell). Till höger vevhusmontage.

Metabolic Rate) baserat på vikt, längd, ålder och kön och definieras som energin som åtgår i vila. Beräkningen görs enligt algoritmer som förfinats efter hand, men bygger på den som Harris och Benedict presenterade redan 1919. Nedan ett exempel från 1984:

- $\text{BMR (kcal/dygn)} = [9,247 \cdot \text{vikt (kg)}] + [3,098 \cdot \text{längd (cm)}] - [4,330 \cdot \text{ålder (år)}] + 447,593$ för kvinnor.
- $\text{BMR (kcal/dygn)} = [13,397 \cdot \text{vikt (kg)}] + [4,799 \cdot \text{längd (cm)}] - [5,677 \cdot \text{ålder (år)}] + 88,362$ för män.

Värdet multipliceras sedan med MET (Metabolic Equivalent of Task), som är ett mått på intensiteten. MET-tabeller finns på nätet, och till exempel anges 1 för TV-titt, 3–3,5 för promenad och 10 för rep-hoppning.

En tvättäkta fysiker nöjer sig inte med slika oprecisa metoder, utan konsulterar givetvis en smartklocka. Den levererar personliga data vid alla tidpunkter.

Energiförbrukning vid gång eller löpning

Utöver BMR erbjuder smartklockan stegräkning, steglängd, markkontakttid, vertikal rörelse, balans för markkontakttid som visar om man sätter ner fötterna ojämnt när man går/springer. Vidare kvot

vertikal rörelse/steglängd, samt puls som en indikator på intensitet. Därtill GPS som mäter fart, distans och höjdprofil.

Den tar hänsyn till faktorer som accelerationsmönster, rytm och rörelseriktning för att skilja mellan steg och andra rörelser, samt filtrerar bort ovidkommande rörelser.

Energiförbrukning vid cykling

Räkna steg på cykel begränsar sig till eventuella framsteg. De senare kan mätas med en extern effektmätare. Effekten (P) vid rotationsrörelse ges av kraftmomentet (M) multiplicerat med vinkelhastigheten (ω), $P = M \cdot \omega$. Kraftmomentet ges av $M = r \times F$, där r är momentarmens längd och F är kraften på pedalen. Vinkelhastigheten ges av antalet varv per sekund. Multipliceras effekten med tiden man cyklat erhålls energiförbrukningen.

De flesta effektmätare använder töjningsgivare för att mäta kraft, och accelerometrar för att mäta antal varv per tidsenhet. Sedan beräknas effekten genom att multiplicera dessa två storheter med momentarmens längd.

De vanligaste sitter antingen i pedalerna, vevhuset/spindeln eller vevarmen (figur 1). Det kan vara klokt att välja en som mäter båda sidor, ty benen är upp mot

10 procent olika starka. Billiga varianter mäter bara ena sidan och multiplicerar med två.

Effektmätarna överför sedan data till en smartklocka, cykeldator, mobil eller annan enhet med ANT+ eller BLE-anslutning (Blue tooth, Low Energy).

Effektmätare som har många sensorer och uppdaterar data ofta (1–4 ggr/s) har givetvis stor strömförbrukning.

Några hälsorelaterade mått och metoder

Några av smartklockans sensorer beskrivs i *Fysikaktuellt* nr 2/2025. Klockan kan bland annat mäta puls, blodtryck, blodsyrenivå, EKG (elektrokardiogram), samt andningsfrekvens och erbjuda sömnövervakning i realtid. Den kommer ibland med käcka påminnelser som: "Rör dig", för att uppmuntra till att vara aktiv hela dagen.

Puls

Pulsen ger en direkt indikation på kroppens arbetsnivå – ju högre puls, desto mer energi förbrukas. En pulsmätare registrerar också låg/hög eller oregelbunden hjärtfrekvens.

Syrenivå

Blodets syrenivå (SpO_2) mäts med pulsoximeter och är ett mått på hur mycket syre som når musklerna. Lägre än 95 procent kan tyda på lung- eller hjärtsjukdomar eller infektioner. Låga nivåer innebär också att man lättare blir trött.

Blodtryck

Vissa klockor har en inbyggd uppblåsbar miniatyrmanschett i armbandet för att mäta blodtrycket. Den kräver emellertid



FIGUR 3 Sömndata: diagram, klartext, samt en veckas sömn. Kan också ses i en mobil.

en exakt placering på handleden för att fungera bra. Metoden bygger på analys av optiska metoder i kombination med andra data, som till exempel tidpunkten mellan hjärtslag (pulsåtgång), för att uppskatta blodtrycket.

EKG

Smartklockor som kan mäta EKG har elektroder som registrerar elektriska signaler från hjärtat. När hjärtat slår, genereras elektriska impulser som når huden. Smartklockan registrerar dessa impulser och skapar ett EKG-diagram. När klockan har samlat in dessa signaler, skickas de till en processor som analyserar mönstren i signalerna för att upptäcka avvikelser, som förmaksflimmer eller oregelbunden hjärtrytm. Klockan kan även varna för detta.

Blodsockerhalt

Enligt Läkemiddelsverket (feb 2025) finns ännu inga non-invasiva blodsockermätare i smartklockor. Däremot finns *kontinuerliga glukosmätare* som fästs på huden (figur 2). De har en liten (0,4 mm) nål instucken i vätskan, som finns i utrymmet mellan cellerna (interstitialvätskan). Glukosnivån i vätskan samvarierar med den i blodet, och det är lättare att placera en nål mellan cellerna, än att sätta den i ett blodkärl. Resultatet sänds var 5:e minut till en smartklocka/mobil. Kanske kan smartklockan i framtiden med någon optisk metod utnyttja vätskan, så man slipper en mätare på huden.

Syreupptagningsförmåga

Kardiorespiratorisk kondition mätt som VO_2max är en bättre hälsoindikator än riskfaktorer som högt blodtryck,

rökning, typ 2-diabetes, högt kolesterol och fetma. VO_2max -värdet anger hur mycket syre i milliliter per kroppskilo och per minut som musklerna kan ta hand om och mäts i ml/kg/min. Den mäts bäst men dyrt i lab. Smartklockan kan uppskatta syreupptagningsförmågan med GPS, hur snabbt pulsen stiger och sjunker, längd, vikt och ålder. Om VO_2max är högre än vad som är typiskt för åldern, kommer konditionsåldern att vara lägre än den kronologiska åldern.

Sömnövervakning

Med smartklocka på armen under natten utlovas sömndata i form av vakenhet, lätt-, djup- och REM-sömn (figur 3). Dock inte huruvida klockan på armen stör sömnen. Den mäter puls, pulsvardevariabilitet, syremättnad och rörelsedata för att avgöra när man somnar och vaknar. Vidare om/när man vaknar till under natten, kanske beroende på sömnapné.

Till sist

Alla värden bör ses som komplement till de inom hälso- och sjukvården, inte i stället för. Det kan vara svårt att tolka mätvärdena och man kan vara både friskare och sjukare än mätvärdena indikerar. De bör då och då kollas hos läkare. Vissa sensorer kräver också kalibrering mot tillförlitligare instrument. Till exempel de för blodtryck och syreupptagningsförmåga.

Framsteg inom maskininlärning och artificiell intelligens kommer sannolikt att bidra till att förbättra algoritmer och säkrare identifiera individuella datamönster.

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet



FIGUR 2 En kontinuerlig glukosmätare. Den vita sensorn fästs på huden, och data skickas till en läsare, mobil eller smartklocka.



Matematik 7000

– en stabil grund för alla nivåer

Uppföljaren till Sveriges mest använda matematikläromedel för gymnasiet är här! Matematik 7000 är anpassad för Gy25 och ger eleverna den struktur och träning som krävs för att lyckas – både i skolan och i framtiden.

Gy25



Täcker alla
nivåer, oavsett
program.

nok.se/matematik7000