

DART · Livet utanför akademien · Halvledarbristen

Fysikaktuellt

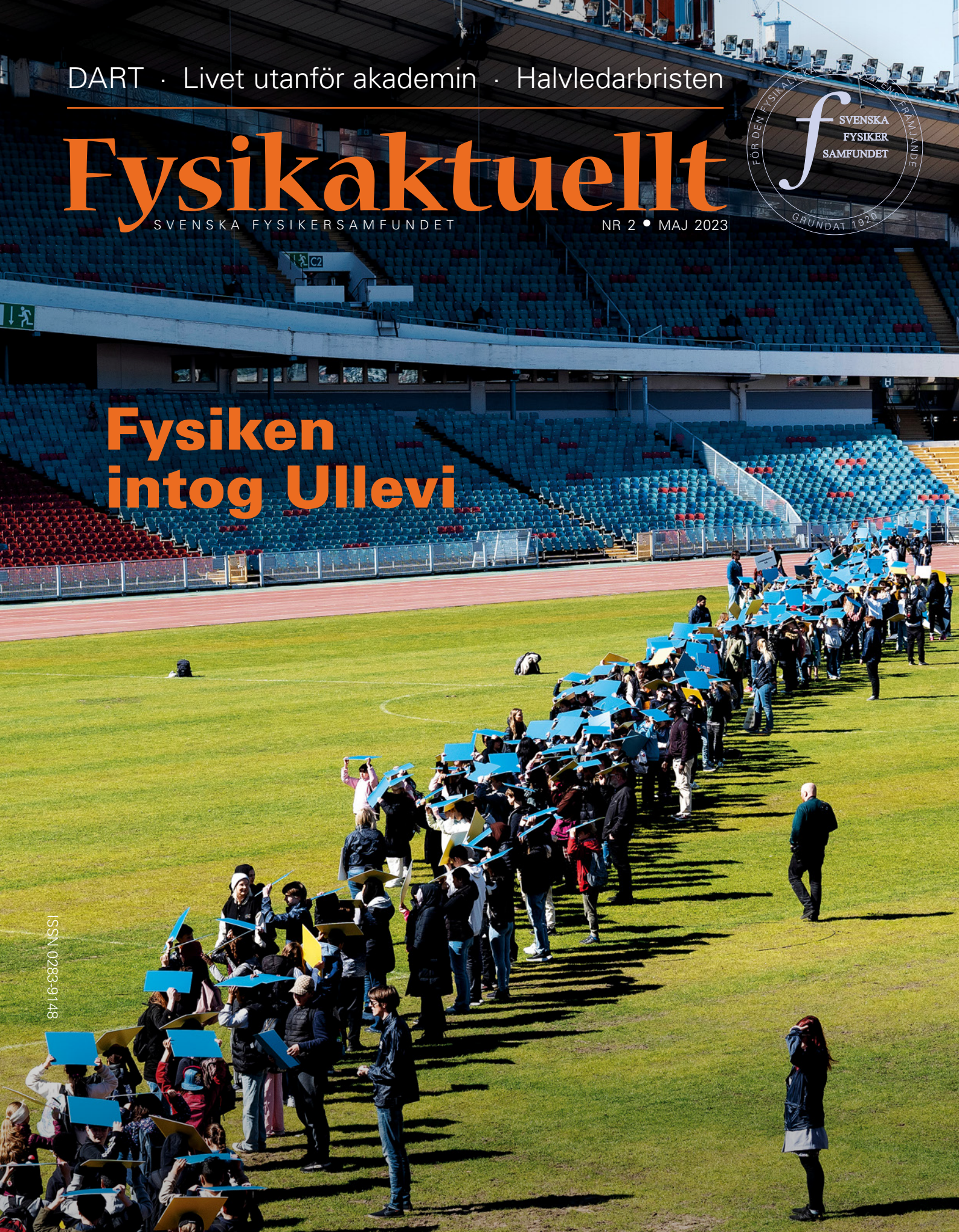
SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 2 • MAJ 2023



Fysiken intog Ullevi

ISSN 0283-9148



Svenska Fysikersamfundet

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

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

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

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

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

Bankgiro: 5402-5499

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

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

Sektioner

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

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos.
Redaktör är Anders Kastberg.

Fysikaktuellt

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

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

Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.

Kontakta redaktionen via:
fysikaktuell@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

Manusstopp för Fysikaktuellt 3/2023 är 4 augusti.

Medlemskap

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

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



Medlemsförmåner

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

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2023



OMSLAGSBILDEN: Den 17 april ordnade Göteborgs universitet med flera en storskalig demonstration av hur ljudvågor beter sig. Till sin hjälp hade de 400 mellanstadieelever och en fotbollsarena. Läs mer på sidan 13.
Foto: Johan Wingborg

Stödjande medlemmar

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

Stödjande institutioner

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

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 **SIGNERAT**
Hans Jakobsson
- 4 **AKTUELLT**
- 5 **AVHANDLINGEN**
Oseenmedaljen 2023
går till Giulia Ripellino
- 8 **VARFÖR ÄR DET SÅN
BRIST PÅ HALVLEDARE?**
- 10 **ELEKTRISKA PLASTER
SOM KAN STYRA LJUS**
- 13 **FYSIKEN FYLLDE ULLEVI**
400 mellanstadieelever
i levande experiment
- 14 **WALLENBERGS FYSIKPRIS**
Final och nordisk-baltisk
fysikolympiad
- 16 **LIVET UTANFÖR AKADEMIN**
Vad gör de som väljer
att lämna akademien
efter disputationen?
- 20 **GOD FYSIK**
Vinglas som
blir brännglas
- 22 **DART**
Sonden som kraschade
- 24 **MAGNETISKA MONOPOLER
KRYPER IN I LEKSAKSLÅDAN**
- 26 **FYSIK I SMÅTT OCH STORT**
- 28 **FYSIKENS ROLL PÅ
FÖRSVARSHÖGSKOLAN**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Ett omskakande möte



Magnetiska plastbitar som fäster i varandra hur man än vänder och vrider på dem. Hur går det egentligen ihop? Läs mer på sidan 24.

Hur förstärka intresset hos redan intresserade?

Om man undervisar i fysik på grundskolan eller i gymnasiet har man förstås anledning att fundera över hur man kan få eleverna intresserade av ämnet. Många gånger kan det handla om att försöka få elever som inte är så intresserade att upptäcka att fysik kan vara både roligt och intressant. Andra gånger kan det gälla elever som redan har ett intresse för ämnet. Hur får man dem att utveckla sitt intresse i stället för att kanske tappa det?

Här kan förutsättningarna variera mycket. Självt arbetar jag på Polhemskolan i Lund, där jag har förmånen att få undervisa eleverna på vår spetsutbildning i fysik. Eleverna har i samband med sitt gymnasieval aktivt sökt sig till en utbildning med extra mycket fysik. Jag har ovanligt goda möjligheter att i min dagliga gärning försöka få de redan fysikintresserade att bli ännu mer intresserade. Å andra sidan är jag förstås medveten om att det kan vara svårt att prioritera ett sådant "lyxproblem". Hur kan man göra då?

Ett bra sätt kan vara att ta hjälp utifrån. För fysikintresserade gymnasister finns det en hel del läger, tävlingar med mera som kan ge mycket inspiration. Till den förstnämnda kategorin hör de årliga Lise Meitner-dagarna i Stockholm, dit varje gymnasieskola får skicka två elever. Svenska Fysikersamfundet står bakom arrangemanget. Jag har själv varit på plats och sett hur roligt deltagarna har när de träffar likasinnade från andra håll. Ett liknande arrangemang är Knut Lundmark-dagarna, med inriktning mot astronomi. Jag har samma positiva intryck från de elever vi skickat dit från min skola.

I kategorin tävlingar har vi förstås Wallenbergs fysikpris, också anordnad av Fysikersamfundet. Kvaltävling på den egna skolan i slutet av januari, final i mars-april (en experimentell del och en teoridel, läs mer på sidan 14), och för de bästa i finalen väntar slutligen internationella fysikolympiaden på sommaren.



Ytterst få når förstås hela vägen dit, men möjligheten att försöka lösa tävlingsproblem är för en del elever en uppskattad utmaning. Förutom tidigare års tävlingsuppgifter finns även "månadens problem", som lektorsgruppen inom Fysikersamfundets undervisningssektion producerar de flesta månader under terminstid. En annan uppskattad tävling är IYPT (International Young Physicist's Tournament, läs mer i *Fysikaktuellt* nr 1/2023), där uppgifterna dessutom ofta passar utmärkt som gymnasiearbete, med eller utan deltagande i själva tävlingen.

Det finns förstås ännu fler möjligheter, jag nämner en. På Polhemskolan brukar en del av våra spets elever ställa upp i Physics Brawl, en lagtävling online med ett flertal olika tävlingsklasser för tävlande var som helst i världen. Hos oss får varje lag tillgång till en egen lektions-sal. Alla lag i hela världen tävlar samtidigt under några timmar. Som tur är, för vår del, finns arrangörerna i Tjeckien. Det gör att tävlingstiden ligger lagom efter skoldagens slut. Egen medhavd mat och den lite ovanliga möjligheten att tävla i lag gör det till ett väldigt uppskattat evenemang.

Hans Jell

HANS JAKOBSSON
Polhemskolan, Lund

Ordförande i undervisningssektionen

FOTO: LISEBERG



Nöjesparken Liseberg invigdes inför Jubileumställningen i Göteborg 1923. Albert Einsteins Nobelföreläsning i Kongresshallen blev därmed en av de första "attraktionerna".

1–2 JUNI Einstein '23

■ I samband med Göteborgs 300-årsfirande för hundra år sedan gav Albert Einstein sin Nobelföreläsning på Liseberg framför en hänförd publik. Hans påverkan på naturvetenskaperna kom att bli enorm.

Nu, när staden firar 400-årsjubileum, kommer flera Nobelpristagare besöka Göteborg för århundradets stora vetenskaps-event, arrangerat av Chalmers.

Programmet innehåller föredrag av fyra Nobelpristagare i fysik: Donna Strickland (2018), Didier Queloz (2019), Serge Haroche (2012) och David Wineland (2012).

På **torsdag den 1 juni** är Nobelpristagarna på Liseberg, med den intresserade allmänheten som målgrupp. Programmet pågår kl 9–17, och hålls på Lisebergsteatern.

På **fredag den 2 juni** kommer pristagarna till Chalmers för att hålla föredrag inom sina respektive ämnen. Programmet pågår kl 9–17, och hålls i Gustaf Dalénsalen.

Anmälan öppnade 10 maj. Du hittar mer information på hemsidan: www.chalmers.se/konferens/einstein-23.

TÜNDE-MARIA FÜLÖP,
GÖRAN JOHANSSON

ÄMNESBETYGSREMISSEN

Många synpunkter gällande fysiken

■ När remisstiden gick ut i mars fanns en diger lista med ändringsförslag gällande ämnesplanen för fysik hos Skolverket. Här följer ett axplock:

Lunds universitet menar att ämnesplanerna för teknik och de naturvetenskapliga ämnena generellt är alltför vagt formulerade, och istället borde fokusera på det som är centralt för att nå förståelse av det fundamentala stoffet: "Ämnesplanen borde bara ta upp sådant som alla måste kunna efter kursen, inte sådant som kan vara bra att ha hört."

Från Lund kommer även ett gemensamt remissvar från de kommunala gymnasiernas fysiklärare – undertecknat med hela fyrtio namn. Här finns en lång och gedigen lista på ändringsförslag, till exempel att det experimentella arbetet behöver stärkas, och att det är mycket viktigt att det tas fram ett gemensamt bedömningsunderlag i form av årliga provbanksprov som understödjer likvärdigheten i betygssättningen.

GÖTEBORGS UNIVERSITET och Chalmers har samsats när det gäller remissynpunkter på fysikämnet. De menar bland annat att det saknas centrala begrepp i förslaget: "Detta innebär att det blir osäkert om kommande studenter inom högskole-

utbildningar, där fysik krävs för särskild behörighet, har de förkunskaper som förutsätts." Matematikens kursplaner tas också upp, eftersom differentialekvationer inte alls finns med i de kurser som krävs för särskild behörighet.

RIKSFÖRENINGEN FÖR lärare i matematik, naturvetenskap och teknik (LMNT) tar också upp den svaga kopplingen till matematik i de naturvetenskapliga ämnesplanerna: "Denna nedtonade roll för matematik speglar inte på något sätt dess betydelse i modern naturvetenskap". LMNT ger dessutom många exempel från Norge och Danmark som skulle kunna tjäna som inspiration.

Även Fysikersamfundet har lämnat in ett remissvar där man uttrycker oro för att det experimentella arbetets roll tonas ner i remissförslaget. Du hittar hela remissvaret på www.fysikersamfundet.se.

Nu sammanställer och värderar Skolverket remissynpunkterna tillsammans med experter, referensgrupper och nationella programråd. I höst ska Skolverket fatta beslut, och de nya ämnesplanerna kommer att gälla från och med 1 juli 2025.

ANN-SOFIE MÄRTENSSON

Anmäl er skola till Lise Meitner-dagarna!

■ I höst är det dags igen! Planeringen för Lise Meitner-dagarna 2023 är i full gång, och vi har nu öppnat anmälan för årets evenemang.

Lise Meitner-dagarna är ett inspirationsevenemang i fysik som 2023 äger rum den 24–26 november, på AlbaNova vid Stockholms Universitet.

Dagarna är fyllda med spännande föreläsningar, roliga laborationer och avslutas med en fin middag! För elever som är fysikintresserade är Lise Meitner-

dagarna en oförglömlig upplevelse. Vill er skola delta i Lise Meitner-dagarna 2023? Vi har ett fåtal platser kvar så se till att ni anmäler er så fort som möjligt på vår hemsida:

www.lisemeitnerdagarna.se.

Om ni har några frågor nås vi bäst på: info@lisemeitnerdagarna.se. Vi ser fram emot att ta emot era elever i höst!

ARRANGÖRSGRUPPEN



OSEENMEDALJEN 2023

På jakt efter symmetri

Oseenmedaljen 2023 tilldelas **Giulia Ripellino** från KTH med avhandlingen "Haystacks and Needles – Measuring the number of proton collisions in ATLAS and probing them for the production of new exotic particles", för hennes arbete vid CERN med studier bortom standardmodellen.

När *Fysikaktuell* når Giulia med den trevliga nyheten att hon har vunnit årets Oseenmedalj berättar hon att hon väntar sitt tredje barn om lite drygt en vecka – så stort grattis till medaljen, men framförallt till barnet!

Hinner du berätta lite om vad du arbetar med?

– Såklart! Min forskning fokuserar på att söka efter utvidgningar av standardmodellen som kan förklara universums mörka materia. Den vanliga materian utgör 5% av universum och mörk materia ungefär 25%, alltså fem gånger så mycket.

Hur blev du intresserad av fysik?

– Min pappa är arkitekt, men hade nog gärna varit fysiker och visade mig hela tiden roliga experiment när jag var liten. Redan på lågstadiet stod det i min "Mina vänner"-bok att när jag blir stor ska jag bli fysiker. Efter några år på KTH funderade jag dock på om det var rätt väg och testade mitt andra stora intresse – dans. Jag skulle kanske bli danslärare om jag kunde komma in på danshögskolan... Jag valde dock att gå tillbaka och avsluta mina ingenjörstudier på KTH, och det är jag väldigt glad för nu.

Mycket av ditt arbete är ju på CERN och ATLAS-experimentet. När var du första gången på CERN?

– Jag var där sommaren efter mitt första år på masterprogrammet på KTH, då jag deltog i CERN:s sommarstudentprogram (12 veckor). Det var där jag förstod att jag vill hålla på med experimentell partikelfysik. Sedan fick jag komma tillbaka till CERN när jag skulle göra mitt ex-jobb. Jag sökte då deras Technical Student Programme och fick vara där 8 månader till.



FOTO: PRIVAT

Förutom fysik älskar Giulia Ripellino dans.

Hur ofta är du nere på CERN?

– Det beror lite på pandemier och förädraledigheter, men kanske en vecka varannan månad. När LHC kör så är det viktigare att åka ner lite oftare eftersom vi jobbar skift i kontrollrummet.

– Med 3 000 medlemmar i experimentet är det svårt att ha överblick över alla detaljer, vilket ibland kan vara frustrerande, men oftast är det stimulerande att arbeta i ett projekt med så många olika nationaliteter som arbetar mot ett gemensamt mål.

Räcker LHC för att se förbi standardmodellen?

– Nja, hittills finns inga tecken på ny fysik i den data som vi hittills har samlat in. Men efter "Run 3", som pågår nu, så ska LHC uppgraderas till den så kallade High-Luminosity LHC (HL-LHC) som ska tas i bruk runt år 2030. HL-LHC kommer att köra vid samma kollisionensenergi men samla ihop ungefär 90% av den totala datamängden från LHC. Alltså mycket mer data som kan visa tecken på ny fysik!

– Sannolikheten för att skapa nya partiklar ökar med energin i protonkollisionerna. När LHC togs i bruk 2011 så var kollisionensenergin 7 TeV och hoppet väldigt högt att hitta både Higgs-bosonen och nya partiklar som förutspås av Supersymmetri (SUSY). Higgs-bosonen hittades ju, men tyvärr inga tecken på SUSY. När energin sedan ökades ännu mer, till 13 TeV år 2015, var hoppet att hitta SUSY åter högt, och det var här jag kom in som ny doktorand. Jag fick börja med att arbeta med en SUSY-analys och jag trodde såklart att det var jag som skulle hitta spår efter de nya partiklarna.

– Just nu planeras steget efter HL-LHC, där till en början elektroner och positroner ska kollidera i Future Circular Collider med 100 km omkrets. Jag jobbar faktiskt med det projektet nu som postdoc, fast jag hinner kanske gå i pension innan den startar... Men då finns förhoppningsvis nya doktorander som är sugna på att söka tecken på ny fysik.

Vad gör du när du inte jobbar?

– Jag dansar! Hela min barndom har jag dansat varje dag. När jag fick lite kalla fötter efter tre år på KTH gick jag en förberedande dansutbildning på två år för att kunna söka till danshögskolan, men ändrade mig efter ett år och gick tillbaka till KTH. Nu ser jag fram emot att kunna komma tillbaka och dansa igen till hösten.

Fysikaktuell önskar Giulia all lycka med sina framtida projekt – partikelkollisioner, dans och framförallt barnen.

JOHAN MURITSSON
Lunds universitet



ATLAS-medlemmar bevakar datatagningen i kontrollrummet.

FOTO: CERN

Haystacks and Needles

– Measuring the number of proton collisions in ATLAS and probing them for the production of new exotic particles

■ Författare: Giulia Ripellino

■ KTH, 2022

■ ISBN: 978-91-8040-268-2

■ Länk till avhandlingen: kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1656942/FULLTEXT01.pdf

■Handledare: Jonas Strandberg, universitetslektor, Partikel & astro-partikelfysik, KTH.

■Opponent: Gabriella Pasztor, Assistant Professor, ELTE Institute of Physics, Ungern.



En nål i en höstack

I mätningarna från LHC vid CERN är en av de stora utmaningarna att **hitta rätt data** i de enorma datamängderna. I sin avhandling har Giulia Ripellino studerat data från ATLAS-detektorn för att söka tecken på ny fysik.

Elementarpartikelfysik är vetenskapen om naturens minsta beståndsdelar och drivs framåt av vår nyfikenhet och vilja att förstå det universum som vi lever i. Uppfattningen om vad som utgör dessa beståndsdelar har ändrats genom historiens gång och teorier som har antagits beskriva vår värld har gång på gång omkullkastats av nya upptäckter och teoretiska genombrott. Vår nuvarande förståelse sammanfattas av partikelfysikens standardmodell – ett teoretiskt ramverk som beskriver en uppsättning elementarpartiklar och hur dessa växelverkar med varandra och bygger upp all materia.

Sammantaget är standardmodellen en fantastiskt framgångsrik teori som har testats i mycket noggranna experiment och har kunnat förutsäga en mängd fysikaliska processer. Trots detta lämnar den många fundamentala frågor obesvarade och vi vet att den kommer att bryta samman vid högre energier. Det viktigaste exemplet är kanske observationen av mörk materia, som i universum finns i fem

gångar så stor mängd som den materien som beskrivs av standardmodellen.

Många nya teorier för fysik bortom standardmodellen har lagts fram i försök att skapa en mer komplett modell. Experimentell partikelfysik handlar idag om att med allt högre precision mäta standardmodellens observabler samt att verifiera eller falsifiera förekomsten av partiklar som de nya teorierna förutsäger. En av de mest populära teorierna är *supersymmetri*, som dubblar partikelinnehållet genom att förutspå en ny supersymmetrisk partikel för varje existerande partikel i standardmodellen.

STUDIEN AV UNIVERSUMS minsta beståndsdelar kräver ironiskt nog enormt stor experimentell utrustning, och teoretiska framsteg går hand i hand med teknologisk utveckling som möjliggör experiment vid allt högre energier. The Large Hadron Collider (LHC) vid CERN är världens största partikelaccelerator. Den accelererar protoner upp till nästan ljusets hastighet och kolliderar dem med varan-

dra för att skapa nya, tyngre partiklar som kan studeras.

Acceleratorn ligger på gränsen mellan Schweiz och Frankrike i en 30 km lång cirkulär tunnel, cirka hundra meter under marken. Runt acceleratorn finns stora detektorer som är byggda för att observera partiklar från protonkollisionerna och mäta deras egenskaper.

I avhandlingen presenteras forskning som utförts med data från ATLAS-detektorn (ATLAS står för A Toroidal LHC Apparatus). Detta är ett stort experimentet som sköts av ett internationellt samarbete bestående av fysiker, tekniker, ingenjörer och administrativ personal från hela världen. Vi är fler än 3 000 personer som tillsammans publicerar de vetenskapliga resultaten och alla behövs för att sköta detektorn, datatagningen, rekonstruktionen av datan och dataanalysen. Arbetet i min avhandling har jag därför utfört som en del i denna kollaboration, i nära samarbete med andra fysiker från flera olika länder.

Vid LHC inträffar ungefär en miljard

protonkollisioner varje sekund, och i varje kollision bildas ett stort antal partiklar som färdas genom ATLAS och detekteras. De allra flesta är partiklar med låg massa som är kända sedan länge och vars egenskaper är väl uppmätta i tidigare experiment. Den största utmaningen för en fysikanalys som utförs med data från ATLAS är därför att sälla i den enorma datamängden och välja ut de protonkollisioner som innehåller viktig information.

Av stor vikt för alla analyser är även att känna till acceleratorns *luminositet*, som ger ett mått på det totala antalet protonkollisioner i en given datamängd. Luminositeten används för att omvandla uppmätta frekvenser av intressanta processer till tvärsnitt, eller sannolikheter, som kan användas i jämförelser med andra experimentella resultat och teoretiska förutsägelser. Den systematiska osäkerheten på luminositeten återspeglas i precisionen på tvärsnittsmätningarna, och det är därför av yttersta vikt att uppnå en luminositetsmätning med hög precision. Målet är att åstadkomma en mätning med en osäkerhet under 1%, vilket möjliggör för tvärsnittsmätningar med liknande eller bättre precision än de teoretiska värdena.

I MIN AVHANDLING presenterar jag luminositetsmätningen för den datatagning som ägde rum mellan åren 2015–2018 och motsvarar LHC:s ”Run 2”. Luminositeten mäts med flera olika metoder som kombineras och jämförs för att uppnå hög precision. Under de gångna åren har vi noggrant uppskattat alla systematiska fel som påverkar mätningen. Vi tittar bland annat på hur effektiv vår detektor är på att detektera protonkollisioner, hur denna effektivitet varierar över tid och hur inställningarna på acceleratoren påverkar luminositeten.

I avhandlingen presenteras den första, preliminära, mätningen av luminositeten vilken har en osäkerhet på 1,7%. Sedan dess har jag och mina kollegor fortsatt arbetet och förbättrat metoderna för att uppskatta de systematiska felen. Resultatet av detta hårda arbete, den slutgiltiga luminositetsmätningen

Oseenmedaljen

Svenska fysikersamfundet delar sedan år 2020 ut Oseenmedaljen för bästa avhandling i fysik i Sverige. Möjliga mottagare av priset är personer som har försvarat en doktorsavhandling i fysik vid ett svenskt universitet under föregående år.

De institutioner som är stödjande medlemmar till Svenska fysikersamfundet kan skicka in nomineringar. Pristagaren erhåller en medalj, ett diplom och 100 000 SEK. Prissumman är en donation från Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond. Oseenmedaljen 2023 tilldelas Giulia Ripellino från KTH.



för ”Run 2”, har en osäkerhet på endast 0,83%, vilket är den mest precisa luminositetsmätningen som någonsin har åstadkommits vid en protonkolliderare. Metoderna som har utvecklats kommer att vara till stor hjälp under den pågående LHC ”Run 3” och kommer att hjälpa oss att nå liknande precision i framtiden.

I AVHANDLINGEN PRESENTERAR jag även två studier som analyserar protonkollisioner i ATLAS för att söka efter tecken på fysik som inte beskrivs av standardmodellen. Båda analyserna tar avstamp i olika supersymmetriska modeller och väljer ut protonkollisioner att analysera baserat på de experimentella signaturer som förutspås av modellerna. Den första analysen söker efter supersymmetriska skvarkar eller gluiner¹ som produceras i protonkollisionerna och sedan omedelbart sönderfaller till två elektroner eller myoner som detekteras av ATLAS.

Både elektronerna och myonerna kan detekteras och identifieras med väldigt hög effektivitet och liten risk för felidentifiering av ATLAS rekonstruktionsalgoritmer. Det är med andra ord en väldigt distinkt experimentell signatur att leta efter. Den stora utmaningen är istället att urskilja kollisioner med potentiell signal från kollisioner där standardmodellprocesser ger upphov till liknande signaturer och kontaminerar den utvalda datan.

Den största bakgrunden kommer från

processer som producerar två toppkvarkar. Sådana processer är väldigt vanliga i LHC:s protonkollisioner, och kan resultera i precis samma experimentella signatur som signalen. Som tur är kan vi titta på andra typer av sönderfall av toppkvarkar och använda dem för att uppskatta bakgrunden. Analysen finner ingen signal över den förväntade bakgrunden och istället tolkas resultaten med hjälp av simuleringar av supersymmetriska modeller. På så sätt kan exkluderingsgränser med 95% konfidensintervall beräknas för gluin- och skvark-massorna. Massor under 1,85 TeV utesluts för gluiner och massor under 1,3 TeV utesluts för skvarkar.

Det innebär att vi, i vår framtida forskning, vet att vi kan utesluta förekomsten av just sådana supersymmetriska partiklar.

DEN ANDRA ANALYSEN söker efter långlivade supersymmetriska partiklar som färdas en uppmätbar sträcka genom detektorn innan de sönderfaller till standardmodellpartiklar. Dessa processer är i princip fria från bakgrund från standardmodellen. Den största utmaningen här är istället att ATLAS i första hand är byggd för att detektera partiklar som sönderfaller omedelbart efter att ha producerats i protonkollisionerna.

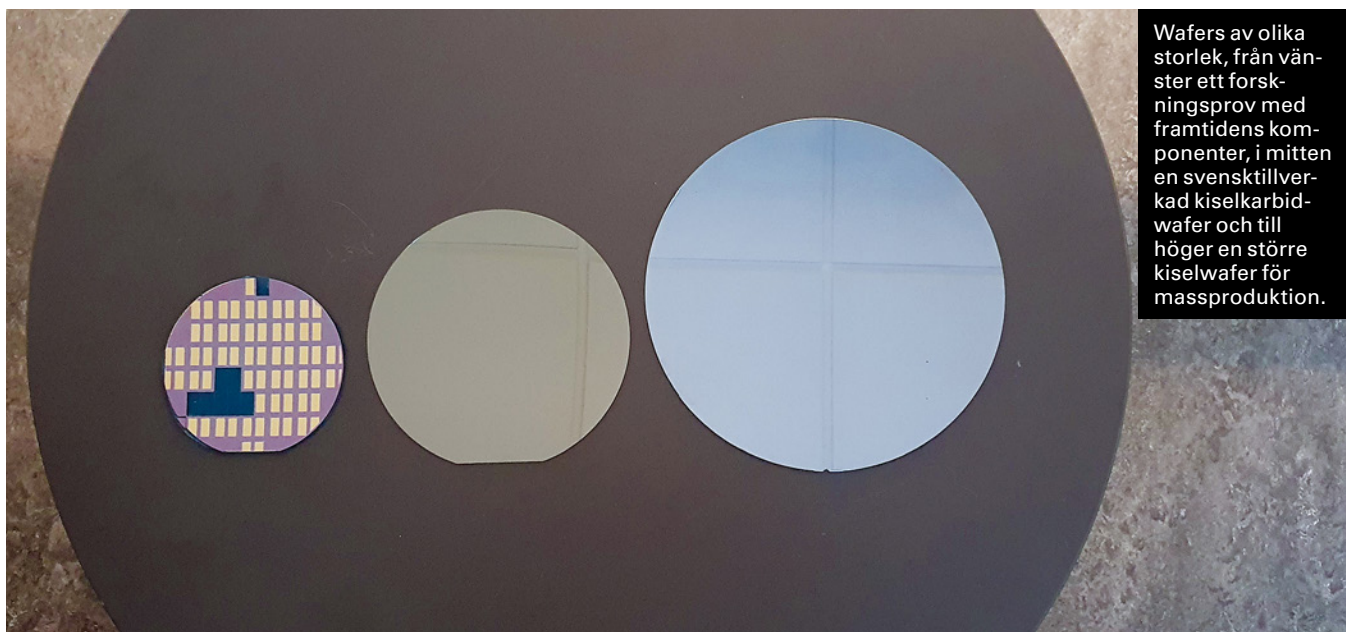
Vi behöver därför använda speciella rekonstruktionsalgoritmer som vi utvecklar specifikt för den här typen av signatur. I takt med att supersymmetriska partiklar med allt högre massor utesluts av LHC:s data blir det viktigare och viktigare att vi anstränger oss för att söka efter långlivade partiklar och andra mer komplicerade signaturer. Kanske är det just där som ny fysik gömmer sig.

I analysen hittade vi dock ingen signal utöver en liten bakgrund som kommer från instrumentella effekter och felrekonstruktioner av data. Jakten fortsätter!

GIULIA RIPELLINO

Postdoktor vid Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet

¹ Skvarkar och gluiner är de hypotetiska supersymmetriska motsvarigheterna till kvarkar och gluoner.



Wafers av olika storlek, från vänster ett forskningsprov med framtidens komponenter, i mitten en svensktillverkad kiselkarbid-wafer och till höger en större kiselwafer för massproduktion.

FOTO: GUNNAR MALM

Varför är det sån brist på halvledare?

Det **näst vanligaste grundämnet** i jordskorpan är halvledaren kisel. Trots detta är halvledar- och komponentbrist begrepp som diskuterats flitigt de senaste åren. Vilka teknologiska trender och geopolitiska förutsättningar har lett till detta?

Kärt barn har många namn. Men när vi talar om "halvledare" i populära sammanhang, som till exempel dess ekonomiska påverkan på tillverkande industri, menar vi i princip alltid integrerade kretsar byggda på kiselsubstrat. Den minsta byggstenen i kretsarna är själva transistoren, som har ett dubbelt användningsområde som switch och förstärkare. Uppfinningen av transistoren har under hela 2022 uppmärksammats i ett 75-årsfirande.

Ett vidare begrepp är "elektronik-komponenter" och vi talar ofta om Moores lag¹ som genom skalning av transistor-dimensionerna möjliggjort nano-elektroniken. Halvledare i vår var-

dag är dock också komponenter som till exempel blåa lysdioder (LED) som gett oss energieffektiv belysning. Våra smarta telefoner har bildskärmar byggda på en teknik som kallas organiska halvledare, som ger tydliga färger med bra kontrast. Megapixelkamerorna som vi använder flitigt bygger på samma så kallade skalningsprincip som ger oss grafikkort, flashminnen och hårddiskar med allt högre beräknings- och lagringskapacitet, och våra elektrifierade fordon använder nya halvledarmaterial som kiselkarbid (SiC) och galliumnitrid (GaN) för att hantera de höga batterispänningarna på upp till 800 V. Dagens bilar är på många sätt snarare datorer, eller så kallade inbyggda sys-

tem på hjul, än mekaniska maskiner. En vanlig personbil innehåller upp till 100 mikrokontrollers, och så mycket som 30 % av bilens värde ligger i dessa halvledar-baserade, integrerade kretsar och trenden är tydligt uppåtgående. I tider av elbrist och hållbarhetstänk är det också intressant att majoriteten av alla solceller på marknaden bygger på kiselmaterialiet och principen bakom en likriktande diod.

En teknik med så många skilda

¹ "Moores lag" är inte, som man kan tro, en naturlag, utan beskriver fenomenet att antalet transistorer som får plats på ett chip växer exponentiellt. Sedan många år gäller lagen med en fördubbling av antalet transistorer var 24:e månad.

användningsområden kräver så klart en specialiserad infrastruktur och ett helt ekonomiskt ekosystem för att kunna leverera stora volymer av kretsar och komponenter.

I MITTEN AV 1980-TALET inleddes en process där en ny affärsmodell växte fram kring integrerade kretsar byggda på CMOS-teknologi (Complementary Metal Oxide Semiconductor), som utgör mer än 90 % av halvledarproduktion idag. Ur en regional satsning på Taiwan växte idén om kiselsmedjor, "foundries" fram. Modellen bygger på att en "smedja" bara tillverkar halvledarna, det vill säga de integrerade kretsarna. Smedjans kunder är företag som istället sysslar med design och layout av dessa kretsar för många olika industriella- och konsumentapplikationer. Kända foundries är TSMC, Global Foundries och Samsung. Tanken var att erbjuda kunder kretsar tillverkade i den senaste teknologinoden enligt Moores lag till ett konkurrenskraftigt pris.

Samtidigt ledde modellen med foundries till en konsolidering av minnestillverkning till länder som Sydkorea, och markerade ett långsamt uttåg av halvledarna från Europa. Det som har blivit kvar här, i starka halvledarländer som Tyskland och Frankrike, blev företag med mer nischad kompetens, som fordonsindustri och lågeffekt-radiokretsar för trådlös kommunikation. Europa är också fortsatt starka inom det som kallas för mikromekaniska system (MEMS) där det till exempel finns ett ledande MEMS-foundry, SILEX, i Järfälla.

NACKDELEN MED foundry-modellen är ett beroendeförhållande mellan företag, med globala handelskedjor och en inte obetydlig risk för leveransstörningar. En jordbävning på Taiwan eller en brand i Sydkorea påverkar plötsligt Volvo i Olofström eller en elektronikmontör i Norrtälje. Dessutom har det uppstått en maktobalans, där nyckelkunder som Apple mer eller mindre har monopol på att utnyttja de senaste teknologinoderna för sina avancerade mobilchips.

Risken för störnings-kedjor blev tydlig under covid-pandemin, där olika länders

skilda strategier kring nedstängning fick globala effekter på elektronikmarknaden. Till exempel har fordonsindustrin, som ju är stark i flera europeiska länder, hårda certifieringskrav som få leverantörer kan uppfylla. Om en sådan leverantör fick problem med logistiken under covid-19 blev återverkningarna drastiska och till slut stod bilfabrikerna stilla veckovis. Som sagt är värdet på bilen alltid nära kopplat till innehållet av halvledare.

Ett annat oroväckande scenario vore ett handelskrig på halvledarområdet mellan ekonomiska giganter som USA och Kina. Det pågår redan en lågintensiv kraftmätning kring den utrustning som möjliggör tillverkning av de mest avancerade teknologinoderna. Viss sådan utrustning för litografi i nanometerskalen levereras huvudsakligen från EU-länder.

BÅDE EU OCH USA har visat en politisk vilja att ta plats på halvledarscenen i efterdyningarna av covid-krisen. Ett par stora ekonomiska program – EU Chips Act respektive Chips and Science Act i USA – har förhandlats fram under 2022. Båda paketen vill attrahera investeringar i den egna regionen genom att ge foundry-modellen och de senaste, eller snarare framtida, teknologinoderna fotfäste även i dessa världsdelar. Man har även mer jordnära ambitioner, som att skapa stabila leveranskedjor även i krisskeden och framför allt att satsa på nya generationer av utbildade halvledaringenjörer.

Ur forskarsynvinkel är det attraktivt både med breddad utbildning och med pilotproduktion av kommande teknologier, där man kan nämna 2D-material som grafen som är ett starkt europeiskt intresse. Europa är också fortsatt ledande inom kraftelektronik baserat på SiC och GaN, som nämndes tidigare. Efter ett antal 10-årscykler med stegvis genombrott återfinns nu dessa bredbandgaps-halvledare i varje elektriskt fordon, i en hel del hemelektronik och inte minst i basstationer för 5G-mobilnäten.

GUNNAR MALM
professor i integrerade komponenter
och kretsar, KTH

Vad är en halvledare?

Jag brukar fråga mina studenter: Vad kom först, radiotekniken med exempelvis analoga mottagare, eller själva halvledarkomponenterna?

Svaret är att behovet av energieffektiv och billig radioteknik, och senare teknik för digitala beräkningar, drev fram en förståelse av halvledarmaterial – både hur de skulle tillverkas och varför de faktiskt fungerar.

Vi fysiker på universiteten talar ofta om grundrespektive tillämpad forskning. Med halvledare har vi ett gränsoverskridande forskningsfält som helt transformerat vår vardag. Området har också belönats med sex Nobelpris i fysik.

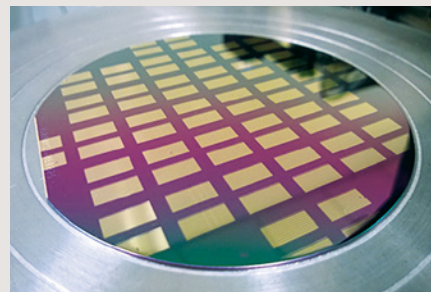
Fysiken kring halvledare beskrivs av teorin kring det fasta tillståndet, det vill säga material som oftast förekommer som kristaller. Några material i grupp IV i det periodiska systemet, nämligen germanium och kisel, är särskilt viktiga.

Genom experiment på andra, mer exotiska kristaller hade man redan på 1800-talet observerat det som kallas en *likriktande förmåga*, idag en diod. Detta kom till nytta när radion slog igenom.

Halvledarna hade också en annan förbryllande egenskap, nämligen att de i motsats till metalliska material *leder ström lättare vid högre temperatur*. Genombrottet i förståelsen kom på 30-talet när den negativa elektronen fick en positiv kompis som kallas ett "hål", det vill säga en ledande kvasipartikel med positiv laddning. Ett system där elektroner och hål förekommer parvis får helt enkelt bättre ledningsförmåga genom termisk generation av sådana par.

Teorin är både vacker och enkel, men verkligheten kan vara butter och motsträvig. Germanium lät sig enkelt beskrivas av denna teori men ganska länge ansåg forskarna att kisel inte kunde vara en halvledare. Idag vet vi bättre: materialets renhet var nyckeln. Kisel får mycket bra halvledande egenskaper om det har hög kvalitet.

Dagens kretsar tillverkas på stora skivor, så kallade wafers, som skärs ut från nästan perfekta kristaller som odlas i speciella ugnar. På sådana wafers tillverkar man ett hundratal identiska så kallad chip med utbyte på > 99 %, som sedan sågas ut och kapslas i svart plast.



En kiselskiva, så kallad wafer, med framtidens komponenter i en mätutrustning i KTH:s forskningslaboratorium.

Elektriska plaster som kan styra ljus

Nanoantennor för ljus, färger från struktur, eller kylning genom värmestrålning till yttre rymden. Det är exempel på fenomen som kan göras dynamiskt reglerbara med hjälp av **elektriskt ledande polymerer**.

Bland de äldsta exemplen på tillämpad nanooptik hittar vi det berömda Lycurgus-kärlet från romartiden, vars vackra färger kommer från nanopartiklar i metall inbäddade i glas. Nanopartiklarna är bra på att sprida grönt ljus och ger därmed kärlet en grön nyans om det belyses från sidan eller framifrån (till exempel av en kamerablixt). Vitt ljus som passerar glaset bakifrån (eller inifrån) skiner istället vackert rött eftersom det gröna ljuset sprids bort i olika riktningar (figur 1).

Idag vet vi att metallnanopartiklarnas förmåga att fånga in och sprida ljus beror på att fotoner omvandlas till kollektiva rörelser av metallens (mobila) elektroner. Denna kollektiva rörelse av laddningsbärare kallas *plasmon*, och rörelsen innebär att nanopartiklarna fungerar som antenner för ljus. Förutom att effektivt fånga upp och sprida ljus vid vissa färger eller våglängder kan plasmoniska nanoantennor användas till att skapa starka optiska fält (och optiska krafter) i extremt små volymer runt antennerna, eller till att omvandla ljus till värme på nanoskalan genom absorption. Det gör plasmoniska nanostrukturer användbara för ett oerhört brett spektrum av studier och tillämpningar.

Optiska metaytor utgör ett särskilt intressant och framväxande område, där optiska nanoantennor av olika form placeras i specifika mönster på en yta. Varje nanoantenn används för att lokalt kontrollera ljusets fas, och tillsammans kan de därför användas för att kontrollera vågfronten för det ljus som sprids från ytan. Extremt tunna och plana metaytor kan därför



FIGUR 1 Lycurgus-kärlet fotograferat med blixt (vänster) och utan blixt, med belysning bakifrån kärlet (höger).

FOTO: MAGNUS JONSSON

designas för att fokusera ljus, skapa specifika polarisationstillstånd, eller generera tredimensionella hologram, för att nämna några exempel.

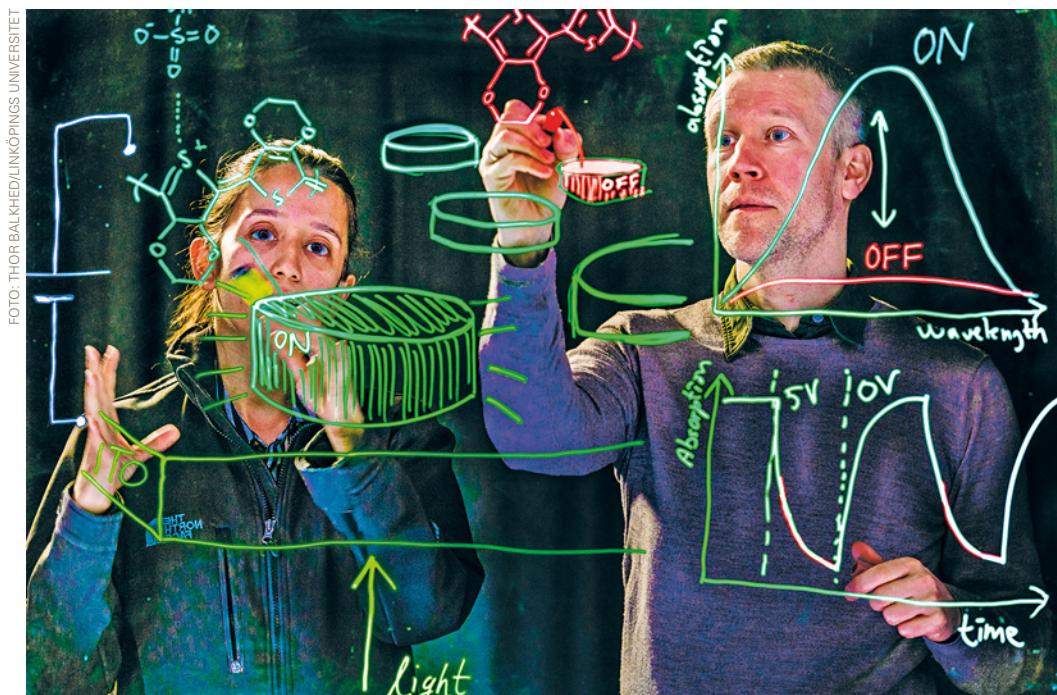
EN AV DE STORA utmaningarna är att göra optiska metaytor som är elektriskt reglerbara. Orsaken är att antennerna oftast tillverkas av metaller som guld eller silver, som har fasta egenskaper. Detsamma gäller dielektriska metaytor, gjorda av nanoantennor av dielektriska material som titandioxid.

Forskare har därför studerat indirekta metoder att reglera egenskaperna hos optiska metaytor, till exempel genom att tillverka dem på töjbara substrat och dynamiskt ändra avståndet mellan dem, eller genom att modulera de optiska egenskaperna hos material som omger nanoantennerna. Direkt reglering av själva nanoantennerna kräver att de tillverkas av material vars laddningstäthet eller andra egenskaper kan ändras fram och tillbaka, vilket går att göra med elektriskt ledande polymerer (figur 2).

Ledande polymerer uppträcktes på 1970-talet och har studerats flitigt inom bland annat bioelektronik, termoelektronik och tryckt elektronik. Till skillnad från vanliga, icke-ledande polymerer karakteriseras de av att deras kolkedja har alternerande enkel- och dubbel-bindningar. Genom att introducera laddningar utmed polymerkedjan, så kallade *polaroner*, skapas mobila laddningsbärare i materialet. Dessa polaroner balanseras dessutom av motjoner för elektrisk neutralitet.

Ledningsförmågan för ledande polymerer kan uppgå till flera tusen siemens per centimeter, jämförbart med inorganiska ledare som ITO (indium tin oxide). En användbar egenskap är att ledningsförmågan kan regleras dynamiskt via polymerens oxidationstillstånd, vilket påverkar laddningstätheten i materialet. I sitt mest laddade och ledande tillstånd kan de ha optiskt metalliska egenskaper, medan samma material kan göras dielektriskt genom att minska dess laddningstäthet. Detta möjliggjorde nyligen plasmoniska optiska nanoantennor och metaytor som kan styras kemiskt eller genom en elektrisk potential. Konceptet har redan använts för att göra tunna metalinsor vars fokuseringsförmåga kunde stängas av och sättas på igen. I framtiden tänker vi oss tillämpningar såsom tredimensionella videohologram.

HITTILLS HAR FORSKARE kunnat tillverka reglerbara polymer-antennor för infrarött ljus, men inte för synligt ljus. Anledningen är att de ledande polymerer vi känner till idag inte (ännu) kan göras metalliska i det synliga området.



FIGUR 2 Akchheta Karki och Magnus Jonsson diskuterar elektriskt styrbara nanoantennerna gjorda av ledande polymerer.

Materialets optiska egenskaper kan dock fortfarande ändras i det synliga området, vilket bland annat använts till elektrokroma displayer. Till skillnad från vanliga displayer, som de vi har i mobiltelefoner eller datorskärmar, så genererar inte elektrokroma displayer ljus själva. Istället används reflektion av omgivande ljus för att producera text och bilder, vilka sen kan regleras genom att ändra reflektionen hos displaymaterialet.

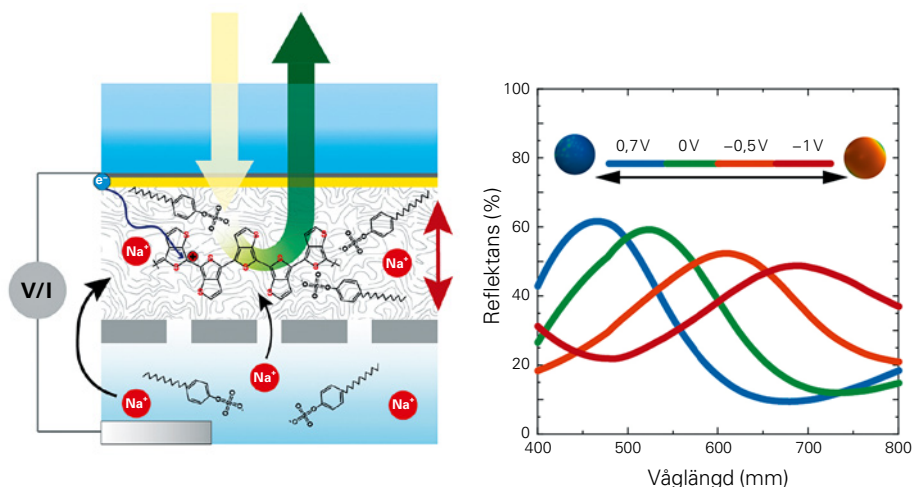
Som exempel på reglerbara optiska egenskaper för ledande polymerer så pendlar den populära polymeren PEDOT¹ mellan olika nyanser av blått. Att hitta material som helt kan ändra färg, från blått till grönt och vidare till rött, är svårare. Det problemet kan lösas med inspiration från naturen. Evolutionen har gett fjärilsvingar, skalbaggs skal och kronblad vackra färger baserade på *struktur* på nanoskalan istället för pigment. Genom optisk interferens förstärks reflektionen av vissa våglängder medan andra försvagas. Det leder till en typ av färger som kallas strukturella.

Strukturella färger är vanligtvis statiska, men kan göras elektriskt reg-

lerbara i kombination med ledande polymerer. Exempelvis kan vissa ledande polymerers tjocklek ändras genom dess oxidations-tillstånd, vilket användes för att modulera avståndet mellan speglarna i en optisk kavitet. Dess färg kunde därmed styras över hela det synliga området genom att ändra en elektrisk potential.

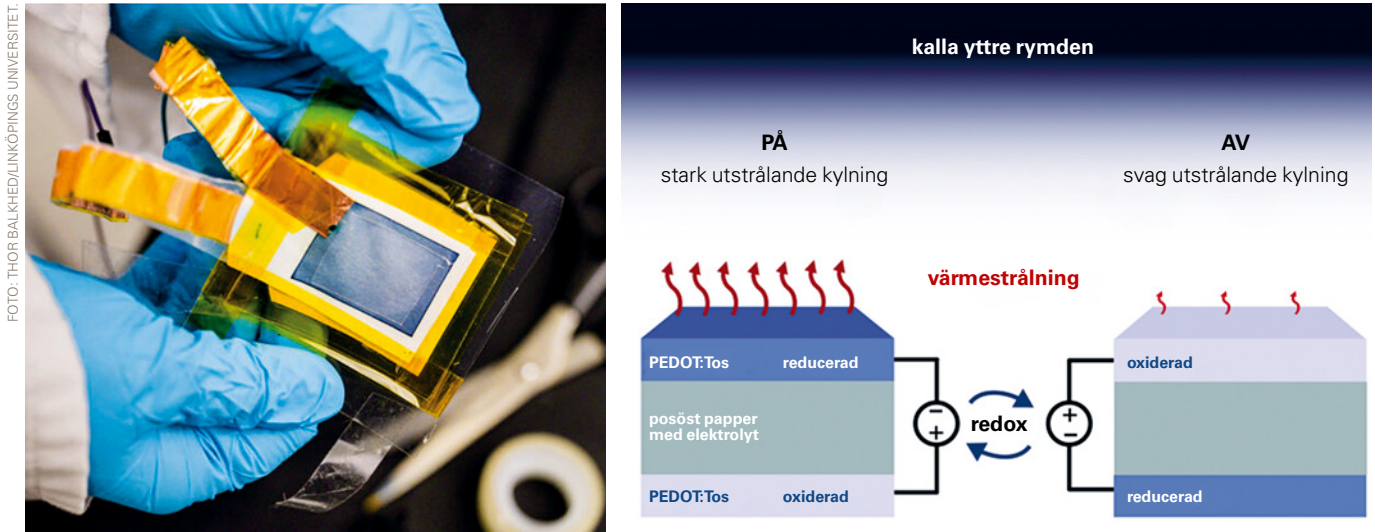
Den här typen av material med elektriskt styrbara färger kan bland annat leda till energisnåla läsplatlor och smarta etiketter i färg (figur 3).

DET LJUS SOM GÖR bilder och text synliga på en läsplatta kan komma från solen, som i sin tur lyser genom värmestrålning i ►



FIGUR 3 Illustration (vänster) och reflektionsspektra (höger) som visar hur den strukturella färgen hos en optisk kavitet kan styras med hjälp av en elektroaktiv polymer. Systemet består uppifrån av ett genomskinligt substrat, ett semitransparent metallager, en elektroaktiv ledande polymer, en botten spegel (med hål i för att släppa igenom vatten och joner) och slutligen en vattenelektrolyt med joner i. I korthet är det tänkt att tjockleken på polymeren ökar när polymeren reduceras och drar åt sig joner och vatten. Tjockleksändringen påverkar resonansvillkoret för kaviteten och därmed dess strukturella färg.

¹ Poly(3,4-ethylenedioxythiophene).



FIGUR 4 Foto på en apparat (vänster) som möjliggör elektriskt reglerbar passiv utstrålning kylning, baserat på en reglerbar ledande polymer. Konceptet illustreras till höger.

► det synliga området på grund av dess höga temperatur. Värmestrålning sker dock även för saker som inte är upphettade som solen, men med lägre intensitet och vid längre våglängder.

Objekt (hus, personer, bilar) vid temperaturer som är normala på jorden, runt 20°C, sänder ut infrarött ljus via värmestrålning i ett brett spektrum runt 10 mikrometers våglängd. Det sammanfaller med ett våglängdsområde där jordens atmosfär är genomsläpplig för ljus. Tillsammans med den stora skillnaden i temperatur mellan jorden och yttre rymden kan vi därför, genom värmestrålning, generera ett nettoflöde av energi från jorden till rymden. Den motsvarande värmeförlusten kan användas för att kyla objekt, en effekt som studeras runt om i världen som ett passivt komplement till dagens kylmetoder som slukar stora mängder energi (till exempel AC). I praktiska tillämpningar vore det gynnsamt om konceptet kunde regleras baserat på väder och årstid.

FÖR ATT KUNNA DYNAMISKT reglera den här passiva kylningsprocessen behöver vi förstå vad som påverkar ett materials förmåga att sända ut ljus via värmestrålning (dess *emissivitet*), vilket visar sig vara samma som dess förmåga att absorbera ljus av samma våglängder. Eftersom de flesta material har hög absorption i det infra-

röda området är de även bra på att stråla värme. Det stora undantaget är metaller, som är bra på att reflektera både synligt och infrarött ljus. De är därför dåliga värmestrålare.

Ovan nämndes att ledande polymerer kunde styras elektriskt mellan att bete sig som metaller eller dielektriska material. Genom att variera oxidationstillståndet, och därmed laddningstätheten, hos en ledande polymer kan därför dess förmåga att stråla värme regleras på elektrisk väg.

Med hjälp av en himmelssimulator visades nyligen att denna reglerbarhet kunde ge små men tydliga förändringar i systemets temperatur, vid normala temperaturer och lufttryck. Förhoppningen är att konceptet kan förbättras och vidareutvecklas till en termostat för kylning genom värmestrålning (figur 4).

FÖRMÅGAN ATT KONTROLLERA LJUS har bidragit enormt till samhällets utveckling och till vår förståelse för oss själva och omvärlden. Den här artikeln fokuserar på tre områden där vi kan öka den förmågan med hjälp av ledande polymerer för att elektriskt reglera optiska processer. Exempelen spände olika våglängdsområden och längdskalor: från styrbara nanoantennor och metaytor för ljus strax bortom det synliga, till dynamiska strukturella färger för läsplattor i färg, och slutligen dynamisk reglering av infraröd

värmestrålning och därmed reglering av kylning genom värmetransport till yttre rymden.

Vidareutveckling av dessa, samt utveckling av helt nya, koncept kräver tillämpad och grundläggande forskning inom och tvärsöver olika ämnen, inte minst materialvetenskap, optik och kemi. Jag ser själv fram emot många spännande inriktningar att utforska i gränslandet mellan organisk elektronik och nano-optik.

MAGNUS JONSSON

Linköpings universitet och Stellenbosch Institute for Advanced Study.

Läs mer

S. Chen, E. S. H. Kang, M. S. Chaharsoughi, V. Stanishev, P. Kühne, H. Sun, C. Wang, M. Fahlman, S. Fabiano, V. Darakchieva and M.P. Jonsson, "Conductive polymer nanoantennas for dynamic organic plasmonics", *Nature Nanotechnology* 2020, 15, 35-40.

S. Rossi, O. Olsson, S. Chen, R. Shanker, D. Banerjee, A. Dahlin and M.P. Jonsson, "Dynamically tuneable reflective structural coloration with electroactive conducting polymer nanocavities", *Advanced Materials*, 2021, 2105004.

D. Banerjee, T. Hallberg, S. Chen, C. Kuang, M. Liao, H. Kariis and M. P. Jonsson, "Electrical Tuning of Radiative Cooling at Ambient Conditions", *Cell Reports Physical Science*, 2023, 4, 101274

www.mpsonjonsson.com

Levande experiment

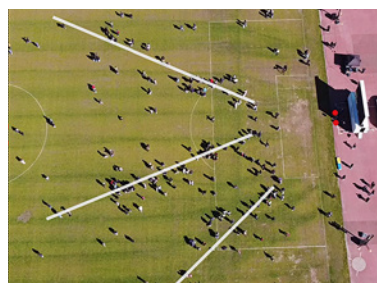
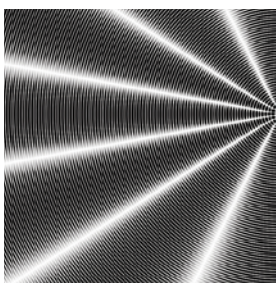
Under Vetenskapsfestivalen 2023 deltog 400 mellanstadieelever i **en storskalig demonstration** av bland annat hur ljud utbreder sig. Demonstrationen gjorde det möjligt att både uppleva fenomenet med hörseln nere på planen, och visuellt med hjälp av drönare som filmade eleverna ovanifrån när de undersökte ljudets utbredning och interferens.

Begreppet "ljudvåg" indikerar att det finns koppling mellan ljud och andra typer av vågor. Redan i antikkens Grekland såg man tecken på att ljud är något som breder ut sig, och Aristoteles jämförde dess utbredning med vattenvågor. Under 1600-talet publicerades det första beviset på att ljud kräver ett medium för att spridas. Robert Boyle visade att ljudintensiteten för en ringande klocka minskade när luften pumpades ut.

EFTERSOM LJUD ÄR ETT så pass vardagsnära fenomen, samtidigt som dess vågnatur liknar mer abstrakta företeelser som ljus och kvantmekanik, är det en god idé att låta elever studera viktiga egenskaper hos ljud tidigt. Det öppnar upp möjligheter för barnen att inte bara få en grundläggande förståelse för vad ljud är, utan också få upp ögonen för andra intressanta vågfenomen i naturen.

För att på ett unikt sätt introducera barn till ljudets fysik, arrangerade en grupp inom institutionen för fysik vid Göteborgs universitet, med stöd från Göteborg & Co. och Thorlabs en storskalig demonstration av ljudvågor som en del av Vetenskapsfestivalen 2023. Till Ullevi i Göteborg bjöds 400 mellanstadieelever och deras lärare in att delta i evenemanget.

Under eventet fick eleverna och deras lärare delta i tre demonstrationer av ljudvågors utbredning. Detta genom att agera mänskliga mikrofoner och förflytta sig eller dra ner plakat de höll över huvudet beroende på hur och när de uppfattade ljud.



Bilderna visar ljudintensitetsnoder. Till höger när eleverna själva identifierade dessa och till vänster en simulering. Högtalarna är markerade med röda punkter och nodlinjerna med vitt.

Genom att filma alla demonstrationer med drönare från ovan, som både visades live på storbildsskärm och delades med lärarna efteråt, skapades en visuell bild av hur ljudet utbreder sig. Eleverna kunde på så sätt inte bara delta i demonstrationen, utan också se hela händelsen från en åskådarens perspektiv. Detta gav dem en möjlighet att få en tydligare uppfattning om ljudets vågnatur.

DEN FÖRSTA DEMONSTRATIONEN gick ut på att visa att ljudet breder ut sig med en given hastighet. Detta visualiserades genom att eleverna placerades längs diagonalen över fotbollsplanen med var sitt plakat över huvudet. I ena ändan placerades en högtalare som sände ut en ton som en puls. När eleverna hörde ljudet, skulle de dra ner sitt plakat.

Demonstration nummer två fokuserade också på ljudets utbredning, men nu ville vi visa att det breder ut sig likadant i alla riktningar. Detta gjordes genom att eleverna spreds ut jämnt över fotbollsplanen och en högtalare i mitten sände ut en ton. När eleverna hörde tonen drog de ner sitt plakat, och i efterhand var det möjligt att se hur plakaten drogs ner på

samma sätt som vattenvågor sprids cirkulärt när en sten kastas i stilla vatten.

Den tredje demonstrationen introducerade fenomenet interferens. Detta genom att sända ut samma ton från två högtalare placerade två meter ifrån varandra. Eleverna var utspridda på planen och skulle förflytta sig i sidled tills de hittade en plats där ljudet upplevdes som extra svagt. I en av filmerna (länkad nedan) går det tydligt att se hur eleverna ordnade sig längs ljudintensitetsnoderna. Fenomenet gav upphov till livliga diskussioner om hur ljudet kan variera i styrka.

SEBASTIAN KILDE LÖFGREN, JAVIER TELLO MARMOLEJO, ANNIE RINGVALL MOBERG, JONAS ENGER, DAG HANSTORP
Institutionen för fysik, Göteborgs universitet

Se mer

Se bilder och filmer från eventet på www.gu.se/fysik/fysik-pa-ullevi





Segev till Storbicka

Melvin Storbicka från Norra Real i Stockholm tog en silvermedalj på den nordisk-baltiska fysikolympiaden. Därmed bärgade han också totalsegern i årets upplaga av **Wallenbergs fysikpris**. Nu väntar den internationella fysikolympiaden, som i sommar arrangeras i Tokyo.

I mitten av april åkte 17 svenska gymnasister till Tallinn för att delta i NBPhO, den nordisk-baltiska fysikolympiaden. Olympiaden är dels en tävling i sig, dels andra delen av finalen i Wallenbergs fysikpris. Hela 88 tävlande ställde upp, merparten från olympiadens ordinarie medlemsländer Estland, Finland, Lettland samt Sverige, men här fanns också gästande lag från Litauen, Serbien, Georgien, Saudiarabien och Vietnam.

Olympiaden bjöd som vanligt på riktigt svåra men intressanta problem: Var finns de två exoplaneterna som får sin värdstjärna att vingla runt i ett systematiskt mönster, hur ändras friktionskraften på en curlingsten när den roterar och hur kan du med hjälp av taklampans ljus bestämma vattnets ytspänning? Att olympiadens meste poängplockare, Vuk Hip från Serbien, bara fick 48 poäng av 72 möjliga säger en hel del om svårighetsnivån. Ändå var tävlingsuppgifterna lite enklare än förra året, andelen utdelade poäng steg i år från 20 % till 33 %.

Fina svenska resultat

Förutom Melvins silvermedalj utdelades hela fem bronsmedaljer till de svenska finalisterna, varav två till Melvins skolkamrater på Norra Real, Mattias Bjerklov och Alvin Palmgren. Det betyder att hela det vinnande laget i årets skollagstävling i Wallenbergs fysikpris får representera Sverige och åka till IPhO, den internationella fysikolympiaden i juli.

De tre resterande bronsmedaljerna gick till Emil Ryd (UWC Red Cross Nordic i Dale, Norge), Milles Åhman (Polhemskolan i Lund) och Markus Farnebäck (Berzeliuskolan i Linköping). Av dessa var det Emil och Markus som plockade ihop flest poäng under den för-



FOTO: OSKAR VALLHAGEN

Nöjda svenska finalister på väg hem efter den nordisk-baltiska olympiaden, med sex medaljer och maskoten Sven.

sta delen av finalen och därför erbjuds vara med i det svenska IPhO-laget.

Ännu bättre gick det för svenskarna på den andra tävlingen som äger rum på NBPhO, den prestigefulla fysikorienteringen där det gäller att vara snabb i både huvud och ben. De svenska gymnasisterna knep hela åtta av de elva översta platserna! Ellen Pelander från Celsiusskolan Uppsala var i en klass för sig. Hon sprang banan på under 23 minuter och var därmed mer än fem minuter snabbare än tvåan.

Mer information om NBPhO, inklusive tävlingsuppgifter, lösningsförslag och resultatlistor finns på olympiadens hemsida, nbpho.se/nbpho-2023.

Fysikvecka i Göteborg

Första delen av finalen ägde rum redan i mars då fysikinstitutionerna på Chalmers och Göteborgs universitet bjöd finalisterna på en träningsvecka i Göteborg. På programmet fanns bland annat fysikens grunder från mekanik till elektromagnetism, träning på experimentell problem-

lösning, besök i MC2:s (Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap) renrum, en utflykt till Onsala rymdobservatorium samt populärföreläsningar om kvantdatorer och hur man ska göra för att få Nobelpris...

På torsdagen hölls den experimentella tävling som ingår som en del av finalen. Här bredvid presenteras de tre uppgifter som ingick i denna. Det är den sammanlagda poängen från denna deltävling och NBPhO som bestämmer finalisternas placering i Wallenbergs fysikpris.

Stort och varmt tack till Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond och Skolverket för generöst ekonomiskt stöd, samt till alla som på olika sätt medverkat under finalen, inte minst Oskar Vallhagen som på ett utomordentligt sätt spelade alla tänkbara roller – provkonstruktör, rättare, lag- och reseledare – under NBPhO.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Göteborgs universitet

Klurigt och disk-kvalificerat

■ Under veckan i Göteborg får finalisterna också delta i en första finaltävling. Här är det främst de experimentella färdigheterna som provas. Tre olika praktiska uppgifter ska lösas och utvärderas, var och en under 80 minuter. Årets uppgiftskonstruktörer var Erik Bryland, Julia Järlebark, David Mörtberg, Lucas Unnerfelt och Oskar Vallhagen, (alla tidigare IPhO-deltagare) samt Max Kesselberg.

I den första uppgiften, *Tung som en fjäder*, skulle finalisterna undersöka hur

stor påverkan en halv slinkys egen massa har på periodtiden när den belastad med vikter får svänga upp och ner. Att den egna massan påverkar syns tydligt redan när fjädern hängs upp, det är klart glesare mellan varven i toppen än i botten på slinkyn.

I den andra uppgiften, *Delningsfilter*, var det just ett hemmabyggt delningsfilter bestående av enbart en kondensator och en resistor som skulle analyseras. Passade filtret till en bas- eller en diskant högtalare? Var låg brytfrekvensen

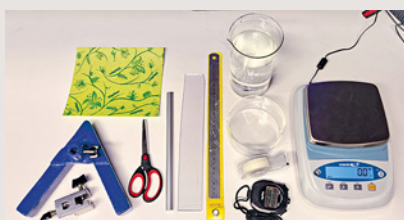
och vilken ”branthet” i såväl enheten dB/dekad som dB/oktav hade filtret? Riktigt klurigt och kvalificerat för gymnasister när begreppet kapacitans inte finns med i ämnesplanen. Men lösningsfrekvensen var god, det här var den uppgift där finalisterna fick med sig flest poäng.

Den tredje och sista uppgiften, *Disk-kvalificerat*, presenteras i sin helhet nedan. Kanske vill du testa själv? Om du är beredd att offra en remsa av disktrasan har du nog övrigt du behöver lätt tillgängligt i köket.

Uppgift 3: Disk-kvalificerad?

■ Kapillärkrafter spelar en stor roll i ett flertal fenomen då vätska transporteras genom tunna kanaler eller porösa material. Dessa krafter uppstår då attraktionen mellan molekylerna i vätskan och den omgivande kanalen blir starkare än den interna attraktionen mellan vätskemolekylerna, vilket innebär att det blir energimässigt fördelaktigt för vätskan att öka sin kontaktyta med kanalen. Som ett resultat av detta kan exempelvis en vätska flöda mot gravitationen och sugas upp i ett tunt rör eller ett poröst material.

Detta förekommer i allt från naturliga fenomen som när växter suger upp vatten genom sina rötter, till tekniska applikationer som de kapillärrör som används vid blodprovstagning.



Utrustningen som deltagarna fick använda till experimentet.

Ytterligare ett vardagligt exempel är vatten som sugas upp i en disktrasa. I denna uppgift ska ni undersöka hur kapillärkrafter beter sig i porösa material, med just en disktrasa som exempel.

Uppgift: Placera disktrasans ena ände i en behållare med vatten och undersök sedan hur den uppsugna vattenmassan

ökar med tiden. Ansätt ett lämpligt matematiskt samband och bestäm den/de parametrar du kan. Det är okej att svara sånär som på en multiplikativ konstant. Motivera även varför det ansatta sambandet är rimligt.

Ledning: I den här uppgiften vill vi reducera påverkan från gravitationen, för att istället isolera effekten av kapillärkraften. Det kan därför vara lämpligt att försöka montera trasan i ett så horisontellt läge som möjligt, och försöka minimera höjdskillnaden mellan trasan och vattnet.

OBS: Experimentet genomförs bäst med en torr, oanvänd disktrasa! Om du förbrukat hela disktrasan och vill ha en ny, kan du be assistenten om det. Observera dock att det medför poängavdrag.

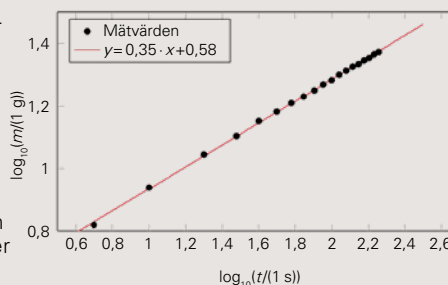
Lösningsförslag

Ställ den till brädden fyllda vattenbägaren på vågen. Låt en avklippt remsa av Wettex-trasan ligga plant på plexiglasskivan och böj ner ena änden på trasan så att den kommer i kontakt med vattnet. Starta klockan och läs av hur vågens utslag minskar allteftersom kapillärkrafterna drar in vattnet i trasan.



När mätvärdena lagts in i ett log-log-diagram avslöjas hur disktrasans uppsugningsförmåga beror av tiden. Uppsugna vattenmängd är proportionell mot tiden upphöjt till $\alpha = 0,35$!

Kommentar från uppgiftskonstruktörerna: ”I ett teoretiskt idealfall, helt i avsaknad av gravitation, förväntar vi oss att $\alpha = 0,5$. I praktiken behöver dock vattnet klättra en liten höjd, och vecket på trasan stryper flödet något, vilket gör att den uppsugna massan växer något långsammare med tiden.”



Log-log-diagram över mätvärdena.

Livet utanför akademien

För många är en avhandling första steget i en forskarkarriär. Men en del väljer att **lämna akademien** efter disputationen. Vi har pratat med några av dem om varför de valde att gå, och vad de gör nu.

Systemingenjör på Saab

Andréas Sundström arbetar med forskning och utveckling av "nya koncept" inom radarteknik på Saab i Göteborg.

Hur hamnade du på just det här jobbet?

– Det första steget för mig var att jag ville ha ett jobb i Göteborg för att slippa flytta. Sedan styrdes valet av vad som verkade tekniskt intressant. Dessutom hade min pappa jobbat på Saab i över 40 år och jag har andra bekanta som redan jobbade där. Sammantaget blev Saab en naturlig startpunkt för mig när jag skulle börja söka jobb.

Har det här jobbet med fysik att göra?

– Ja och nej. Den sektionen på Saab som jag har hamnat i har ett väldigt brett arbetsområde, då vi jobbar med all sorts radarteknik, från signalbehandling, som är mer matematiskt, till elektromagnetiska prover med egen radarutrustning.

Vad gjorde du som doktorand?

– Jag gjorde numeriska simuleringar av laserplasmor. Kort sagt brukar jag beskriva det som att jag simulerade hur olika lasermål exploderar när de träffas av laserpulser med extremt hög intensitet (10^{18} – 10^{20} W/cm²).

Är det några större skillnader/likheter mellan doktorandstudierna och ditt nuvarande jobb?



Andréas Sundström

Ålder: 29 år

Yrke: Systemingenjör på Saab Kallebäck.

Avhandling: Disputerade inom laserplasmafysik på Chalmers 2022.

– Det nuvarande jobbet är ju fortfarande forskningsinriktat med ett arbetssätt som liknar forskningen, fast på en mer tillämpad nivå jämfört med doktorandstudierna. Det finns dessutom flera industridoktorander i vår sektion, så man kan säga att arbetet här ju ändå är likt arbetet som doktorand.

Valde du att söka dig bort från fysiken?

– Man kan väl säga att jag valde att söka mig bort från akademien för att jag inte kunde se någon framtid i Göteborg den vägen. Efter det valet, så begränsades ju de möjliga alternativen till en "ren fysikkarriär".

Hur kändes det i ögonblicket när du "tänkte om" och bestämde dig för att lämna forskarbanan?

– Jag kände nog inte så mycket. Jag hade satt en deadline för mig att bestämma mig i april 2022, om jag skulle stanna i akademien eller inte. Och det vore lögn att säga att jag inte velade fram och tillbaka i början av april, men till slut så landade jag ändå i att lämna akademien, för att istället kunna stanna kvar i Göteborg.

Vad är spännande och utmanande i ditt nuvarande yrke?

– Det mest spännande, och samtidigt utmanande, är att vi ligger precis på gränsen till vad som är tekniskt möjligt och hela tiden försöker tänja den.

Har du några tips till andra som är intresserade av karriärer utanför forskarvärlden?

– Att lämna akademien behöver inte nödvändigtvis betyda att sluta forska. Det finns forskningsinriktade industrijobb också.

Systemutvecklare, projektledare och författare

Mattias Kuldkepp arbetar med systemutveckling och projektledning på ett nystartat företag inom medicinteknik.

Hur hamnade du på just det här jobbet/i det här yrket?

– Genom kontakter från en tidigare arbetsplats.

Har det här jobbet något med fysik att göra? Vad?

– Absolut. Allt från optik och algoritmer till mjukvara, mekanik, elektronik och mätteknik är viktigt.

Vad gjorde du som doktorand?

– Jag studerade fysikaliska processer i fusionsplasma genom att observera optiska spektrallinjer.

Mattias Kuldkepp

Ålder: 46 år

Yrke: Systemingenjör/projektledning, skriver skönlitteratur och har publicerat fem böcker.

Avhandling: Doktorerade på fusionsplasma-spektroskopi.



Vad har du nytta av från doktorandstudierna i ditt nuvarande jobb?

– Förmågan att strukturera arbete och att attackera problem vetenskapligt kan vara det jag främst tagit med mig. En del praktiska lärdomar från arbete med stora system, optik och optiska komponenter har också kommit till nytta.

Är det några större skillnader eller likheter mellan doktorandstudierna och ditt nuvarande jobb?

– Arbetet som doktorand upplevde jag som relativt fokuserat på individen, även om man var del av en större grupp. På de företag jag varit har gruppen och gruppens mål tagit större plats.

Valde du att söka dig bort från fysiken?

– Nej. Jag älskar fysik.

Hur kändes det i ögonblicket när du "tänkte om" och bestämde dig för att lämna forskarbanan?

– Jag hade tidigare erfarenhet av industrin och valde att kliva bort från forskningen då en industrikarriär erbjöd ett enklare liv på det personliga planet med många olika vägar att gå. För mig kändes det som ett viktigt val men jag kände mig själv tillräckligt väl för att det inte var något jag tvingades ligga vaken och grubbla över någon längre tid.

Vad är spännande och utmanande i ditt nuvarande yrke, och har du några tips till andra som är intresserade av karriärer utanför forskarvärlden?

– Samordning av teknik och människor är mycket spännande. Likaså spelet mellan hårdvara och mjukvara. På fritiden skriver jag nuförtiden skönlitteratur och kombinationen av teknik och kultur har blivit en mycket spännande del av mitt liv. För den som funderar på en karriär inom industrin så tror jag man inte ska underskatta vikten av att bygga ett personligt kontaktnät, ta tillvara möjligheter för fortbildning, vara nyfiken och läsa på om vilka företag som är aktiva i branschen du är intresserad av. Många tekniska arbetsplatser har även behov av tvärvetenskapligt arbete vilket kan vara både utmanande och stimulerande. Räkna med att måldatum på projekt ofta räknas i månader, kvartal eller enstaka år, inte i många år eller årtionden som ibland kan vara fallet inom forskarvärlden.

Fitbit-forskare på Google

Louise Anderson-Conway arbetar som forskare på Google i San Francisco, i Fitbits forskningsteam.

Hur hamnade du på just det här jobbet/i det här yrket?

– Efter ca 10 år inom den akademiska världen lämnade jag den i början av 2021 för en tjänst inom Googles AI residency-program. Där arbetade jag med en forskargrupp och forskade på algoritmer inom maskinlärning. Efter 14 månader där letade jag efter något mer tillämpat, och ett team inom Fitbit letade efter någon för att utveckla nya algoritmer genom maskinlärning från deras sensordata, så det passade perfekt!

Har det här jobbet något med fysik att göra? Vad?

– I grunden kommer signalerna vi tittar på från ett reflektionsspektrum från vävnaden under där smartklockan bärs, men det är mer signalbehandling än ren fysik. Med det sagt är det väldigt nyttigt att ha förståelse för hur ett reflektionsspektra och fotodioder fungerar, då vi behöver ta hänsyn till saker som vilken våglängd är bäst lämpad för det vi vill mäta, vilken optisk väg som är mest användbar och liknande, men det är inte något som kommer upp varje dag.

Vad gjorde du som doktorand?

– Jag forskade på supersymmetriska fältteorier, en typ av kvantfältteorier där det finns en symmetri mellan bosoner och fermioner – mellan kraftpartiklar och materipartiklar. Dessa kusiner till våra vanliga kvantfältteorier har den fantastiska egenskapen att man ibland kan beräkna observabler exakt, även vid stark växelverkan mellan partiklar, vilket i vanliga



Fitbit är ett företag (ägt av Google) som bland annat producerar smartklockor, stegräknare och andra produkter som mäter användarens rörelser. På bilden håller Louise Anderson-Conway ett föredrag om sitt arbete på Gothenburg Artificial Intelligence Alliances konferens.

kvantfältteorier ofta är omöjligt. Dock är de supersymmetriska teorierna inte helt olika de välkända kvantfältteorierna som styr vår värld, så de fungerar som utmärkta laboratorier för att förstå vanliga kvantfältteorier. Jag tillhör också den grupp som fortfarande hoppas vi hittar supersymmetriska partiklar vid exempelvis LHC i framtiden, vilket skulle ta de supersymmetriska teorierna från mer än intressanta laboratorier, men även om de stannar där är de enormt rika teorier som lärt oss mycket!

Vad har du nytta av från doktorandstudierna i ditt nuvarande jobb?

– Den största nyttan har jag av de grundläggande problemlösningsmetoderna jag utvecklade under mina doktorandstudier. Att inte bli rädd för något som verkar vara ett stort och överväldigande problem, utan istället kunna organisera det och bryta ner det i mindre, hanterbara bitar. De kunskaperna är tillämpningsbara på så mycket mer än bara det specifika området du doktorerade i.

– Sen råkar mycket av matematiken från Lagrangeformuleringen av fältteorier och maskinlärning vara den samma (allt är optimeringsproblem ▶



Louise Anderson-Conway

Ålder: 33 år

Yrke: "Research Scientist" på Google.

Avhandling: Doktorerade på en avhandling om supersymmetriska kvantteorier.

► med vissa bivillkor), men det spelar inte så stor roll i vardagen.

Är det några större skillnader eller likheter mellan doktorandstudierna och ditt nuvarande jobb?

– De största skillnaderna är att vara på ett företag och forska mot att vara inom akademien. Inom akademien hade jag väldigt stor frihet vad jag ville forska på, här har vi en produkt vi ska bygga, och i slutändan måste vi prioritera inom teamet och komma överens om vilka funktioner vi vill ha med.

– Det är ett mycket större maskineri för att få sådant att gå i lås, så det är många möten, mycket synkande med folk från andra team, från hårdvara till UX-design, samt de som sköter våra studier. Eftersom vi hanterar hälsodata från frivilliga för att utveckla algoritmer är det också mycket mer fokus på säkerhet och hårda regler kring hur data hanteras, vilket är väldigt annorlunda mot att arbeta med teoretisk fysik (oftast har inte kvantfälten några synpunkter på hur vi hanterar deras data).

– Detta har också fördelar. Jag upplevde att jag inom min fysikforskning ibland satt för mig själv väldigt mycket och gjorde något som kanske bara ett fåtal var intresserade av. I mitt nuvarande jobb är det totala motsatsen: så många människor är beroende av och har synpunkter på det jag gör!

Valde du att söka dig bort från fysiken?

– Sorgligt nog var det till sist arbetstryggheten. Jag gjorde två postdocs efter att jag disputerat, och jag var helt enkelt trött på att flytta mellan länder. Jag var på Stanford innan jag började på Google, och hade där flera kollegor som bytt över till Google långt innan jag funderade på att lämna. Alla de verkade väldigt nöjda med sina val. De hade stimulerande och utmanande jobb, tillsvidarejänster, och arbetade inte mer än 40h/vecka – allt med långt över dubbla min lön som postdoc.

– Jag började också känna att vardagen inom forskningslivet var ganska ensam. Även om jag hade fantastiska samarbetspartners på mina projekt tillbringade vi ändå mesta delen av tiden ensamma och synkade några gånger i veckan. Under pandemin blev detta mer tydligt, och jag började fundera över om jag verkligen

gjorde så stor skillnad där jag var.

– Efter att ha grävt lite mer i möjligheten att övergå till en karriär inom maskinlärning insåg jag att det lät som en ganska bra tillvaro, och även om jag saknar att undervisa så är jag på det stora hela väldigt nöjd med mitt val.

Hur kändes det i ögonblicket när du ”tänkte om” och bestämde dig för att lämna forskarbanan?

– Det kändes så konstigt! Sen jag var i förskoleåldern hade jag haft siktet inställt på att forska. Men jag trivdes inte så bra i vardagen där. Det blev för ensamt och kändes för isolerat. Och det tog lång tid att bli tillfreds med att min dröm inte matchade verkligheten.

Vad är spännande och utmanande i ditt nuvarande yrke?

– Det jag gillar mest är känslan att försöka bygga något nytt! Att komma på en kombination av sensorer och algoritmer som gör att vi kan mäta nya saker. Det är kul problemlösning och ett stort team duktiga människor att jobba med.

Har du några tips till andra som är intresserade av karriärer utanför forskarvärlden?

– Det finns kul saker även utanför forskning, och fler ställen där man får göra nya saker. Det mesta är roligt när man lär sig mer om problemen. Och att faktiskt ha en balans mellan arbete och fritid är fantastiskt skönt det med!

Konsult på optikföretag

Sara Mikaelsson är optikkonsult på företaget Eclipse optics.

Hur hamnade du på just det här jobbet?

– Jag kan optik, och ville kunna använda det jag lärt mig.



Sara Mikaelsson

Ålder: 32 år

Yrke: Konsult.

Avhandling:

”Short Attosecond Pulse Trains at High Repetition Rates for Novel Pump-Probe and Coincidence Studies”.

Har det här jobbet något med fysik att göra? Vad?

– Ja, mycket! Jag får använda mina optikkunskaper dagligen.

Vad gjorde du som doktorand?

– Laserfysik och atomfysik.

Vad har du nytta av från doktorandstudierna i ditt nuvarande jobb?

– Förutom ämneskunskapen, som jag får använda mycket, så har jag blivit bra på att söka upp och ta till mig information. Doktorandstudierna ger en stor kunskapsbas även utanför ens specialområde,

och man får mycket erfarenhet av att ständigt sätta sig in i nya saker!

Har du haft någon nytta av dina undervisningserfarenheter?

– Ja, jättemycket nytta! Att kunna kommunicera tydligt är jätteviktigt i mitt jobb, och likaså att snabbt kunna presentera något på ett pedagogiskt sätt. Som expertkonsult är det viktigt att kunna förklara lösningar för någon som inte är så insatt i ämnet.

Är det några större skillnader eller likheter mellan doktorandstudierna och ditt nuvarande jobb?

– Det är nytt med korta, snabba arbetsuppgifter. Men det är också roligt och omväxlande. Förutsättningarna är väldigt annorlunda. Man ska kunna producera, och inte bara göra något en gång.

Valde du att söka dig bort från fysiken? Akademien?

– Nej, jag letade efter ett arbete där jag får jobba med fysik och optik. Förutsättningarna i akademien är för svåra att få att fungera för mig...

Hur kändes det i ögonblicket när du ”tänkte om” och bestämde dig för att lämna forskarbanan?

– Jag kände mig klar med det när jag skrev färdigt min avhandling, och jag ville inte flytta utomlands. Det var både en lättnad, för det påverkade hur bra avhandlingen behövde bli, men också lite tomt.

Vad är spännande och utmanande i ditt nuvarande yrke?

– Roligast är att man får göra mycket fler olika saker – det är så varierande. Jag gillar att det är mer tillämpad fysik, och att det jag gör blir en praktisk sak och inte bara en publikation.

Har du några tips till andra som är intresserade av karriärer utanför forskarvärlden?

– Jag är jätteglad att jag har hittat ett spännande arbete som passar min bakgrund. Det finns mycket kul i industrin!

E-sportsanalytiker

Joachim Björsell jobbar som data scientist/programmerare på Skybox Technologies, en dansk start-up som gör analysverktyg för e-sportutövare och analytiker.

– I stora drag handlar det om att skapa tjänster som gör att utövare och lag kan förbättras på bästa möjliga sätt, samt att ge analytiker verktyg som hjälper dem i deras arbete att hitta intressant information, säger Joachim.

– I grunden är det som att analysera vilken annan sport som helst. Det kan handla om att se hur effektiva taktiker är i olika situationer, hitta mönster hos sig själv och/eller sina motståndare, eller att identifiera individers styrkor och svagheter för fokusera sin träning på bästa

möjliga sätt. Den stora skillnaden mot att analysera traditionell sport är att e-sport sker i en digital värld, vilket betyder att stora mängder data finns tillgänglig.

– Arbetet som data scientist i ett relativt litet företag är också väldigt varierat, och mycket handlar om att skapa en välfungerande infrastruktur.

Hur hamnade du på just det här jobbet/i det här yrket?

– Under mina doktorandstudier inom elektroteknik med specialisering mot signalbehandling jobbade jag med kanalprediktioner. Under den perioden växte maskininlärning som fält väldigt snabbt. Även om jag inte använde mig av metoderna så läste jag på en del om detta och blev generellt intresserad av informationsteori.

– Sedan långt tillbaka har jag också haft ett stort intresse för e-sport. Efter att jag själv slutat spela aktivt så har e-sport som underhållning vuxit enormt och jag har titta mycket på tävlingar. Att applicera informationsteori på e-sport kändes som en självklarhet, och växte snabbt till en passion för mig.

– I samband med sändningarna av en tävling i Counter Strike: Global Offensive (CS:GO) så utlystes en annan tävling. Uppgiften var att förutse vinnaren av en runda, givet en datapunkt från någon tidpunkt under rundan. Det fångade mitt

Joachim Björsell

Ålder: 31 år

Yrke: Data scientist inom e-sportanalys.

Avhandling: Prediktion av radiokanaler för fordon vid höga hastigheter, med fokus på konceptet prediktionsantenn (predictor antenna). Avhandlingens titel är "Predictor Antennas: Enabling channel prediction for fast-moving vehicles in wireless broadband systems".



intresse, men jag hade inte tid att göra ett sådant arbete själv. Jag kontaktade därför Skybox Technologies för att se om de var intresserade av ett samarbete i mindre skala. Det resulterade i ett småskaligt hobbyarbete för min del som två år senare, efter att jag avslutat mina doktorandstudier, blev en heltidsanställning.

Har det här jobbet något med fysik att göra? Vad?

– Än så länge har det väldigt lite med fysik att göra.

Vad har du nytta av från doktorandstudierna i ditt nuvarande jobb?

– Det beror väldigt mycket på den specifika uppgiften/projektet jag jobbar med. Många uppgifter använder väldigt enkla teoretiska metoder, om någon.

– Den största generella nyttan är att kunna ta beslut baserat på en djupare (och ibland bredare) kunskap än vad jag skulle ha utan att ha doktorerat.

Är det några större skillnader eller likheter mellan doktorandstudierna och ditt nuvarande jobb?

– Skillnader finns det gott om, och likheterna är få. Medan doktorandstudierna krävde mycket individuellt arbete med hög noggrannhet, så är det här mycket större fokus på att jobba effektivt i grupp och att få tillräckliga resultat så fort som möjligt. Ett grupp fokuserat arbete ställer också större krav på organisation av mjukvara, dokumentation och säkerhet, vilket också blir en större del av arbetet.

Valde du att söka dig bort från fysiken?

– Jag valde att söka mig till informationsteori och letade efter en tillämpning som jag personligen brinner för. Det var



E-sport är idag en miljardindustri, med hundratals miljoner tittare världen över. Här en tävling i spelet Counter Strike: Global Offensive i Columbus, Ohio, 2016.

► alltså inte så mycket att komma bort från något som att söka sig till något specifikt.

Hur kändes det i ögonblicket när du "tänkte om" och bestämde dig för att lämna forskarbanan?

– För mig är akademien inte enda sättet att få forska. Jag anser att forskning inom vissa områden kan och bör utföras i både akademien och i vinstdrivande syfte.

– Jag brinner fortfarande för forskning, men trivs bättre i en företagsmiljö där lagarbete och "tillräckligt" ofta är överordnat individer och noggrannhet. Men jag anser mig alltså inte ha lämnat forskarbanan.

– Jag ser också en möjlighet att återvända till akademien om min inställning ändras efter att ha jobbat med något annat ett tag.

Vad är spännande och utmanande i ditt nuvarande yrke?

– E-sport är en snabbt växande industri och det finns många informationsteoretiska metoder som kan appliceras på området. Till skillnad från många andra områden så finns det en extremt stor mängd data och begränsningarna ligger i nuläget på den arbetskraft som finns i området, och infrastrukturen gällande inhämtning, lagring och strukturering av data.

– Jag ser e-sportanalys som ett stort, öppet, oexploaterat fält där svårigheten ligger i att välja vilket av alla möjliga problem som ska lösas först, snarare än att fundera vilka problem som är möjliga att lösa.

Har du några tips till andra som är intresserade av karriärer utanför forskarvärlden?

– Mitt generella tips är att ta initiativ själv till det man vill. Fundera på vad du vill göra och varför. När du har hittat ett eller flera ställen som känns spännande så ta initiativ.

– Det finns fler sätt att få ett jobb än att vänta på utlysning av tjänster och söka dessa.

– Samma sak gäller även inom forskningsvärlden och akademien – även om akademien ibland kan vara lite mer fyrkantig.

Fyra olikaformade glas visar tydligt hur ljuset fokuseras olika och hur viktigt det är att anpassa fotens höjd i förhållande till kupans radie.

En brännande fråga om optik

Vinglas består vanligen av en kupa på en fot. Men i solskenet förvandlas den runda formen, fylld med vin, lätt till ett **brännglas**.

Det är en vacker försommardag i Lund och solens strålar har lockat ut oss för att inleda helgen på en uteservering på Clemenstorget. Spårvarnen rullar vidare från det ombyggda

torget upp mot Max IV och ESS, men vi stannar kvar och beställer in vars ett glas vin. Det må vara lite småkul och trendigt med orangea viner, men vi beställer istället in en sval Riesling vars höga syra passar



TULPANFORMAT IKEA-GLAS
– fokuserar på bordet.

RIEDEL RIESLING
– fokuserar över
bordet.

RIEDEL BAROLO
– fokuserar väldigt
bra på bordet.

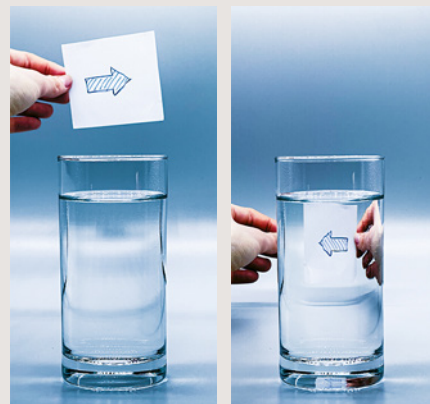
RIEDEL SYRAH
– fokuserar ganska
bra på bordet.

FOTO: JOHAN MAURITSSON

Enkelt experiment

Ett annat kul optikexperiment som man kan göra med dricksglas är illustrerat i bilderna till höger. Precis som en sfär fungerar ganska bra som lins, fungerar en cylinder ganska bra till att fokusera ljus i en dimension.

Genom att placera ett föremål med en tydlig riktning (som en pil) bakom ett cylindformat glas fyllt med vatten kan effekten illustreras. Det första som observeras är att pilen vänds och det andra är att om föremålet och observatören är på samma avstånd från glaset när bilden är skarp så är pilen lika stor (fast omvänd) i båda positionerna.

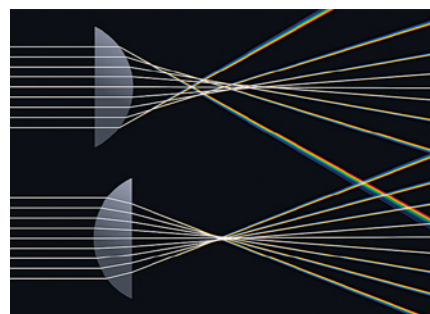


där den söta körsbärssmaken fint balanse-
rar upp de matvänliga tanninerna. En ung
Riesling som istället serveras till vårens
getostar vinner på en tydligare syra och ett
mindre glas, så att inte vinet hinner vär-
mas upp för mycket innan det är dags att
fylla på mer. Champagnens fina bubblor
förtjänar en helt egen artikel, kanske blir
det till nyårsnumret?

Att forma glaset beroende på vad som
serveras i dem har kanske gått till över-
drift, och helt säkert är att man inte behö-
ver ett glas till varje druva som det går att
göra vin på, eller ens ett för varje distrikt.
Men visst är det skillnad på att dricka ett
gott vin vid rätt temperatur ur ett fint glas
med en tunn, slipad kant snarare än ur ett
tjockt IKEA-glas. Sitter man dessutom på
en uteservering i vårsolen har man inte så
mycket att klaga på.

SOM FYSIKER NOTERAR MAN dock att
vinglastillverkarna har missat en viktig
parameter i designen av sina glas. För att
undvika olyckor som den som beskrivs
ovan borde höjden på glasets fot anpas-
sas efter vilken radie som undersidan av
glasets kupa har. Framförallt då vita vi-
ner serveras kan vätskan i glaset forma en
fin plan-konvex lins som, om det vill sig
olyckligt, fokuserar vårsolens strålar på
servetten som snabbt tar fyr...

Den skapade linsen fokuserar inte det
inkommande ljuset helt perfekt, eftersom
den plana sidan är vänd mot de parallella
inkommande strålarna. Brytningsfel i en
lins blir mindre om ljuset bryts ungefär



För att minimera brytningsfel i en plan-
konvex lins bör de inkommande parallella
strålarna först möta den konvexa ytan.

lika mycket i linsens båda ytor. För en
plan-konvex lins betyder det att inkom-
mande parallella strålar ska möta den kon-
vexa ytan för att minimera brytningsfelet.
Så linsens orientering kanske inte är op-
timal för att fokusera ljuset, men det gör
också att fokallängden inte ändras när du
dricker ditt vin, utan den bestäms hela ti-
den av radien på glaskupans botten.

Det är alltså lätt att beräkna fokal-
längden och i glasdesignen välja en höjd
på glasfoten som inte är densamma som
fokallängden (variationer i brytningsin-
dex för olika viner torde ha relativt liten
effekt, men är väl värda fortsatta studier
på olika uteserveringar). Brinnande ser-
vetter och brännmärken på borden talar
sitt tydliga språk om att glastillverkarna
är oinsatta i denna aspekt av glasdesignen.

JOHAN MAURITSSON
MALIN SJÖÖ
Lunds universitet

utmärkt som aptitretare. Vinet som ställs
fram gnistrar i vårsolen och det känns lite
kontinentalt att sitta på en uteservering
och titta på personerna som passerar förbi.

Plötsligt luktar det rök och vi ser oss
omkring och inser snart att det kommer
från en servett på vårt bord. Vårsolen
gnistrar inte bara vackert i glaset, vinet
formar också en lins som fokuserar ner
ljuset på bordet och har fått servetten att
antända!

VINETS KARAKTÄR PÅVERKAS av hur gla-
set man dricker det ur är format, och olika
druvor kommer bättre till sin rätt i glas av
olika utformning. Ett stort, rundat glas
förstärker de finstämda dofterna av te och
nypon i ett Nebbiolovin från Piemonte,

Sonden som kraschade

Den 27 september 2022 klockan 01:14:24 svensk tid slog NASA:s rymdsond DART (Double Asteroid Redirection Test), med en massa på 570 kg och en relativ hastighet på dryga 6 kilometer i sekunden, ned på asteroidmånen Dimorphos. I de flesta fall betyder en **kollision med en himlakropp** ett misslyckat rymduppdrag, men i DART:s fall var det tvärtom en succé.

Asteroider, kometer och meteoroider har bombarderat jorden sedan planeterna blev till för dryga 4,5 miljarder år sedan, och denna process pågår också idag. Medan meteoroider – himlakroppar med en diameter på mindre än en meter – mer eller mindre kontinuerligt träffar jordens atmosfär, kolliderar asteroider och kometer mer sällan, eftersom de helt enkelt är färre till antalet. Eftersom kometernas andel av de himlakroppar som kan kollidera med jorden är en bråkdel jämfört med asteroider ligger det planetära försvarets fokus på asteroiderna.

Tack vare framför allt USA:s insatser under de senaste tre decennierna känner vi idag till mer än 95 % av alla de asteroider som skulle kunna förorsaka global förödelse – typiskt gäller det himlakroppar med en diameter på mer än en kilometer. I genomsnitt kolliderar en sådan med vår planet två gånger under en tidsperiod på en miljon år. Ingen av dessa stora närasteroider utgör dock ett hot för mänskligheten under de kommande 100 åren.

Av de mindre kropparna, med en diameter från några meter till några tiotals meter, känner vi bara till en liten bråkdel. Å andra sidan utgör de inte ett nämnvärt hot, även om kollisioner inträffar årligen. Närasteroider med en diameter från flera tiotals meter upp till flera hundra meter kan däremot orsaka regional förödelse, och kolliderar med jorden ungefär en gång under ett århundrade. Största delen av dem har dessutom fortfarande inte hittats. De utgör alltså den primära gruppen asteroider vars bana kan, och möjligen behöver, ändras för att förhindra en framtida kollision. Och det är här DART-uppdraget kommer in.

ATT ÄNDRA EN ASTEROIDS bana genom att krascha in i den kräver till att börja med att man klarar av att träffa målet. Typiskt är storleken på asteroiden några hundra meter och den relativa hastigheten mellan asteroiden och sonden flera kilometer i sekunden. Dessutom är det ytterst viktigt att man klarar av att ändra asteroi-

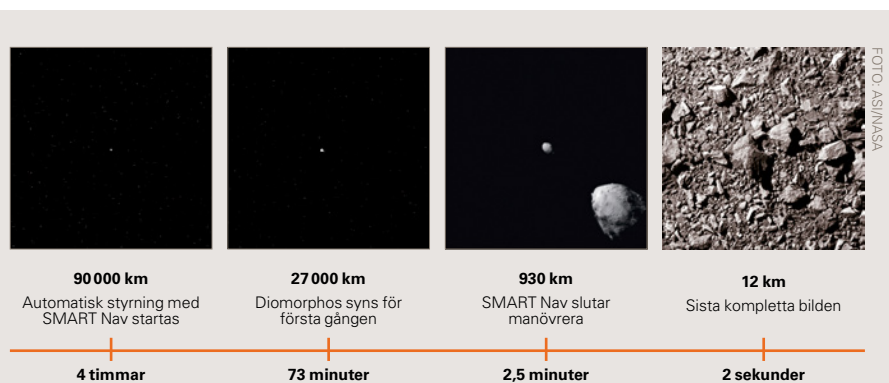
dens bana på precis rätt sätt, så att den inte hamnar på en bana som leder till en kollision längre in i framtiden.

I princip kan man simulera kollisionen i förväg med hjälp av numeriska modeller och uppskatta banans förändring. Men även om numeriska simuleringar av asteroiders kollisioner med andra asteroider har körts i flera decennier så har grundproblemet hela tiden varit att modellerna bara har verifierats experimentellt på mycket korta längd- och tidsskalor i laboratorieförhållanden. Därför har man inte helt kunnat lita på att alla relevanta aspekter tagits i beaktande i de modeller som beskriver kollisioner mellan asteroider, eller mellan asteroider och rymdsonder.

För att kunna observera en kollision och mäta förändringen i asteroidens bana med jordbaserade teleskop inom en rimlig tid efter kollisionen, valde man i DART-uppdraget att kollidera med en asteroidmåne när systemet befann sig närmast jorden. Det bästa målet för uppdraget var vid tillfället Didymos-Dimorphos systemet, där Dimorphos, med ungefär 160 meter i diameter, kretsar kring Didymos med en diameter på ungefär 760 meter. Avståndet mellan asteroiderna är ungefär 1 200 meter.

DART-uppdraget hade fyra huvudmål:

1. Kollidera med asteroidmånen Dimorphos.
2. Ändra Dimorphos omloppstid med minst 73 sekunder.
3. Mäta ändringen i Dimorphos omloppstid med en felmarginal på mindre än 7,3 sekunder med teleskopiska observationer.
4. Mäta den så kallade β -parametern, som beskriver förändringen i asteroidens rörelsemängd, där $\beta = 1$ betyder att sondens



FIGUR 1 Ett urval bilder från DART:s DRACO-kamera samt viktiga skeden under uppdraget under de sista fyra timmarna innan rymdsondens nedslag på Dimorphos.

hela rörelsemängd övergått till asteroiden. Baserat på numeriska simuleringar innan nedslaget uppskattade man att β skulle ligga mellan 1 och 5, där ett tal större än 1 betyder att rekyl från det uppslungade materialet ger en extrakick åt asteroiden. Ju mera material som slungas upp, desto större blir värdet på β -parametern.

NASA PÅBÖRJADE DART-UPPDRAGET år 2017 och bara fyra år senare, den 24 november 2021, var det dags för uppskjutning. Efter 10 månader och ett varv runt solen nådde DART och den italienska nanosatelliten LICIACube fram till dubbelasteroiden Didymos-Dimorphos. Under de sista fyra timmarna innan kollisionen navigerades och styrdes DART automatiskt av det så kallade SMART Nav-systemet. Jorden låg då på 11 miljoner kilometers avstånd från dubbelasteroiden, och det skulle ha tagit för lång tid att skicka kommandon härifrån.

Asteroidmånen Dimorphos syntes inte på bilderna från DART:s kamera DRACO förrän 73 minuter innan kollisionen, och det var bara under de sista minuterna som den var större än en pixel (figur 1). LICIACube, som separerade från DART 15 dagar tidigare, flög knappt tre minuter efter kollisionen förbi dubbelasteroiden på 57 kilometers avstånd och tog bilder av asteroiderna samt den uppslungade materian (figur 2). Det första målet hade uppnåtts.

DIDYMOS-DIMORPHOS-SYSTEMET och DART:s kollision med Dimorphos följdes av minst 45 teleskop, som till exempel Europeiska sydobservatoriets (ESO) fyra VLT-enheter (Very Large Telescope) i Chile och NASA:s rymdteleskop Hubble och JWST, samt radioteleskop i Goldstone och Green Bank, USA.

Största delen av de fotometriska observationer som krävdes för att bestämma omloppstiden efter kollisionen gjordes av de minsta teleskopen, eftersom dubbelasteroiden, på grund av det korta avståndet till jorden, var rätt ljusstark. De större teleskopen användes för motsvarande observationer innan kollisionen, och radioteleskopen användes som en planetär radar som gav en oberoende uppskattning

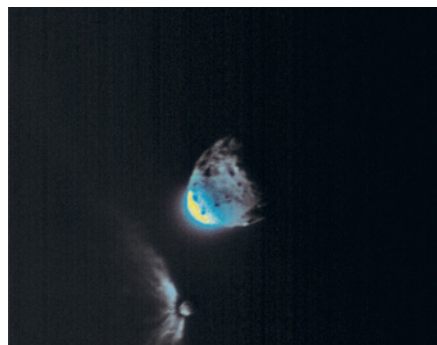
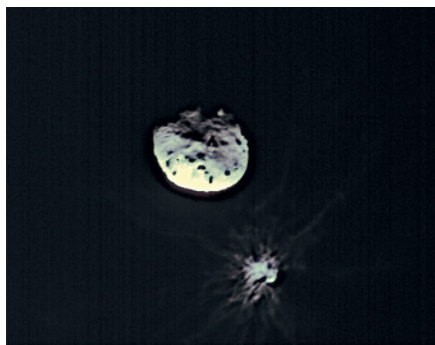


FOTO: ASINASA

FIGUR 2 Bilder med Didymos (uppe) och Dimorphos (nere) ungefär tre minuter efter DART:s nedslag. Den uppslungade materian syns tydligt på vänster sida av Dimorphos. Bilderna togs automatiskt med LICIACube:s LUKE-kamera 8 sekunder innan (vänster) och 7 sekunder efter (höger) den var närmast Dimorphos då avståndet till asteroidmånen var 76 km respektive 71 km.

av omloppstiden både före och efter kollisionen.

Det visade sig att omloppstiden förkortades mycket mer än de nominella simuleringarna hade förutsett – hela 33 ± 1 (3σ) minuter, från 11 timmar och 55 minuter till 11 timmar och 22 minuter. Det andra målet hade därmed också uppnåtts och med ytterligare observationer, som fortfarande pågår, kommer det tredje målet troligtvis också att uppnås.

DET SISTA MÅLET, att uppskatta värdet på β -parametern, har också uppnåtts och värdet ligger i skrivande stund på $3,61 + 0,19 - 0,25$ (1σ). I oktober 2024 ska ESA skicka upp rymdsonden Hera för ytterligare mätningar av Didymos-Dimorphos-systemet, och efter det kommer felmarginalerna att minska betydligt.

Det stora värdet på β -parametern betyder att DART:s rörelsemängd inte hade så stor betydelse för förändringen av omloppstiden som förutspåts av numeriska simuleringar, utan det viktiga var rekyl från materian som slungades iväg vid kollisionen. Orsaken till att förändringen i perioden, och därmed också β -parametern, blev så stor är att mer materia än beräknat lämnade asteroiden, vilket också observerades av de jordbaserade teleskop som följde nedslaget. Orsaken till detta var att asteroiden visade sig vara en hög av grus och stenar, snarare än en solid stenklump.

Dubbelasteroiden har fortfarande, runt 6 månader efter nedslaget, en svans som liknar den man kan se på så kallade aktiva asteroider. Sannolikt kommer den

också att användas som en referenspunkt för studier av dessa i framtiden.

PRELIMINÄRT KAN VI ALLTSÅ notera att uppdraget varit mycket lyckat. Vi har i praktiken nått alla huvudmål, och samtidigt visat att det går att genomföra ett uppdrag av den här typen på ytterst kort tid, jämfört med den typiska tidsskalan för rymdprojekt. Det är också tydligt att när vi i framtiden behöver ändra på en asteroids bana är det ytterst viktigt att inkludera en rekognoseringssond i uppdraget, för att försäkra oss om att nedslaget inte leder till icke-önskvärda resultat.

Även om Sverige inte direkt finansierar varken DART eller Hera, utnyttjar båda svensk hårdvara. Datorerna på rymdsonderna är tillverkade av Göteborgsbaserade Frontgrade Gaisler. Dessutom medverkar forskare vid Luleå tekniska universitet i de vetenskapliga teamen för båda uppdragen, bland annat som initiativtagare till polarimetriska observationer med både VLT och Nordiska optiska teleskopet.

MIKAEL GRANVIK
Luleå tekniska universitet
Helsingfors universitet

Läs mer

Cheng, A. F. et al. 2023, "Momentum Transfer from the DART Mission Kinetic Impact on Asteroid Dimorphos", *Nature*, (2023).

Daly, R. T. et al. 2023, "Successful Kinetic Impact into an Asteroid for Planetary Defense", *Nature*, accepted.

Thomas, C. A. et al. 2023, "Orbital Period Change of Dimorphos Due to the DART Kinetic Impact", *Nature*, (2023).

Magnetiska monopoler kryper in i leksakslådan

Magneter som **alltid attraherar varandra**, hur man än vrider på dem. Jodå, såna finns, och inte i några avancerade laboratorier utan i lekbackar i barnkammare och på förskolor. Här möjliggör de byggandet av platonska kroppar, fantastiska fordon och allt annat du kan hitta på.

Du har kanske sett dem redan, de färgglada platta byggbitarna som med ett litet klick fäster i varandra hur du än vrider och vänder på dem. I ena stunden sammanfogade till ett högt torn för att strax därpå ha förvandlats till en bil med släp eller ett pariserhjul. Ett riktigt roligt och kreativt lekmaterial för alla från tre år och uppåt.

Hemligheten bakom den listiga läsmekanismen mellan byggplattorna är starka neodymiummagneter som är fritt rörliga i små hålrum i plasten. Magneterna kan alltså alltid vända rätt sida till för att det ska bli attraktion mellan byggbitarna.

Samma teknik har också dykt upp i andra leksaker, bland annat i ändarna på lok och vagnar hos tråttågstillverkaren Brio. Men nu blir fysikläraren i mig mer tveksam. Varifrån ska eleverna framöver få erfarenhet av att det inte bara finns attraktiva krafter mellan magneter utan även repulsiva? Upptäcka att osynliga krafter som verkar på avstånd gör att man kan flytta på saker utan att vidröra dem?

Att eleverna redan som små barn har tvingats lära sig att man måste vända rätt sida av en vagn mot loket för att få den att fastna har varit en stabil plattform som lärare kunnat utgå ifrån när det är dags att ta upp magnetiska fenomen i skolan. Varför har då Brio bytt ut de fasta magneterna mot vändbara?

PÅ FRÅGAN OM VARFÖR de infört vändbara magneter i sitt tråttågssystem svarar Stina Wallin på Brio:



De färgglada byggbitarna av plast fäster i varandra hur du än vänder och vrider på dem.



I Brios tågset för de yngsta barnen används numera fritt rörliga magneter så att det alltid blir attraktion mellan tågdelarna. Detta markeras med en symbol för "rörlig magnet" på leksaksken.

– Polariteten i magneterna på våra tåg är något som är en otroligt spännande del av leken och som vi vill uppmuntra barnet att utforska. Vi använder magneter på loken men även för att lyfta och lasta lekdelar mellan olika platser i ett järnvägsset. Varje vagn och lok i järnvägsleken bär en liten utmaning för barnet som förlänger leken, på samma sätt som skenornas hane/hona-koppling är klurigt att få ihop, och detta är något som vi inte på något sätt vill frånta barnet.

– De vändbara magneter som finns i sortimentet, har vi infört i järnvägsleken för barn som är cirka 1–2 år, där magneterna inte blir en utmaning och utvecklande lek, utan en frustration som hindrar leken. De vändbara magneterna använder vi aldrig i våra leksaker för +3 år, utan bara i den kategori som heter "My First Railway" som är ett första steg in i järnvägsleken där vi fokuserar på frustrationsfri lek.

Stina Wallin på Brio poängterar också att det rör sig om 1 % av produkterna som innehåller vändbara magneter.

– Vi har alltså inte bytt ut magneter mot de vändbara, utan bara kompletterat med två produkter där de ingår.

KARIN ANDERSSON OCH Malin Fredlund arbetar på varsin 1–3-årsavdelning på en förskola i Vårgårda. Båda har många års erfarenhet av att arbeta med små barn och de är lite kluvna i sin inställning till Brios övergång till vändbara magneter i de tåg som är avsedda för de yngsta barnen.

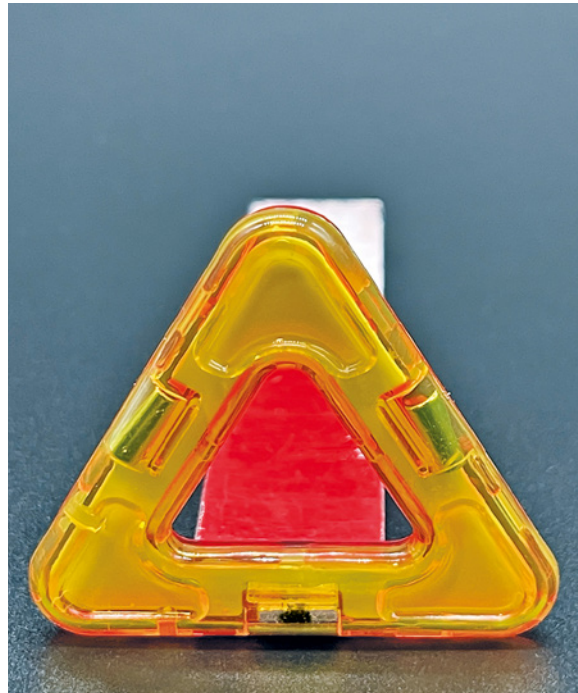


FOTO: JOHAN MAURITSSON

I hålrum i plasten ligger fritt rörliga cylinderformade magneter som alltid kan vända rätt sida till för att få attraktion mellan två byggbitar som förs samman. Vi har gjort ett litet hål i plasten och satt en svart prick på cylindermagnetens nordpolssida. Med en stavmagnet kan vi då visa hur cylindern roterar när vi varierar vilken av stavmagnetens poler som placeras bakom byggbiten.



Här är en leksak som visar att magneter kan repellera varandra: När det hemska trollet långsamt smyger sig på den lilla musen hinner denna backa. Men när trollet snabbt närmar sig är friktionen för stor och musen hinner inte undan utan hamnar i trollets gap.

– Vi förstår Brios tänk att det kan bli en frustration för barnet när tågen inte fastnar på en gång, men som pedagog mis-sar vi ett tillfälle att introducera och sam-tala med barnet om magnetism. En annan aspekt är att detta är ett tillfälle till pro-blemlösning, säger Karin.

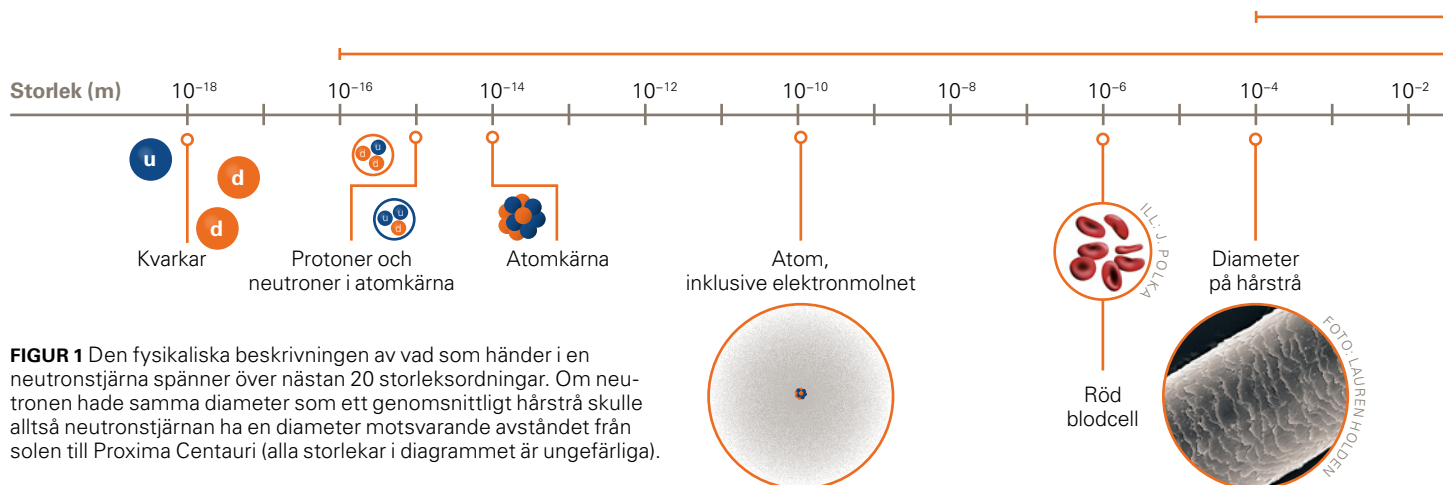
–Ja, allt behöver inte vara så enkelt, lägger Malin till. Nu får vi pedagoger hitta andra sammanhang där barnen får

upptäcka att magneter har två poler, och att lika sådana repellerar varandra. Om barnen leker mer med trådtågen nu än tidi-gare är inget vi tänkt på, men att de inte behöver söka stöd och hjälp hos oss har vi reflekterat över.

VILL DU FORTSÄTTA låta barn i din omgiv-ning tvingas lära sig att vagnar behöver vara rättvända för att de ska fastna i varandra?

Ryktet säger att de trådtåg för små barn som säljs på ett större svenskt möbelva-ruhus fortfarande har fasta magneter i ändarna. Och har du tur kanske du kan få tag på ett musätande läskigt troll som inte lyckas fånga musen om det rör sig för långsamt.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Göteborgs universitet



FIGUR 1 Den fysikaliska beskrivningen av vad som händer i en neutronstjärna spänner över nästan 20 storleksordningar. Om neutronen hade samma diameter som ett genomsnittligt hårstrå skulle alltså neutronstjärnan ha en diameter motsvarande avståndet från solen till Proxima Centauri (alla storlekar i diagrammet är ungefärliga).

Fysik i smått och stort

Fysik är **en vittomspännande vetenskap** som beskriver vårt universum från dess minsta beståndsdelar upp till kosmiska längdskalor. Denna spännvidd blir särskilt uppenbar när den fysikaliska beskrivningen av ett fenomen bygger på en balans mellan fundamentala krafter som verkar på vitt skilda längd- och energiskalor.

Ett exempel på detta är neutronstjärnor, vars existens bygger på en samverkan mellan samtliga fyra former av växelverkan: stark, svag, elektromagnetisk och gravitation. Från att på 1960-talet ha observerats via en karakteristiskt pulserande elektromagnetisk strålning studeras numera dessa fascinerande himlakroppar med flera olika typer av både rymd- och jordbaserade mätinstrument. Neutronstjärnor är dessutom – genom betydelsen av den starka kraften – föremål för teoretiska och experimentella undersökningar på subatomära skalor.

Bildandet av en neutronstjärna kan förenklat beskrivas som en gravitationell kollaps av materia bestående av olika typer av partiklar. Till exempel bildar elektronerna i den kollapsande materian en så kallad *Fermigas*, där de tvingas befinna sig i högre och högre energinivåer i takt med att de packas tätare samman. Den totala energin stiger därför som en funktion av densiteten, vilket ger upphov till ett så kallat degenerationstryck. Samband mellan

energi, tryck och densitet beskrivs av den så kallade tillståndsekvationen. Givet att mängden materia är stor kommer degenerationsstrycket inte att vara tillräckligt för att stoppa den gravitationella kollapsen. I stället blir det energimässigt fördelaktigt för elektroner att reagera med protoner och därigenom bilda neutroner. Denna reaktion sker via den svaga växelverkan och resultatet blir en tätt sammanpackad, och väldigt neutronrik, kärnmateria.

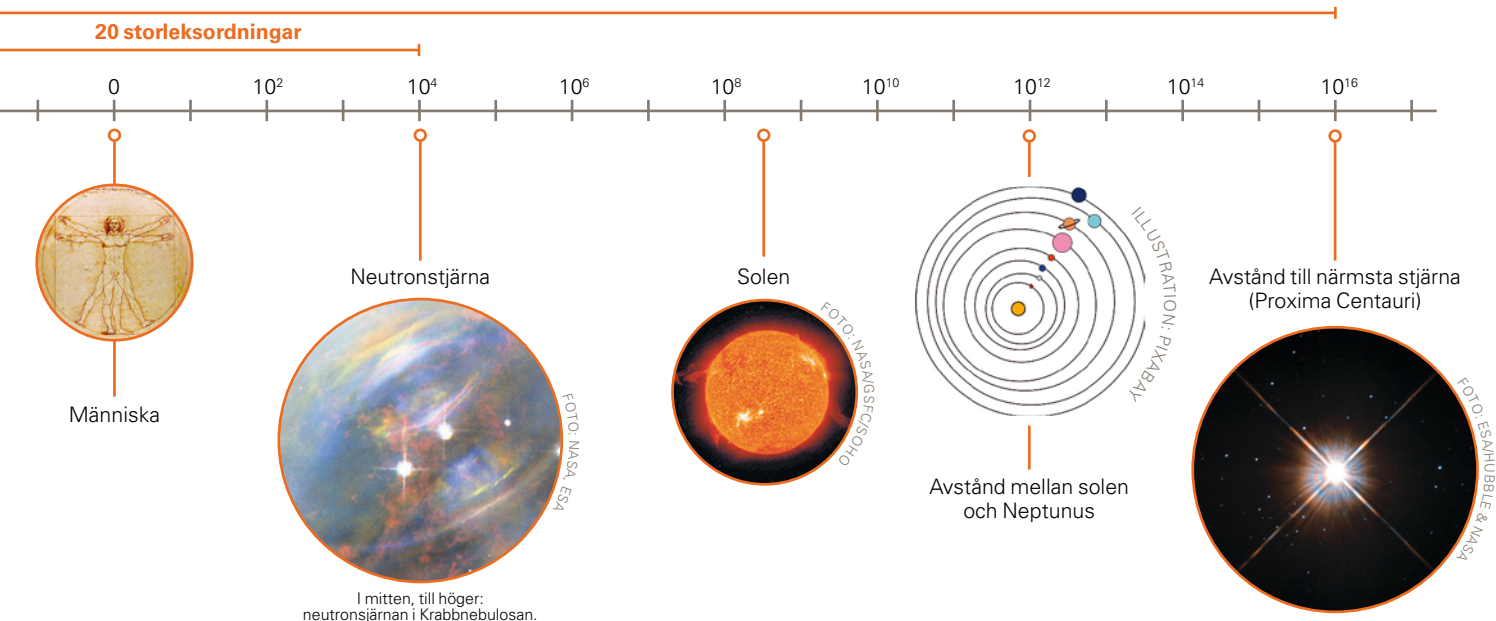
På samma sätt som elektronerna kommer de tätt sammanpackade neutronerna att utöva ett motverkande tryck. Men ju mer kollapsande massa, desto större tryck krävs för att åstadkomma en balans. Tidiga beräkningar från Oppenheimer och Volkoff, baserade på Einsteins relativitetsteori, förutsade att massan hos en neutronstjärna inte kan överstiga 0,7 solmassor ($0,7M_{\odot}$), annars skulle den kollapsa till ett svart hål. Moderna studier har dock lärt oss att tätt sammanpackade neutroner utövar ett högre tryck än man först trodde. Till dags dato har man

observerat flera tusen neutronstjärnor, varav ett flertal är tyngre än $2M_{\odot}$, det vill säga tre gånger större än man först trodde var möjligt.

FÖRKLARINGEN FINNS HOS DEN starka kraften, och hur den påverkar kärnmaterians tillståndsekvation. Vid riktigt korta avstånd kommer nämligen två neutroner repelleras varandra med en styrka som växer snabbt med minskande avstånd. Detta är en konsekvens av neutronernas inre frihetsgrader: kvarkar och gluoner. Eftersom repulsionen verkar på avstånd som är bråkdelar av en femtometer ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$), medan neutronstjärnor har en typisk radie på 10 km, så innebär detta en fysikalisk beskrivning som spänner över nästan 20 storleksordningar (figur 1).

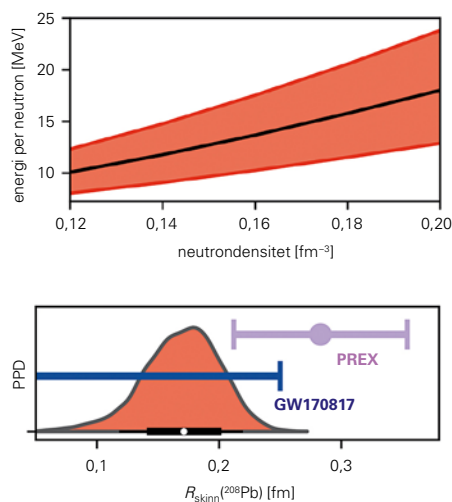
Vår förståelse av den starka kraften

¹ *Kiralitet* är en symmetriegenskap. Ett objekt eller system är kiralt om det skiljer sig från sin spegelbild. En kiral teori är följaktligen en teori som skiljer på höger och vänster.



vid relativt låga energier har ökat betydligt under senare år. Framför allt kan vi numera konstruera en kiral¹ effektiv fältteori som relaterar växelverkan mellan nukleoner till den underliggande starka kraften mellan kvarkar och gluoner (se *Fysikaktuellt* 2016/1). Inom modern kärnfysik är det därför möjligt att utföra *ab initio* (från grundprinciperna) modellering av kärnmateria. Dessutom har det skett stora framsteg i utvecklingen av beräkningsmetoder för starkt växelverkande, kvantmekaniska mångkropparssystem. *Ab initio* beräkningar kan därför utföras även för riktigt tunga atomkärnor och för oändlig kärnmateria, vilket ungefärligt beskriver det inre av en neutronstjärna. Genom att utnyttja systematiken hos en effektiv fältteori kan man även kvantifiera teoretiska osäkerheter i förutsägelseerna. Detta ger förutsättningar för att konstatera huruvida spänningar mellan experiment och teori verkligen är fysikaliskt relevanta eller inte.

SAMMA TILLSTÄNDESEKVATION som avgör tryckbalansen hos en neutronstjärna har också inflytande över egenskaper hos atomkärnor. Ett fascinerande exempel är att densitetsberoendet i tillståndsekvationen avgör huruvida det blir energimässigt fördelaktigt att låta neutronöverskottet i en tung atomkärna fördelas



FIGUR 2 Tillståndsekvationen för neutronmateria beskriver energin per partikel som en funktion av neutrontätheten. Resultaten från våra *ab initio* beräkningar visas i den övre panelen som ett 68% kredibilitetsband. Lutningen på denna kurva är proportionell mot trycket. Vid hög partikeltäthet (strax ovanför vår modells förutsägelser) beskriver tillståndsekvationen egenskaper hos neutronstjärnor medan lutningen vid låg täthet ($<0,15 \text{ fm}^{-3}$) påverkar fördelningen av neutroner i atomkärnor.

I den undre panelen visas vår förutsägelse för tjockleken på neutronskeppet i 208-Pb tillsammans med experimentella gränser från paritetsbrytande elektronspridning vid Jefferson Lab (PREX) och från gravitationsvågssignalen från två kolliderande neutronstjärnor (GW170817). Våra resultat stödjer hypotesen att kärnmateria har låg styvhet (lägre neutrontryck).

mer mot stora radier, där kärndensiteten är lägre. Av just denna anledning finns det ett stort intresse att mäta tjockleken på neutronskeppet i bland annat blyisotopen 208-Pb. Detta är svåra experiment där det senaste (vid Jefferson Lab utanför Washington, D.C.) utnyttjar speciella egenskaper hos de svaga och elektromagnetiska krafterna för att särskilja neutroner från protoner. Från teorisidan genomförde en forskargrupp som jag ingår i nyligen den första *ab initio* studien av 208-Pb och dess neutronfördelning (figur 2).

Via tillståndsekvationen för neutronrik materia förenas alltså kärn-, partikel- och astrofysik. Framtida gravitationsvågsdetektorer förväntas kunna observera hundratals kolliderande neutronstjärnor i vårt universum. Tillsammans med teoretiska framsteg i vår beskrivning av den starka kraften ger detta goda förutsättningar för att vi ska lära oss åtskilligt mer om kärnmateria i både mikro- och makrokosmos.

CHRISTIAN FORSSÉN

professor i fysik på Chalmers, avdelningen för subatomär, högenergi och plasmafysik

Läs mer

"Ab initio predictions link the neutron skin of 208-Pb to nuclear forces", *Nature Phys.* 18, 1196 (2022)

Vad är fysikens roll i försvarets utbildningar?

Att fysik spelar roll vid krigföring förstår nog de flesta, men hur kommer fysiken egentligen in i **utbildningen på Förvarshögskolan**? Skulle jag fråga er som läser *Fysikaktuellt* om ni vet vad "Förvarssystem" är tror jag bara Asta Pellinen Wannberg, som var med i den externa bedömargrupp som år 2022 granskade forskningskvaliteten i ämnet, kunde svara.

Militärteknik nämns ofta som begrepp i dagspressen, särskilt efter Rysslands oprovocerade invasion av Ukraina. Mina medarbetare kommenterar i olika medier nästan varje vecka händelseutvecklingen i Ukraina. Det har varit frågor om bland annat effekten av obemannade flygande farkoster (UAV) med och utan beväpning, hur mycket sprängmedel som användes för att slå ut Nord Stream, hur effektivt raketartillerisystemet Himars är, eller varför handburna pansarvärnsrobotar kan slå ut moderna ryska stridsvagnar.

Ofta sätts utvecklingen på stridsfältet i en militärteknisk kontext av journalisterna. Men det militära försvarets operativa förmåga kan inte värderas endast efter vilka tekniska system som anskaffats. Personalens kompetens, utbildningsstatus och hur väl de nyttjar systemet är också oerhört viktigt. Det har vi sett i närtid inte minst när Ukrainas försvar på ett kreativt sätt använt civil teknologi, till exempel drönare och mobiltelefoner, för att skapa sig ett underrättelseläge om de ryska förbandens positioner och aktiviteter.

ATT MILITÄRTEKNIK HANDLAR OM sådan teknik som nyttjas i militära sammanhang var sant under kalla kriget. Men det är idag inte lika enkelt att dra en skiljelinje mellan civil och militär forskning och teknikutveckling. Förvarshögskolan inrättade därför 2019 ämnet Förvarssystem, där utgångspunkten är att tekniska och

sociala komponenter inte kan studeras isolerade från varandra. Utöver militärteknik omfattar ämnet nu också studier av system bestående av samverkande tekniska och sociala komponenter, inklusive social hållbarhet, som bidrar till eller påverkar samhällets försvar och säkerhet. Det gör Förvarssystem till ett ämne i skärningen mellan samhällsvetenskap och ingenjörsvetenskap.

I FOKUS STÅR STUDIET av utveckling, anskaffning och användning av teknologi och materiel för försvar och säkerhet. När vi värderar framtida teknologiers militära nytta beskriver vi teknologin som ett tänkt tekniskt system i ett militärt förband där systemet nyttjas i ett scenario som utspelar sig tjugo år framåt i tiden. Vi gör en SWOT¹-analys, bedömer den militära effektiviteten genom bidraget till de militära grundläggande förmågorna (underrättelser, rörlighet, verkan, ledning, uthållighet och skydd).

Den militära lämpligheten bedöms genom att analysera vilket avtryck införandet av teknologin i Förvarsmakten skulle ge på påverkansfaktorerna doktrin, organisation, träning, materiel, ledarskap och utbildning, personal, faciliteter samt interoperabilitet. Ofta är det svårt att uppskatta kostnaden för tjugo års forskning och utveckling av en teknologi till ett färdigt militärt system. Lagg sedan till analysen av hela livscykelkostnaden som för militära system kan handla om 30–50 år. Men om det är möjligt så ingår

även kostnadsaspekten i värderingen av den militära nyttan.

Hur mycket fysik studerar då en officer? Det beror på! Förvarsmaktens specialistofficerare utbildas i Förvarsmaktens egen regi. De har djup kunskap om de tekniska systemen, vapnen och de stridstekniska metoderna på sitt förband. I normalfallet ingår inte så mycket om de fysikaliska principerna eller de teoretiska förklaringsmodellerna inom krigsvetenskapen. Våra framtida officerare genomför en treårig officersutbildning. Av dessa ca 210 kadetter i varje årskull läser 150 på krigsvetenskaplig inriktning, 30 på nautisk och 30 på militärteknisk. På krigsvetenskap ingår en 15 hp grundkurs i Förvarssystem som omfattar militärtekniska metoder, sensorer, ledningssystem, verkan & skydd, farkoster & rörlighet. Undervisningen bygger på fysikens grundlagar, men dessa ingår endast på en övergripande nivå.

KADETTERNA PÅ militärteknisk inriktning får bekanta sig lite mer med grundläggande fysik. De läser optik, optronik och vågrörelselära – där radar, laser och radiokommunikation ingår. Vi gör nerslag i *University Physics*, en lärobok som används på många universitetsutbildningar, och räknar på problem för

¹ Företagsekonomiskt verktyg där man i detta fall granskar en teknologi i ett scenario utifrån rubrikerna Strengths, Weaknesses, Opportunities och Threats.

att skapa en insikt om att den teknik de i framtiden ska använda följer fysikens lagar. Efter examen från officerprogrammet anställs kadetterna som fänrikar i Försvarsmakten.

Till det högre officerprogrammet, som är en uppdragsutbildning beställd av Försvarsmakten, tas deltagare ut efter att ha jobbat 6–8 år i Försvarsmakten. Programmet leder, beroende på uttagningen, till en magister- eller masterexamen och befördran till major/örlogskapten respektive överstelöjtnant/kommandörkapten. Deltagarna tränas i att planera, leda och följa upp gemensamma operationer, både humanitära insatser och militära operationer, längs hela konfliktskalan. Studierna avslutas med ett självständigt arbete. Försvarssystem har en obligatorisk kurs där bland annat systemteori och metod för värdering av militär nytta av framtida teknologier ingår.

På vårt internationella masterprogram *Innovation, försvar och säkerhet* möts studenter med grundexamen i ingenjörsvetenskap, samhällsvetenskap och naturvetenskap. Programmet omfattar bland annat kurser i ledarskap, militärt tänkande, metoder i försvarssystem samt strategisk ledning av förmågeutveckling och materielförsörjning. Fokus ligger på utveckling och innovation för ett starkare försvar och ökad säkerhet.

FÖRSVARSHÖGSKOLAN HAR för närvarande examensrätt på forskarutbildningsnivå i två ämnen: krigsvetenskap och statsvetenskap. Försvarssystem doktorend är inskrivna vid andra lärosäten, eftersom vi inte har examensrätt på forskarutbildningsnivå. Doktoranderna forskar om säkerhet i trådlös kommunikation, social hållbarhet samt AI till stöd för ledning.

Tidigare år har våra doktorsavhandlingar omfattat mikrosystemteknik för rymd- och flygtillämpningar, den militära nyttan av spektral design, och taktiskt användande av framväxande informations- och kommunikationsteknik på morgondagens slagfält. Ofta har ämnets doktorander varit civilingenjörer och då finns det en nära koppling till den



Förstaårskadetter på Karlberg.

militära tillämpningen av naturvetenskap och fysik.

NÅGRA AV VÅRA DOKTORANDERS artiklar kan vara extra intressanta att lyfta fram: "Cryptanalysis for the SoDark Cipher for HF Radio Automatic Link Establishment", Marcus Dansarie, *IACR Transactions on Symmetric Cryptology*, 2021, är den första kända säkerhetsanalysen av det krypto som nyttjas i andra generationens ALE-protokoll. Artikeln presenterar en så kallad "related-tweak" attack på algoritmen. En annan artikel som innehåller mycket fysik är "Balancing the Radar and Long Wavelength Infrared Signature Properties in Concept Analysis of Combat Aircraft", 2017 av Carina Marcus et al. Den är ett samarbete mellan Saab, LiU, FHS, finska FHS och FOI.

Att designa stridsflygplan för hög militär effektivitet, militär lämplighet och kostnadseffektivitet förutsätter att flera ingenjörscienser balanseras. En särskild utmaning är stridsflygplanets överlevnad i ett stridsuppdrag. Med signaturåtgärder för att undvika upptäckt kan flygplanets överlevnad ökas. I artikeln studeras hur flygplanets signatur i långvågig IR och radar kan balanseras.

Lite intressant i detta sammanhang är att fyra av doktoranderna vid

Försvarssystem de senaste två decennierna varit tekniska fysiker från Uppsala.

Och för er som undrar: den externa bedömargruppen ansåg att forskningen i Försvarssystem i fyra av fem bedömningsområden fick betyget "hög kvalitet".

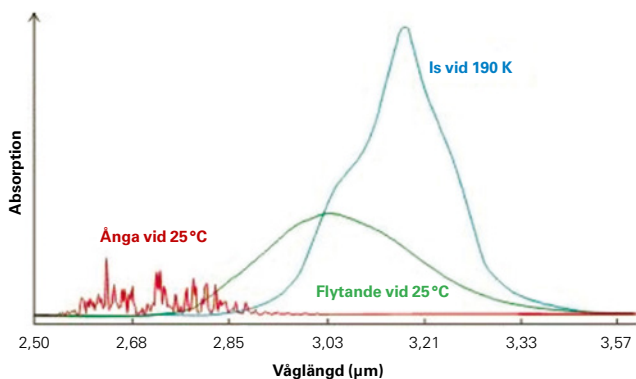
Med anledning av kriget i Ukraina kunde vi se ett rejält ökat intresse för utbildningarna vid Försvarshögskolan redan innan antagningen till höstens utbildningar stängde i april. Efterfrågan på utbildning om Totalförsvaret från länsstyrelser, kommuner och myndigheter är stort. Den intresserade kan läsa mer på vår hemsida www.fhs.se.

STEFAN SILFVERSKIÖLD

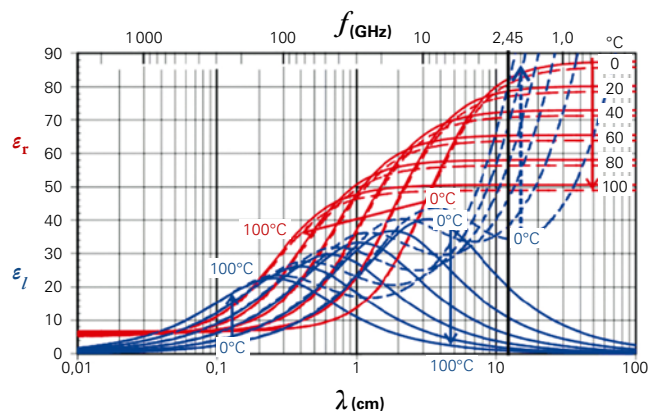
Kommandör och prefekt, institutionen för Försvarssystem, Försvarshögskolan

Om skribenten

Stefan Silfverskiöld är kommandör och prefekt för institutionen för Försvarssystem vid Försvarshögskolan. Han disputerade vid Uppsala universitet 2002 på en avhandling med titeln "Effects of Lightning Electromagnetic Pulse and High Power Microwaves on Military Electric Systems". Hans aktuella forskning är inom området förmågeutveckling och värdering av framtida teknologiers militära nytta.



FIGUR 1 Vattenmolekylens vibrationsabsorption i olika faser. Den horisontella axeln täcker 2,5–3,6 µm, det vill säga betydligt kortare våglängder än mikrovågsugnens 12,2 cm.



FIGUR 2 Relativa permittiviteten ϵ_r (röd) och absorptionen ϵ_i (blå) uppdelad på rent vatten (heldragen) och saltvatten (streckad) som funktion av våglängd (λ) och frekvens (f) för olika temperaturer.

Ett omskakande möte

Det är huvudsakligen vattnet i maten som avgör hur bra **mikrovågorna** kan värma vår mat. Vattenmolekylens polära natur får den att vrida sig i takt med mikrovågorna, vilket överför energi till övriga matmolekyler.

alla mikrovågsugnar för hemmabruk används frekvensen 2,45 GHz, men varför just denna frekvens? Allokering av frekvenser inom det elektromagnetiska spektrumet hanteras av Internationella Teleunionen (ITU). Redan vid ett möte 1947 introducerades licensfria band med frekvenser runt 915 MHz, samt 1,8, 2,45, och 5,8 GHz. De benämns ISM (Industrial, Scientific and Medicine), vilket antyder användningsområdena.

Vid den tiden fanns ingen frekvenssträngsel, och 2,45 GHz-bandet blev accepterat över hela världen. Kostnaden för tillverkning av magnetroner med tillräcklig effekt var rimlig och våglängden 12,2 cm lagom för hushållsändamål. Frekvensbandet runt 915 MHz används också för matlagning, men då i industriella tillämpningar. Man får bättre penetration och därmed djupare och jämnare uppvärmning, men våglängden på omkring 33 cm kräver större ugnar.

Numera är frekvenssträngseln större och hemmavid används 2,45 GHz-bandet

också av blåtand och WiFi. Eftersom ugnen inte läcker mikrovågor uppstår inga oönskade interferenser.

Ingen resonansfrekvens

Vatten är ett vanligt ämne i vår föda. Man kan därför tycka att frekvensen hos mikrovågsugnen borde anpassas till vattnets olika resonansfrekvenser (figur 1). Det blir dock för "ytligt", som vi snart ska se.

En isolerad H_2O -molekyl har flera vibrations- och rotationsfrekvenser. Dessa frekvenser är alla högre än 2,45 GHz. Flytande vatten bildar olika komplex med många vibrationsfrekvenser, och is har ett brett spektrum av kvantiserade gittervibrationer (fononer) tack vare vätebindningarna. Motsvarande våglängder ligger omkring 3 mikrometer, det vill säga långt från mikrovågsugnens 12,2 cm.

Varför blir då maten varm?

Hade ugnens frekvens anpassats till vattnets resonansfrekvenser skulle bara det

yttersta skiktet värmas. Den på andra grunder valda frekvensen 2,45 GHz passar faktiskt riktigt bra. Det är i stället genom att vattenmolekylerna, tack vare sitt stora permanenta dipolmoment, vrider sig fram och tillbaka i takt med växelvärdet som absorptionen sker. Dessutom uppstår icke-statiska dipoler hos elektriskt neutrala molekyler, eftersom deras elektroner förskjuts i förhållande till atomkärnorna. Dessa så kallade inducerade dipoler bidrar, fast i mindre utsträckning, också till uppvärmningen.

Det kallas dielektrisk uppvärmning, efter *dielektrikum* (dia electricus = genomträngning för kraftlinjer). Dipolernas rörelser påverkar sedan andra molekyler, och sprider energin.

När frekvensen ökar hamnar dipolerna alltmer på efterkälken. Det kan beskrivas med den komplexa permittiviteten (dielektriska konstanten) $\epsilon(\omega) = \epsilon_r + i\epsilon_i$, där ϵ_r är relativa permittiviteten och ϵ_i beskriver absorptionen (figur 2). Färförskjutningen (φ) ges av $\varphi = \arctan(\epsilon_i/\epsilon_r)$.

Dielektriska konstanten är, trots namnet, inte konstant. I diagrammet syns att $\epsilon(\omega) = \epsilon_r$ för vatten vid 20°C närmar sig 80 vid långa våglängder (nästan konstant), vilket brukar anges i tabellsamlingar. När frekvensen ökar minskar ϵ_r och vid optiska frekvenser närmar sig $\epsilon_r = 1,78$. Då brytningsindex $n^2 \approx \epsilon_r$ erhålls det välkända $n = 1,33$. Vid låga frekvenser bidrar både permanenta och inducerade dipoler, medan enbart de senare bidrar i det optiska frekvensområdet.

Saltvatten och soppa

I figur 2 förutsägs att vatten med salt i, värms snabbare i en 2,45 GHz mikrovågsugn än vatten utan salt. Jag testade några gånger, först med två bägare, vardera med 100 g 22°C vatten, en utan och en med fyra viktprocent salt. Temperaturen steg till cirka 52 resp 48°C på 30 sekunder, tvärt emot vad diagrammet förutspår. Det skulle kunna bero på att saltet inte löst sig helt, eller att saltjonerna påverkar intilliggande vattenmolekyler. Det skulle då minska deras förmåga att följa det pålagda elektriska fältet, och därmed överförs mindre värme. Därefter tog jag 100 g tomatsocka som utöver salt också innehåller en del annat. Då steg temperaturen från 22°C till 54°C på 30 sekunder. Måhända kan olika absorptionsdjup och konvektion ha bidragit till svårprognosticerad värmespridning.

Absorptionsdjup

Vår mat består också av fast föda. Till skillnad från konventionell matlagning, där värmen sprider sig utifrån och in, kan mikrovågor värma upp hela volymen samtidigt. Maten är dock inte helt homogen och beroende på ingrediensernas värmeledningsförmåga, specifika värmekapacitet och förångningsentalpi kan uppvärmningen bli ojämn. Exempelvis har olje- och fettmolekyler ett litet men dock permanent dipolmoment på grund av hydroxylgrupper eller estergrupper. Olja och fett värms därför snabbare men kokar senare än vatten, vilket kan leda till så kallade "hot spots". Således bör man ge värmen tid att sprida sig. Särskilt viktigt är detta när mat tinas, för vattenmolekylerna är då fastfrusna och



FIGUR 3 Symbolen "glas och gaffel" visar att produkten är livsmedelssäker och det finns flera olika symboler som visar att produkten är säker för mikrovågstillagning.



100 g tomatsocka värmdes från 22°C till 54°C på 30 sekunder, att jämföra med saltat vatten som värmdes till 48°C på samma tid.

inte med på noterna när mikrovågorna bjuder upp till dans. Dock går det betydligt fortare än att tina maten i rumstemperatur.

I figur 2 syns att absorptionen är störst runt 20 GHz, men absorptionsdjupet (δ) för elektromagnetiska vågor ökar med våglängden. Således minskar penetrationsen med ökande frekvens (f) och endast ytan värms upp. Halvvardestjockleken ges av $\delta_{1/2} = c \sqrt{\epsilon_r} \ln 2 / (f \epsilon_l)$. För 2,45 GHz är $\epsilon_r \approx 78$ och $\epsilon_l \approx 10$, varur $\delta_{1/2} \approx 12$ mm. Det är lagom för att laga/värma en pizza eller en skål med soppa.

En smaksak

Smaken kommer dels från ingredienserna, dels från tillagningssättet. Det

senare kännetecknar mikrad mat, som saknar den så kallade Maillard-reaktionen. Den sker mellan socker och aminosyror och ger den typiskt bruna stekytan med sin, av många uppskattade, smak och doft.

Lösningen kan vara en kombinationsugn som, utöver ugnstekning och bakning, erbjuder mikrovågsugnsens fördelar.

Törs man äta mikrad mat?

För att åstadkomma (befarat ohälsosamma) kemiska reaktioner krävs energier runt en elektronvolt. Ugnens mikrovågor har energier på $E = hf = 6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 2,4 \cdot 10^9 / 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 10^{-5}$ eV. Det räcker inte för jonisering, ens om fotonerna gaddar ihop sig (*multiphoton dissociation*). Det finns heller inte några mikrovågor kvar i maten eller drycken efter att ugnen stängts av.

När mat hettas upp i mikrovågsugnen kan gifter från plastbehållare sprida sig till maten om temperaturen blir för hög. Färdigmat säljs ofta i folietäckta plastlådor, som i vårt jäktade tidevarv åker raka vägen in i mikrovågsugnen. Den försiktige bör hålla utkik efter säkerhetsmärkningar.

Symbolen "glas och gaffel" visar att produkten är säker, och uppfyller de krav som finns i ett antal livsmedelsförordningar. Likaså finns ett antal mikrovågsymboler som indikerar att kärl och förpackningar tål att mikras (figur 3).

Vill man vara helt på den säkra sidan bör maten läggas upp på en porslinsställrik, som sedan placeras i mikron.

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet



Fysik för gymnasiet – tryckt och digitalt!

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



**Prova
30 dagar!**



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

Läs mer på nok.se