

f Fysikaktuell

NR 4 • DEC 2018

Nobelpriset i fysik 2018

Läs sid 6–10

ISSN 0283-9148

Står datorvärlden
inför en ny
revolution?

Sid 12

Nano-
komponenter för
optoelektronik

Sid 16

Populär-
vetenskap
på 1700-talet

Sid 20

Svenska Fysikersamfundet

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

Ordförande: Anne-Sofie Mårtensson,
anne-sofie.martensson@hb.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
Postgiro: 2683-1
E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

För medlemsfrågor, kontakta Lena Jirberg Jonsson, 08-411 52 80 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 Sören Holst, holst@fysik.su.se.

Fysikaktuellt

Fysikaktuellt utkommer med fyra nummer per år, och distribueras till samfundets medlemmar samt till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.
Redaktion: Margareta Kesselberg, samordning, Dan Kiselman, Johan Mauritsson och Elisabeth Rachlew. Ansvarig utgivare är Anne-Sofie Mårtensson.
Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se
För insänt, ej beställt material ansvaras ej.
Utgivningsdatum 2019: 27/2, 29/5, 27/9, 13/12.

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 800 individuella medlemmar samt 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 kostar 4000 kr per år.
Bli medlem genom ansökan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html> eller med qr-koden.

Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- Europhysics News, 5 nummer/år
- KOSMOS
- Rabatt på utvalda boktitlar hos Fri Tanke förlag. Länk till erbjudanden: <http://fritanke.se/friends/fysikersamfundet/>
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg
Erbjudandet gäller 10 nr för 623 kr (20% rabatt).
Länk till beställningssida är: <http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index/?Internetkod=057-0571329>

Omslag: Bilden visar sista steget i ett CPA lasersystem, där ett gitterpar komprimerar de kvitrande pulserna efter förstärkning till en ultrakort laserpuls. Foto: Neven Ibrakovic.
Läs mer i nobelprisartikeln på sid 6.

Layout: Göran Durgé
Tryck: Trydells, Laholm 2018



Stödjande medlemmar

- Gamdata Instrument AB
www.gamdata.net
- Gleerups Utbildning AB
www.gleerups.se
- Laser 2000
www.laser2000.se
- Myfab
www.myfab.se
- Scanditronix Magnet AB
www.scanditronix-magnet.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)
- Lunds universitet – Fysiska institutionen
- Lunds universitet – Institutionen för astronomi och teoretisk fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet – Institutionen för fysik och astronomi

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 SIGNERAT
Anne-Sofie Mårtensson
- 4-5 AKTUELLT/NOTISER
ANNONS NATUR & KULTUR
- 6-10 NOBELPRISET 2018
Mats Larsson
- 11 ANNONS
WALLENBERGS FYSIKPRIS
- 12-15 KVANTDATORER
"STÅR DATORVÄRLDEN INFÖR EN NY REVOLUTION?"
*Gunnar Björk
Göran Johansson*
- 16-17 AVHANDLINGEN
"ATT BYGGA OCH UNDER-SÖKA NANOKOMPONENTER FÖR OPTOELEKTRONIK"
Olof Hultin
- 18-19 INTERVJU OLOF HULTIN
Margareta Kesselberg
- 20-21 FYSIKHISTORIA
"POPULARISERING AV FYSIK PÅ 1700-TALET"
Karl Grandin
- 22-23 NANO MAX
*Jesper Wallentin
Anders Mikkelsen*
- 24-25 OPTIKLAB MED MOBIL
"GEOMETRISK OPTIK MED MOBILTELEFONER"
Tommy Holmquist
- 26-27 VARDAGENS FYSIK
"LADDARE OCH NÄT-ADAPTRAR"
Max Kesselberg
- 28-29 LISE MEITNERDAGARNA 2018
Anne-Sofie Mårtensson
- 30 BOKRECENSION
"LEGO BIT FÖR BIT"
Anne-Sofie Mårtensson
- 31 FYSIKALISKA LEKSAKER
"VEM KAN SEGLA FÖRUTAN VIND?"
Per-Olof Nilsson
- 32 ANNONS
GAMMADATA

Förnuft och känsla

För några dagar sedan släppte världsmeteorologiorganisationen, WMO, statistiken för förra året. Under 2017 var den globala genomsnittshalten av koldioxid 405,5 ppm. Det är en ökning med 2,2 ppm sedan 2016 och med 5,4 ppm sedan 2015. Senast vår jord hade motsvarande koldioxidhalter var för 3–5 miljoner år sedan. Då var medeltemperaturen 2–3 grader varmare än nu. Då var havsnivåerna 10–20 meter högre än nu. WMO:s generalsekreterare Petteri Taalas sammanfattar:

– Det vetenskapliga läget är tydligt. Utan snabba sänkningar av CO₂ och andra växthusgaser kommer klimatförändringarna att medföra ökande destruktiva och irreversibla effekter på livet på jorden. Utrymmet för att agera är nästan borta.

Om enbart vårt förnuft fått råda (tillsammans med en gnutta ansvarskänsla för kommande generationer) så hade vi förstås nyttjat det lilla handlingsutrymme som finns; bokat runt i det, vidgat det och funnit kraft och framtidsstro i den fantastiska problemlösningsförmåga människan besitter. Vad kan vara omöjligt för den som kan bege sig till månen, kartlägga sitt eget genom och mäta upp gravitationsvågor?

Men det är oftast känslan som styr oss. Och vi är duktiga på att plocka fram argument som stödjer de känslomässiga beslut vi redan tagit, även om inte alla är lika skickliga som KD-politikern Sara Skyttedal, hon som uppmuntrar alla att flyga mer för att ge flygbolagen bättre förutsättningar för att investera i grön teknik.

Med detta nummer av Fysikaktuellt följer vår årsbok Kosmos. I år har den som tema Planeten jorden. För den som vill få näring åt både förnuft och känsla inför klimatomställningen har denna bok en given plats bland skaffningen. Den inledning som bokens redaktör, Sören Holst, har skrivit är så vacker. Tack, Sören!



Foto: Mia Haller Palmgren

Det här den sista Signerat som jag skriver. Till årsskiftet tar en ny styrelse över i Fysikersamfundet, och även om flera styrelseledamöter stannar kvar i ytterligare en treårsperiod så är det nu dags för byte på ordförandeposten: Varmt välkommen att ta över klubban Jonathan Weidow, materialfysiker från Chalmers med stort engagemang för både undervisningsfrågor och studenter!

Det finns inte plats för att namnge er alla (Adam, Agneta, Aletta, Anders, Andréas...) som jag haft förmånen att få samarbeta med under tiden som ordförande i samfundet men, nämnd som onämnd, stort tack för att ni med stadgarnas ord utgör "den fysikaliska vetenskapens utövare, främjare och vänner" och också i handling verkligen varit främjare och vänner.

Anne-Sofie Mårtensson

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
ORDFÖRANDE I SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

Tack Anne-Sofie!



Anne-Sofie Mårtensson, avtackades efter sex år som Fysikersamfundets ordförande (2013-2018), vid samfundets styrelsemöte den 15 november 2018.



Avgående styrelseledamöterna Göran Grimvall (IVAs mandat i styrelsen) och Svante Jonsell, till höger, avtackades av ordföranden för deras arbete.



Den avgående ordföranden och den tillträdande (jan 2019) Jonathan Weidow från Chalmers. Den nya styrelsen kommer att presenteras i Fysikaktuellt 2019-1.



Från vänster: Joakim Cederkäll, Arnaud Ferrari, Lage Hedin, Johan Mauritsson, Eva Lindroth, Svante Jonsell, Jonathan Weidow, Anne-Sofie Mårtensson, Leslie Pendrill, Göran Grimvall, Johanna Rosén och Sören Holst.



Lyckade Lise Meitner-dagar

Tack arrangörsgruppen. Snyggt jobbat!

Från vänster: Oskar Vallhagen, administrationsansvarig. Julia Järleback, programansvarig. Lara Sheik, projektledare. Stefan Sigurdsson, kommunikationsansvarig. Läs mer om Lise Meitner-dagarna på sid 28–29.

Notera!

- Fysikdagar 2019, 3-5 oktober vid LiU Linköping/ Norrköping. Läs mer på hemsidan som är under konstruktion
- IVA satsar på utbildning och teknik, Tekniska museet 10 september 2019
- Nordiska Fysikdagar vid Uppsala universitet 2020
- Svenska astronomiska sällskapet fyller 100 år 2019.
- Med början på nyåret publiceras en blogg som ska spegla ett sekel av svensk astronomi: 100.astronomiska.se



Fysikaktuells redaktion önskar alla läsare

*God Jul och
Gott Nytt År*

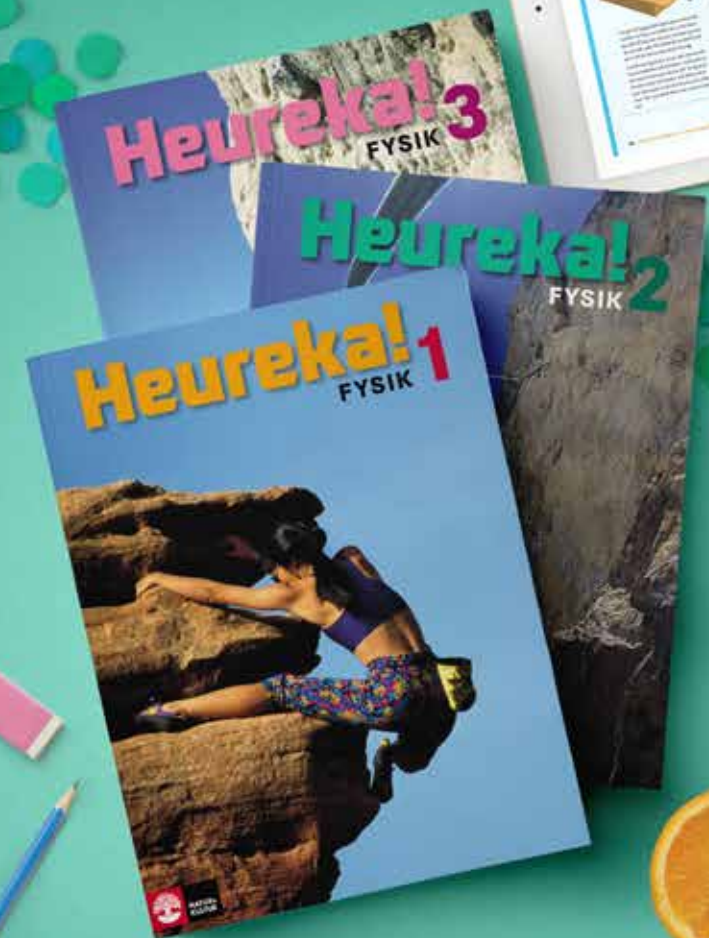
Heureka! Fysik på riktigt

Ett modernt basläromedel i fysik för gymnasiet. Med text och bild visas fysikens tillämpningar, historiska utveckling och betydelse för individ och samhälle på ett intresseväckande sätt.

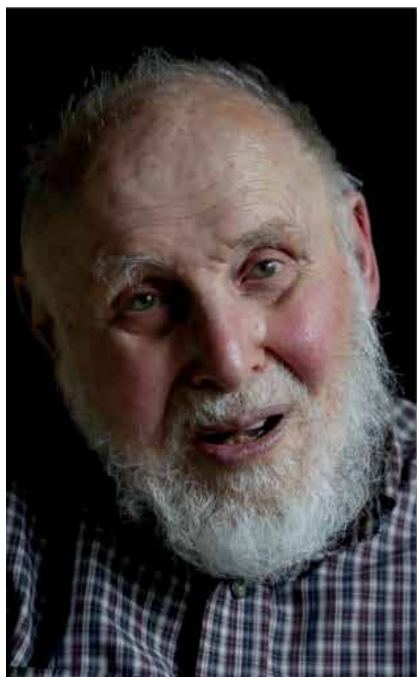
Missa inte...

Kostnadsfritt extramaterial med självtränande förkunskapstest och diagnoser till varje kapitel.

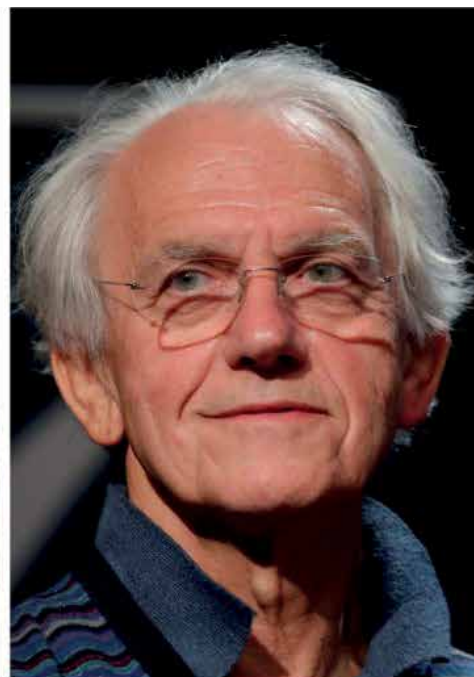
nok.se/extramaterial



Årets Nobelpris i fysik



Arthur Ashkin



Gérard Mourou



Donna Strickland

Årets Nobelpris i fysik uppmärksammar "banbrytande uppfinningar inom laserfysik". Citeringen är en sammanfattande benämning för ett delat pris, där den ena halvan av priset tilldelas Arthur Ashkin "för den optiska pincetten och dess tillämpning på biologiska system" och den andra halvan gemensamt till Gérard Mourou och Donna Strickland "för deras metod att alstra högintensiva, ultrakorta optiska pulser".



Innan vi går in närmare på årets pris kan det vara värt att uppmärksamma att det är 60 år sedan den allra första laserartikeln publicerades: Arthur L. Schawlow & Charles H. Townes, "Infrared and Optical Masers", *Physical Review* **112**, 1940 (1958). Artikeln var en utvidgning av maser-konceptet till de infraröda och synliga våglängdsområdena. Utvidgningen var långt ifrån trivial och drevs av behovet av strålning av samma frekvens- och renhetsgrad som var möjlig i radio- och mikrovågsområdena, men som dittills inte hade kunnat realiseras i de infraröda och optiska våglängdsområdena. Den främsta tilltänkta tillämpningen av den nya strålningen – ännu inte realiserad i laboratoriet – var spektroskopi.

Även om den första lasern konstruerades 1960 av Theodore Maiman, så får man nog säga att 1964 representerar laserns genombrottsår. Charles Townes tillsammans med Nikolai G. Basov och Aleksandre M. Procharov tilldelades Nobelpriset i fysik "för grundläggande arbeten inom kvantelektroniken, som lett till framställning av oscillatorer och förstärkare enligt maser-laser-principen". För den stora allmänheten runt om i världen blev den tredje James Bond-filmen *Goldfinger* det stora genombrottet för lasern: "You are looking at an industrial laser, which emits an extraordinary light not to be found in nature", berättar Goldfinger för James Bond, som fastbunden på ett bord av guld snart ska upptäcka att lasern också kan "cut through solid matter". Det skulle dröja till 1981 innan det "andra" laserpriset tilldelades gemensamt till Arthur Schawlow och Nicolaas Bloembergen för deras bidrag till utvecklingen av laserspektroskopi. Lasern har därefter spelat en avgörande roll för Nobelprisen i fysik 1997, 2001, 2005, 2012 och 2017, och för Nobelprisen i kemi 1999 och 2014.

Ljus alstrat av en laser har egenskaper som koherens, riktningsverkan, frekvensskärpa och intensitet. Arthur Ashkin insåg tidigt potentialen hos lasern för att accelerera och fänga mikronstora, transparenta partiklar. Accelerationen åstadkoms genom det strålningstryck som

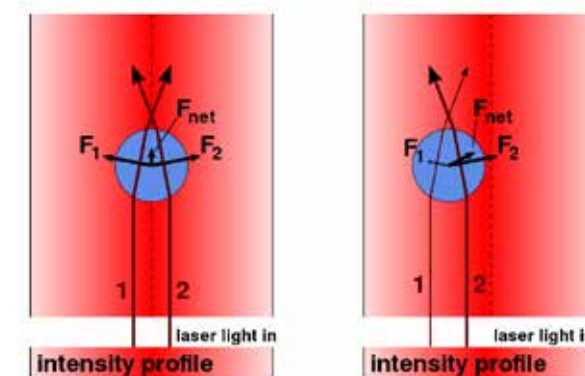
en laserstråle utövar på en partikel och infångningen genom de gradientkrafter som verkar på en partikel i en icke-homogen laserstråle. Figur 1 visar hur kraftverkan på en transparent, mikronstor partikel uppstår. Beskrivningen bygger på att laserns våglängd är betydligt mindre än den transparenta partikeln. Om det omvända gäller kan partikeln beskrivas som en punktformad dipol. Beskrivningen blir mer komplicerad, men resultatet är detsamma.

Laserstrålen i Fig. 1 är inte fokuserad, utan partikeln accelereras i laserns riktning. Genom att fokusera laserstrå-

len, kunde Ashkin visa att partikeln kan fångas till en punkt i rummet, såsom framgår av Figur 2. Experimentellt demonstrerades detta 1986; den optiska pincetten var uppfunnen.

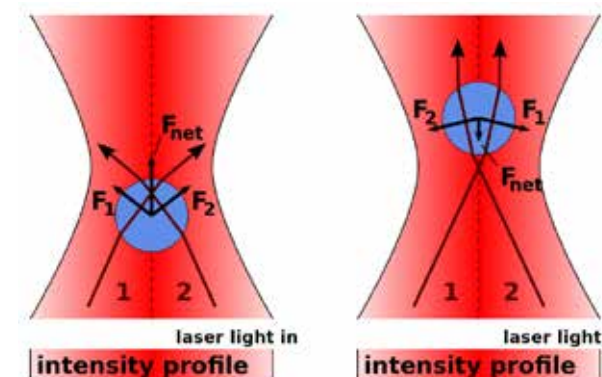
Det verkliga genombrottet kom 1987, då Ashkin i två artiklar visade att den optiska pincetten kan fänga virus, bakterier och levande celler. Genom att ändra laserns våglängd från grönt till nära infrarött kunde han få de biologiska systemen att överleva i den optiska pincetten.

Den optiska pincetten är ett viktigt instrument för studier av biologiska sys-



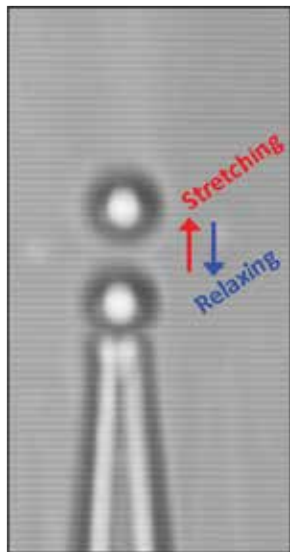
Figur 1. En stråloptisk beskrivning av hur strålningstryck och gradientkrafter uppstår. Brytningsindex för partikeln är större än för omgivningen. Einstein "uppfann" foton-begreppet och insåg att den rörelsemängd som bärs av den uppåtriktade laserstrålen, måste delta i växelverkningsprocessen när ljuset bryts vid ingången till den transparenta partikeln, en rörelsemängd som måste bevaras och som genom Newtons an-

dra lag ger upphov till krafter F_1 och F_2 riktade som visas i den vänstra bilden. Laserstrålen är inte homogen utan Gaussisk, så att intensiteten är störst i mitten för att sedan avta mot kanterna. När partikeln inte är centrerad, som i den högra bilden, uppstår en nettokraft, en gradientkraft, som drar partikeln mot laserns centrum. (By Roland Koebler, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15083861>)

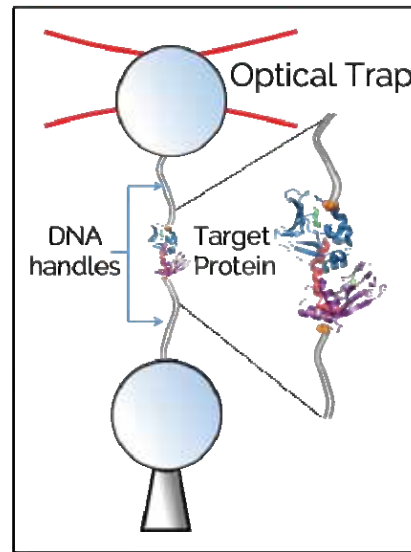


Figur 2. Stråloptisk beskrivning av hur en fokuserad laserstråle drar partikeln mot fokus. De fysikaliska argumenten är samma som i Fig. 1. (By

Roland Koebler, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15083883>)



Real Experiment



Schematic Representation

Figur 3. En proteinmolekyl uppspänd mellan två kulor (engelska "beads") med hjälp av DNA-molekyler som molekylära handtag. Den övre kulan befinner sig i en optisk pincett, medan den undre är fixerad. Genom att röra den optiska pincetten vertikalt, kan man sträcka eller vika ihop proteinet på ett kontrollerat sätt, och mäta den kraft som behövs för att sträcka proteinet. (<http://maillardlab.org/optical-tweezers/>, 13 november, 2018).

Strickland och Gérard Mourou idéer från en artikel i *Scientific American* om pulshantering i radarsystem. Precis som Schawlow och Townes tog ett stort intellektuellt steg framåt när de 1958 överförde maser-principen till det infraröda och optiska området, gjorde Strickland och Mourous samma genombrott drygt 25 år senare, men med den skillnaden att de byggde en prototypanläggning och visade att konceptet fungerade i praktiken. Till skillnad från Ashkin, som utvecklade sin pincett-metod från tanke till praktiskt genomförande för biologiska system under nästan två decennier, publicerades Strickland och Mourous uppfinning i en tre sidor lång artikel i *Optics Communications* i december 1985. Detta är genombrottsartikeln, och allt som kommit efteråt (vilket är mycket), måste anses som förbättringar, något som inte faller inom ramen för Alfred Nobels kriterier för ett Nobelpris i fysik.

Innan vi går in på själva uppfinningen, kan det vara värt att notera att genombrottsartikeln var Donna Stricklands allra första vetenskapliga artikel. Hon var doktorand, och artikeln kom att utgöra stommen i hennes doktorsavhandling. Sommaren 1986 presenterade hon resultaten vid två laserkonferenser, en i San Francisco och en i Colorado.

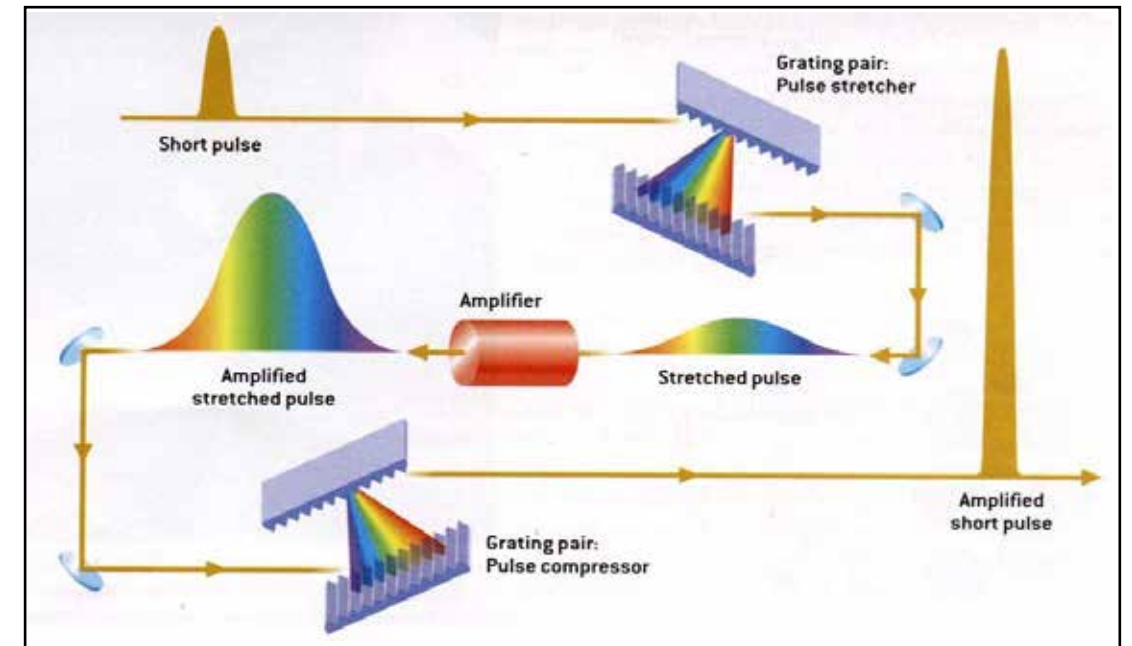
Genombrottsartikelns titel, "Compression of amplified chirped optical pulses", ger en vägledning om uppfinningens idé. En ultrakort optisk puls sträcks ut i tiden, så att toppeffekten reduceras i motsvarande grad. Därefter förstärks pulsen i en förstärkare, som nu inte utsätts för skadligt höga toppeffekter. Efter förstärkningen komprimeras pulsen till sin ursprungliga tidsbredd, men nu med en

tem, från bakterier och levande celler till enskilda molekylära motorer, proteiner som utför arbete genom att omvandla kemisk energi till mekanisk energi. Pincetten har blivit ett mätinstrument som kan användas för att mäta små molekylära rörelser på nm-nivå och krafter av storleksordningen pN. Figur 3 ger ett exempel på en sådan kraftmätning. Den optiska pincetten är inte längre ett exklusivt instrument i ett fåtal fysiklaboratorier, utan ett arbetsverktyg för biologiska fysiker världen över. Man kan undra hur många som innan Nobelpriset annonserades den 2 oktober, 2018, hade klart för sig vem som faktiskt uppfann den optiska pincetten. Läs gärna mer om den optiska pincetten i en artikel av Anna-Karin Gustavsson i majnumret 2015 av Fysikaktuellt.

Arthur Ashkin har hela tiden använt lasrar som levererar ett konstant flöde av fotoner. Kontinuerliga, frekvensskarpa lasrar har också spelat en avgörande roll för utvecklingen av laserkyllning och infångning av atomer, Bose-Einstein-kondensat av förtunnade atomära gaser, och högupplösande laserspektroskopi och metrologi. En annan utveckling, som påbörjades redan på 1960-talet, var utvecklingen av lasrar som levererar pulståg. Tekniker som Q-switching och modlåsning utvecklades för att producera

kontrollerade pulståg, och med uppfinningen av färgämneslasern fick man den nödvändiga bandbredden för att producera verkligt korta laserpulser. Pulserna blev kortare och kortare, medan antalet fotoner i varje puls inte utvecklades lika snabbt. I mitten av 1980-talet hade man nått (låt vara mycket imponerande) vägs ände med kombinationen av färgämne och modlåsning: 1 GW toppeffekt, 5 fs pulslängd, förstärkning från nJ till mJ pulsenergi, och ca 10^{15} W/cm² fokuserad intensitet. Ytterligare förstärkning utöver 10^6 krävde, för att inte förstärkarmaterialet skulle förstöras, en ökning av laserstrålens diameter, med medföljande stora kostnader för hela uppskalningsprocessen. Endast ett fåtal nationella laboratorier med inriktning mot laserinducerad fusion hade pengar och resurser att gå den vägen, och man kunde bara fyra av ett par pulser per dag för att förstärkarna skulle få tid att svalna. För universitetsgrupper var denna utveckling av ytterst begränsat intresse.

Man kan säga att ovanstående beskrivning utgör ouvertyren för vad som skulle komma. Precis som Charles Townes, när han funderade kring hur man skulle kunna bygga en kvantmekanisk oscillator och utvidga maser-konceptet till det synliga området, inspirerades av sina kunskaper i radarteknik, fick Donna



dramatiskt högre toppeffekt. Figur 4 visar principen för den teknik som på engelska kom att kallas *chirped pulse amplification* (CPA). Lite förenklat kan man säga att CPA-tekniken innebär att man nu kunde "stoppa in" många fler fotoner i samma puls än som tidigare var möjligt.

En relevant fråga är varför inte *chirped pulse amplification* översatts till svenska. Svaret är att ordet "chirped" bereder problem. En möjlig översättning är "kvitter", men det låter inte särskilt vetenskapligt. Figur 5 visar en optisk "kvitter"-puls; frekvensen ökar linjärt med tiden. Det är lättare att föreställa sig en chirped akustisk puls. Lyssna på Papagenos första aria i Mozarts *Trollflöjten*, vilket är operans öppningsaria direkt efter ouvertyren. Precis innan Papageno börjar sjunga, blåser han två "kvitter"-pulser i sin flöjt, något som sedan upprepas ett par gånger under arian.

CPA-tekniken ledde till en omedelbar ökning av toppeffekten hos ultrakorta pulser, med en fördubbling av toppeffek-

Figur 5. Exempel på en chirped ("kvitter") optisk puls. Den optiska pulsens elektriska fältkomponent visas på y-axeln. Den totala pulsbredden är ca 40 femtosekunder. (<https://www.rp-photonics.com/chirp.html>; 16 november 2018.)

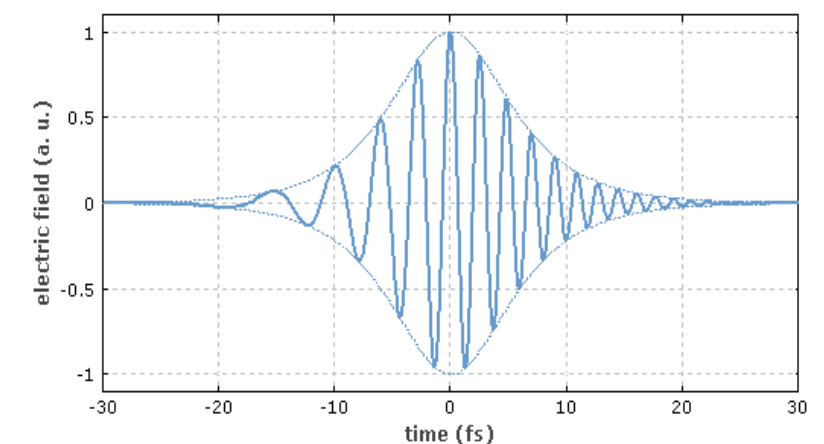
ten ungefär var 4:e eller 5:e år. Figur 6 illustrerar detta.

Grafen i Fig. 6 gäller fokuserad intensitet hos ultrakorta laserpulser, och i vissa men långt ifrån alla tillämpningar är det toppeffekten man är ute efter. Laserdriven acceleration av partiklar kräver höga toppeffekter, något som beskrivs i detalj av Martin Hansson i decembernumret 2016 av Fysikaktuellt.

CPA-tekniken har öppnat nya forskningsråden, där det kanske mest uppmärksammade är hur man skapar och använder pulser som har tidsbredden attosekunder. Men den historien berättas bättre av mina kolleger i Lund (Johan Mauritsson, Per Johnsson, Anne L'Huillier), i februarinumret 2015 av Fysikaktuellt.

Figur 4. Schematisk beskrivning av CPA-tekniken. En ultrakort puls genererad i en laser som levererar ett pulståg av ultrakorta pulser med begränsad toppeffekt sträcks ut i tiden med hjälp av ett gitterpar. Den utsträckta pulsen kan sedan förstärkas utan att förstärkaren tar skada. I det sista steget komprimeras pulsen till sin ursprungliga pulslängd, men nu med dramatiskt högre toppeffekt.

Repetitionsfrekvensen hos en laser som producerar ultrakorta, högintensiva optiska pulser är en viktig parameter. När de högsta toppeffekterna efterfrågas är frekvensen ca 1 Hz, d v s lasern levererar 1 puls per sekund. Attosekundfysiken kräver högre repetitionsfrekvenser, av

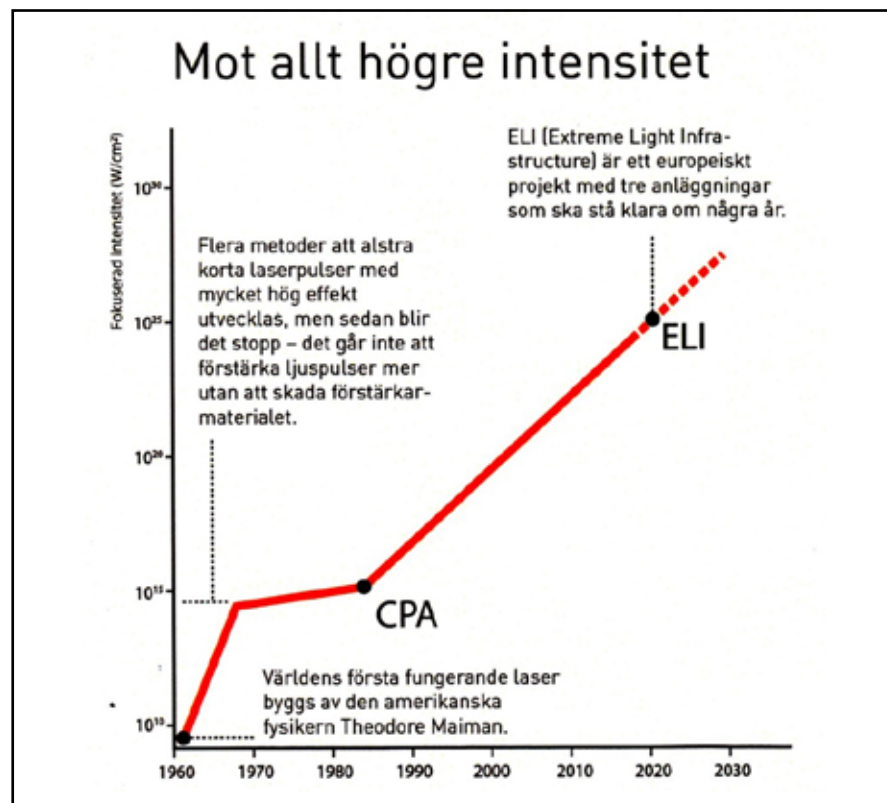


storleksordningen kHz, vilket innebär att toppeffekten med nödvändighet blir något lägre.

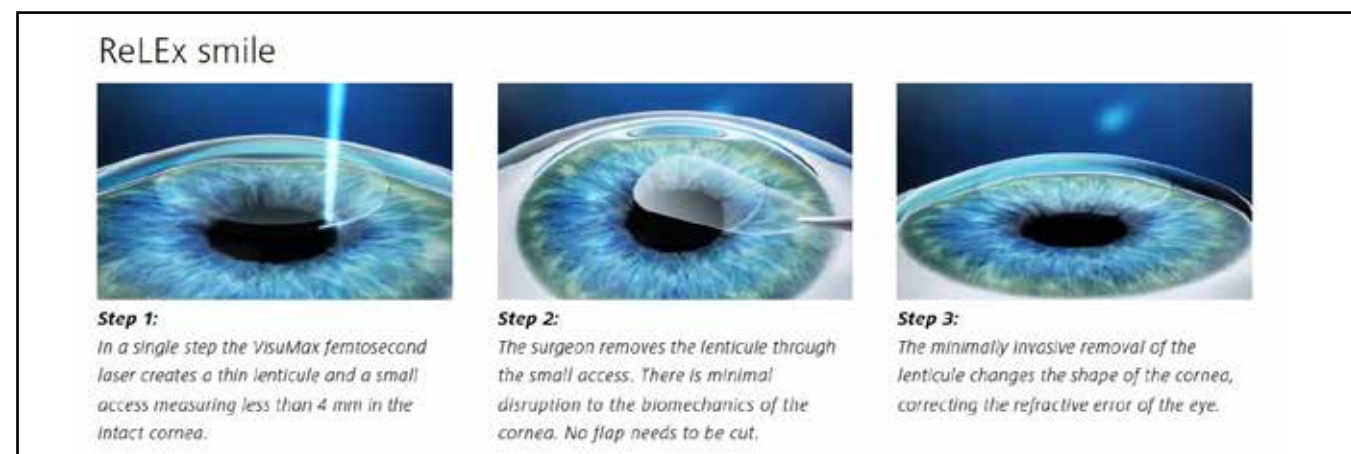
Praktiska tillämpningar av CPA-förstärkta femtosekundlasrar utnyttjar att ultrakorta, intensiva och fokuserade femtosekundpulser kan användas för materialbearbetning. De kan åstadkomma dramatiska effekter på en mycket liten yta utan att termiska skador uppstår i det omgivande materialet. Pulserna är helt enkelt så korta att de är borta innan indirekta skador uppstår. Många har säkert testat att snabbt föra sitt finger genom en ljuslåga. Är man snabb, hinner fingret inte ens känna att temperaturen i ljuslågan är över 1000 grader.

Nu mera kan en femtosekundlaser med hög repetitionsfrekvens, ca 120 kHz, användas för att korrigera (i praktiken minska) brytningsförmågan hos en närsynt persons ögon. Figur 7 visar hur det går till. Under senare år har närsynthet hos unga människor ökat dramatiskt, särskilt i östasiatiska länder som Japan, Kina och Korea. En snabb och riskfri korrigering av ögats brytningsförmåga med en helautomatiserad femtosekundlaser kommer därför att få stor betydelse för folkhälsan.

MATS LARSSON
STOCKHOLMS UNIVERSITET



Figur 6. Utvecklingen av den fokuserade intensiteten hos laserpulser från den allra första lasern 1960 till nutid. Grafen visar hur CPA-tekniken kom att utgöra ett genombrott efter mer än ett decennium med nästan platt utveckling. Den fokuserade intensiteten är naturligtvis beroende på hur hårt man lyckas fokusera och ska ses som indikativt snarare än strikt kvantitativt. Extreme Light Infrastructure är under uppbyggnad i Europa, varför punkten markerad "ELI" måste tas med en nypa salt. Detta är inte ett uppmätt värde och om man kommer att kunna nå 10^{25} W/cm² återstår att se. (från Nobel-prize.org)



Figur 7. SMILE står för small incision lenticule extraction. Femtosekundlasern fyller här två funktioner. Dels framställer den en lenticula (ca 6 mm i diameter, 100 µm i tjocklek i mitten) genom laserablation i hornhinnan, dels används den för att göra en liten öppning i kanten av hornhinnan, så att lenticula kan avlägsnas. Ögats brytningsförmåga försämras något, vilket är den avsedda effekten för en närsynt person, vars öga är för långt, så att fokus utan korrigering hamnar en bit framför näthinnan. (<https://www.johnkenyon.com/our-services/relex-smile/>; 16 november, 2018)



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2019

KVALIFICERINGSTÄVLING

24 januari på din skola

Tävlingen sker individuellt, men priser delas också ut till bästa skollag. Varje skolas tre bästa deltagare utgör skolans lag. Priser:

1:a pris 3 × 3 000 kr 4:e pris 3 × 1 500 kr
2:a pris 3 × 2 500 kr 5:e – 10:e pris 3 × 1 000 kr
3:e pris 3 × 2 000 kr

Anmäl dig till din fysiklärare!

Läs mer om tävlingen på
www.fysikersamfundet.se/wallenbergs-fysikpris

FYSIKVECKA, FINALTÄVLING & EuPhO

De 18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 18–22 mars 2019 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn i april 2019.

De fem bästa i kvalificeringstävlingen erbjuds delta i Europeiska fysikolympiaden (EuPhO) som arrangeras i Riga 31 maj – 4 juni.

Arrangör: Svenska Fysikersamfundet
Sponsor: Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

7–15 juli 2019 i Tel Aviv, Israel

De fem bästa i finaltävlingen får göra en oförglömlig resa och representera Sverige vid den internationella fysikolympiaden.

Nästan 400 ungdomar från ungefär åttio länder tävlar i fysik under två dagar. Resten av veckan är fylld med utflykter, föredrag och möten med fysikintresserade från hela världen.

Kanske blir det du som får åka!



Chalmers tre-kvantbitars prototyp till en kvantdator baserad på supraledande kretsar

Står datorvärlden inför en ny revolution?

I vetenskapsvärlden har det knappast gått att undgå den "kvantrevolution" som just nu håller på att ske. Både länder och enskilda företag satsar stora resurser på att nyttiggöra kvantteknologiforskningen som nu är så mogen att vem som helst, helt gratis t.ex.

kan köra ett kvantdatorprogram på en verklig kvantdator kopplad till internet. Här ska vi kort försöka beskriva bakgrunden, den aktuella statusen, och även framtidsutsikterna för kvantdatorer.

Bitar, kvantbitar, och parallellism

Praktiskt taget alla datorer idag är binära, d.v.s. alla operationer de utför görs på tvåtillståndssystem. Dessa kan vara en transistor som antingen är i sitt ledande eller oledande tillstånd, en kondensator som antingen är laddad eller oladdad, eller en magnetisk domän som har sin magnetiska fältstyrka pekandes antingen i ena riktningen eller i den andra. Viktigt i detta sammanhang är ordet "eller", ett ord som för de flesta av oss förefaller både naturligt och adekvat för att beskriva tvåtillståndssystem.

Så är det dock inte för kvanttillstånd. Kvantmekaniken medger nämligen superpositionstillstånd, tillstånd där ett system "samtidigt" har olika tillstånd. Således kan ett kvantsystem ha ett magnetiskt flöde som samtidigt snurrar medsols och motsols. Ett sådant tvåtillståndssystem kallas i kvantdatorsammanhang för en kvantbit, i analogi med begreppet bit för en klassisk dator. Vi ska i detta sammanhang inte fördjupa oss i olika tolkningar av ordet "samtidigt", utan konstaterar bara att superpositionstillstånd medger en massiv parallellism, för med N stycken kvantbitar, alla försatta i en superposition av sina två respektive tillstånd, kommer ett N -kvantbitars, sammansatt tillstånd att ha 2^N olika komponenter, där varje komponent kan koda ett N -bitars binärt tal. Gör man en operation på ett sådant tillstånd kan man i ett svep ändra alla 2^N komponenter. En klassisk simulering av en operation på ett register med $N=50$ kvantbitar innebär att man utför en matrismultiplikation på en vektor med storleken en Petabyte (10^{15} bytes). Som jämförelse kan sägas att all den datorgenererade grafiken i storfilmen Avatar från 2009 behövde ungefär en Petabyte med (klassiskt) minnesutrymme. Frågan är hur man bäst tar till vara denna massiva parallellism?

Användbara och oanvändbara kvantberäkningar

Kvantmekaniska superpositionstillstånd medger också interferens (samma slags interferens vi ser i en optisk interferometer, men i en mycket större skala). Detta gör att man kan få vissa tillstånd

att "släcka ut" varandra (interferera destruktivt) medan andra tillstånd förstärks (interfererar konstruktivt). Detta är i kontrast till klassiska sannolikheter, som alla är positiva och därför inte kan släcka ut varandra. Parallellism och interferens gör att kvantdatorer tillsammans med kvantalgoritmer kan (eller tros kunna, se nedan) lösa vissa problem mycket effektivare än klassiska datorer. Speciellt finns det flera klasser av problem där antalet beräkningsoperationer, och ofta också nödvändig minneskapacitet, skalar exponentiellt med indata för klassiska datorer och algoritmer. Exempel på sådana problem är primtalsfaktorisering, beräkning av grundtillståndet för molekyler, samt logistisk ruttplanering ("the travelling salesman problem"). Således finns det en "problemstorlek" som idag utgör gränsen för vad som är beräkningsbart, ens på de största superdatorerna.

Sedan 1995 (Peter Shor) finns en kvantdatoralgoritm som löser primtalsfaktorisering med ett endast polynomiskt ökande antal beräkningsoperationer och minne. Detta innebär i praktiken att en kvantdator med cirka femtusen välfungerande kvantbitar kan knäcka den krypteringskod (RSA) som används på internet idag, som bygger på att primtalsfaktorisering tros vara ett exponentiellt skalande problem. Man är också förhållandevis säker på att en kvantdator inte kommer att kunna lösa alla exponentiellt svåra problem, därför gäller det nu att identifiera de problemkomplex där en kvantdator kan ge en kvalitativt större beräkningskapacitet. Det gäller också att hitta de problem som utnyttjar "kvantkraften" bäst, så att man kan få intressanta resultat även med de mindre kvantdatorer, med upp till tusen kvantbitar, som vi förväntar oss ha tillgång till under de närmaste 10-20 åren. Kvantkemi som nämndes ovan är det fält som av de flesta bedöms ha störst

Figuren visar funktionen $f(x)=5^x \bmod 323$, vilken har perioden 144. Kvantdatorn kan räkna ut hela funktionen från 1 till N , samt hitta perioden genom en kvant-Fourier-transform. En kvantdator behöver bara dubbelt så många bitar som det behövs för att koda talet N , dvs $\log_2 N$. En klassisk dator behöver i storleksordningen N operationer för att hitta perioden.

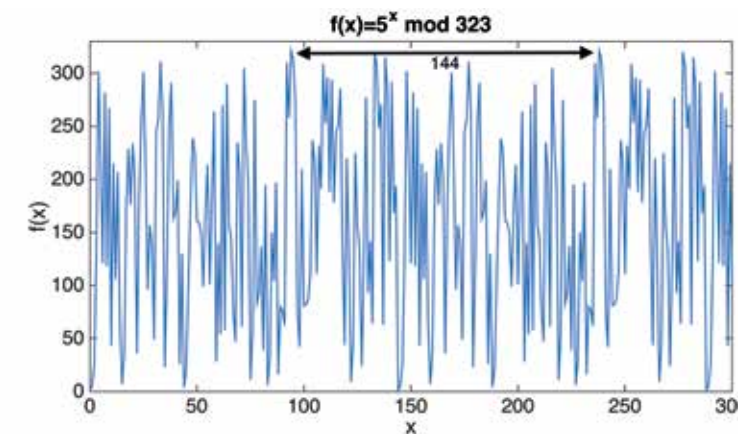
sannolikhet att först revolutioneras av en fungerande kvantdator. Men forskare undersöker mycket aktivt även andra fält där det gäller att kunna analysera en stor mängd tillstånd (möjligheter) för att hitta en (nära) optimal lösning som t.ex. inom logistik, finansiell analys och maskininläring. För att illustrera hur snabbt kombinatoriska optimeringsproblem växer kan man räkna ut på hur många sätt man kan bemanna 100 flygplan med 100 olika besättningar. Svaret är 100! vilket motsvarar ungefär 10^{157} olika möjligheter, vilket går att jämföra med antalet partiklar i universum som är ca 10^{90} .

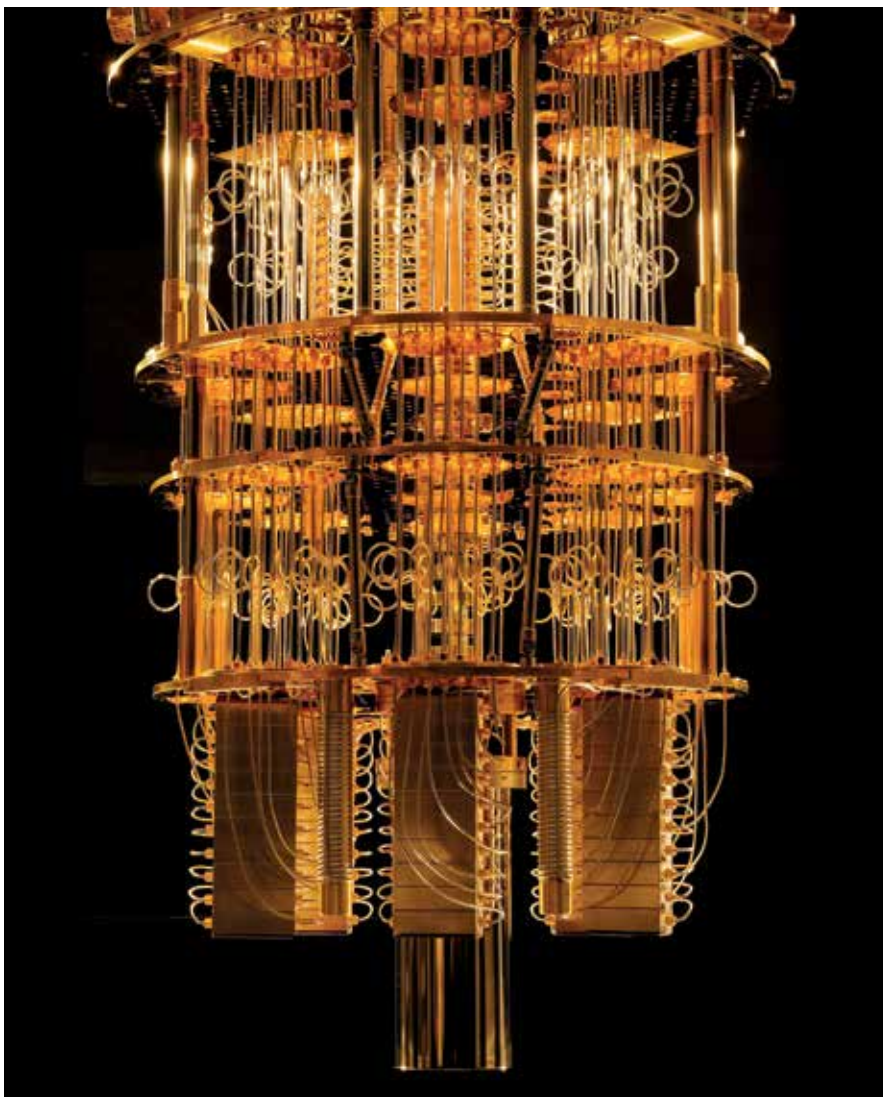
Ett annat aktivt forskningsfält syftar till att demonstrera så kallad "Quantum Supremacy" eller kvantöverlägsenhet. Datorvetare tror nämligen på den så kallade "extended Church-Turing thesis", vilken innebär att alla realistiska datormodeller har likvärdig beräkningskraft, så att problem som skalar exponentiellt på t.ex. en Turing-maskin gör det på alla andra realistiska modeller också. Kan man konstruera problem som skalar exponentiellt på en klassisk dator, men inte på en kvantdator, så har man alltså motbevisat detta antagande. (Det tros, men är inte bevisat, att faktorisering skalar exponentiellt på en klassisk dator.) Ett välkänt exempel inom den här kategorin är så kallad "boson sampling" (Aaronson & Arkhipov) där det gäller att generera slumpstal enligt en distribution som bestäms av en permanent till en matris. (En permanent till en matris är en "släkting" till dess determinant.) Detta problem skalar exponentiellt på en klassisk dator, men är väl lämpat för en kvantdator base-

rad på fotonik. Problemet har ingen praktisk tillämpning, mer än att i praktiken demonstrera att en kvantdator verkligen kan beräkna något som en klassisk superdator inte kan, vilket ett antal datorvetare alltså fortfarande är skeptiska till.

Klassiska algoritmer ger igen

Kvantdatorutvecklingen driver även utvecklingen av klassiska algoritmer. T.ex. har man börjat ta fram så kallad "post-quantum" kryptering, som skall vara säker även om fienden lyckas bygga en kvantdator. Man har också arbetat med de algoritmer som används för att simulera kvantdatorer. Man trodde på Google så sent som till i oktober 2017 att 49 kvantbitar skulle räcka för att visa "Quantum Supremacy", men då lyckades forskare på IBM simulera den föreslagna algoritmen (som liknar boson sampling) på en klassisk superdator, i en modell med upp till 56 simulerade kvantbitar (<https://arxiv.org/abs/1710.05867>). Det var nya insikter i hur man bäst kan utnyttja tensorstrukturen i algoritmen, som tydligen liknar en diskborste, som ledde fram till det nya rekordet. Google arbetar nu på ett chip med 72 kvantbitar. Ett annat roligt exempel är en kvantalgoritm för ett "Rekommendationssystem", vilket är ett system som försöker att rekommendera den produkt som är bäst för en viss användare, baserat på begränsad information, t.ex. om vad man tidigare har klickat på på hemsidan och vad andra användare har köpt. I mars 2016 presenterade Kerendis och Prakash (<https://arxiv.org/abs/1603.08675>) en kvantalgoritm som gjorde detta exponen-





IBMs prototyp till en 50-quantbitars dator. Själva datorchippet sitter inkapslat i den silver-blanka cylindern längst ner. Hela det guldfärgade "bygget" sänks ner i en kryostat, och när temperaturen på chippet nått temperaturen ≈ 10 mK är kvantdatorn redo att användas.

så svaret måste alltså få plats på N bitar. Det finns heller inget bra sätt att snabbt mata in stora mängder indata till kvantalgoritmer. Således är problem som kräver massiva mängder indata inte speciellt troliga kandidater till problem som kommer att lösas mer effektivt på en kvantdator. Slutligen måste alla interaktioner mellan kvantbitarna, d.v.s. själva körningen av kvantalgoritmen, styras av klassiska signaler. Dessa är normalt laserpulser (i jonfällor) eller mikrovågspulser (i supraleddande kretsar). Det ställs höga krav på både pulsformen och timingen för dessa styrsignaler. Att bygga en kvantdator kräver därför inte bara fysiker utan även kvalificerade ingenjörer inom både mjukvara, elektronik, och kryoteknik.

Var står vi idag?

Idag finns fungerande kvantdatorer på drygt en handfull laboratorier på jorden. Eftersom teknologin potentiellt är av både strategisk och ekonomiskt värde så vet vi dock inte fullt ut vad som finns, och vad som bara är rykten. Publikt är det dock känt att flera av IT-jättarna som IBM, Microsoft, och Google alla har egna laboratorier som bygger kvantdatorer. Det finns också uppstickare som Rigetti, ett snabbt växande företag i Kiseldalen i Kalifornien, finansiellt uppbackat av privata investerare. Både IBM och Rigetti erbjuder gratis användning av deras respektive kvantdatorer som är uppkopplade till internet. IBM erbjuder två fem-quantbitars och en 16-quantbitars dator, medan Rigetti erbjuder en 19-quantbitars. Microsoft erbjuder ingen kvantdator, men däremot möjligheten att skriva kvantalgoritmer i deras kvantdatorprogrammeringsspråk Azure. Dessa kvantdatorprogram körs sedan (gratis) på en klassisk superdator som simulerar en kvantdator. Att allt detta erbjuds gratis är av två skäl, dels för att öka intresset och kunskaperna

om kvantdatorer, men också för att "valla in" användare att använda just deras kvantdatorprogrammeringsspråk och/eller kvantdatorarkitektur. Vem skulle inte vilja bli kvantdatorernas Bill Gates eller Robert Noyce (Intels grundare)?

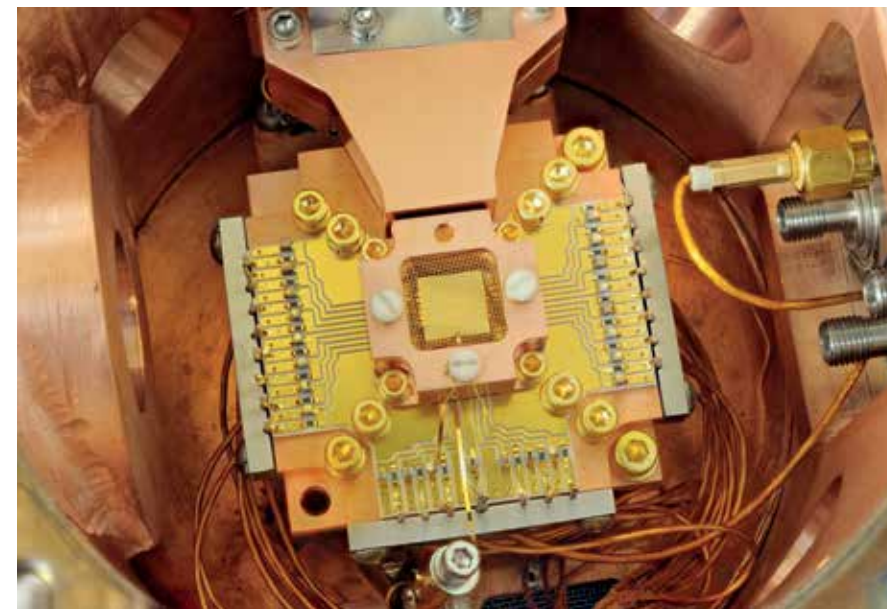
... och hur förutspås framtiden

I närtid, och rykten går att vi redan är där, kommer 50 quantbitarsdatorer att finnas tillgängliga, kanske även publikt på internet. Förmodligen kommer de inte att vara fullt förbundna, d.v.s. alla quantbitar kommer inte att kunna påverka varandra direkt. Istället kommer de med all sannolikhet att vara byggda som hierarkiska kluster. Detta begränsar deras generella användbarhet, men det är också troligt att kvantdatorer kommer att designas för att lösa specifika problem, d.v.s. att kvantprocessorerna kommer att ha olika topologi beroende på vilken problemklass man är intresserad av att lösa.

På lite längre sikt, men förmodligen inom en tioårsperiod, förutspås kvantdatorer med ett hundratal quantbitar vara utvecklade. Eftersom gränsen för när "quantum supremacy" nås åtminstone i skrivande stund brukar uppskattas till cirka 60 quantbitar, så bör vi redan om tio år ha hamnat i den postklassiska beräkningseran. Detta sagt bör man dock ha i minnet att både superdatorer, minnen, och klassiska algoritmer fortfarande utvecklas relativt snabbt, så den som med sin kvantdator vill uppnå "quantum supremacy" skjuter mot ett rörligt mål.

Vilken teknologi vinner?

Idag finns flera olika konkurrerande teknologier för kvantdatorer. De två som i skrivande stund kommit längst är kvantdatorer baserade på jonfällor (samma teknologi som David Wineland fick Nobelpriset i fysik för år 2012) och kvantdatorer som baserar sig på supraleddande mikrovågskretsar. Båda teknologierna är i teorin oändligt skalbara, men i praktiken slås de mot samma teknologiska begränsningar. Man skulle önska att dekoherenstiden vore längre, det är svårt att få full, eller t.o.m. tillräcklig interkonnekтивitet mellan kvantbitarna, och när antalet quantbitar växer blir det allt svårare att



En kvantkrets bestående av berylliumjoner i en jonfälla tillverkad vid National Institute of Standards i USA.

köra alla (klassiska) kontrollsignaler och att få dem att bara påverka den avsedda kvantbiten på det tänkta viset. IBM, Google, och Rigetti verkar ha siktat in sig på datorer baserade på supraleddande kretsar. Microsoft siktar på så kallade topologiska kvantdatorer. På National Institute of Standards i USA, och vid flera universitet världen över utvecklas kvantdatorer baserade på jonfällor. Vilken som kommer att bli den vinnande teknologin är ännu för tidigt att säga. I skrivande stund kan vi dock konstatera att lösningarna baserade på supraleddande kretsar ryckt till sig en ledning

Vad händer i Sverige, och i Europa?

Som noterades i förra numret av Fysikaktuellt så meddelade Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse att de i samband med stiftelsens 100-årsjubileum beslutat att satsa 600 MSEK på kvantteknologiforskning i Sverige, fördelat över 10 år. Det instiftade Wallenbergcentret i kvantteknologi (WACQT) har två övergripande mål: Dels att (vid Chalmers) bygga en 100 quantbitars supraleddande dator, och dels att genom forskning och utbildning i samarbete med industrin, medverka till att Sveriges industri tillägnar sig denna nya teknologi. Centret kommer under tioårsperioden att utbilda 60 doktorer, anställa 40 postdocs, och de ingående

lärosätena har lovat att inrätta 12 nya akademiska tjänster med "tenure track". Detta borgar för att kvantteknologimognaden i landet om tio år står på en helt annan nivå än den gör idag.

Samtidigt har EU observerat både fältets potential och det faktum att inom detta fält är europeiska grupper ledande inom många områden. För att försöka slå mynt av detta har EU beslutat att sätta ett nytt flaggskeppsprogram. Detta planeras att investera 1000 MEuro under en 10-årsperiod, hälften av medlen från EU-kommissionen och hälften från nationella forskningsresurser och industri. Flaggskeppet har redan börjat lägga ut från hamnen, den första utlysningen av forskningsmedel (130 MEuro) har redan avslutats, och Chalmers kvantdatorprojekt är ett av de projekt EU kommer att stödja. Ett projekt för enfotonskällor vid KTH är ett annat. Med så mycket forskningspengar i omlopp vore det mycket förvånande om inte fältet kommer att fortsätta att utvecklas mycket snabbt.

GUNNAR BJÖRK,
TILLÄMPAD FYSIK, KTH
GÖRAN JOHANSSON,
TILLÄMPAD KVANTFYSIK, MC2, CHALMERS

tiellt snabbare än någon känd klassisk algoritm. Detta inspirerade Ewin Tang att analysera deras algoritm i detalj, vilket ledde till att han i juli 2018 kunde presentera en klassisk algoritm (<https://arxiv.org/abs/1807.04271>) som skalar lika bra som Kerendis och Prakashs. Eftersom en kvantdator löser problem på ett fundamentalt annorlunda sätt än klassiska datorer, så kan man i framtiden förvänta sig fler framsteg för klassiska algoritmer inspirerade av att man tvingas analysera problemen från ett helt nytt håll.

Vad begränsar kvantdatorutvecklingen?

Medan det på pappret ter sig relativt enkelt att koppla ihop quantbitar till allt större system är det betydligt svårare att

göra detta i praktiken. Det ena problemet kallas dekoherens. Det går aldrig att helt isolera ett kvantsystem från dess omgivning, och alla oönskade interaktioner (via termiskt brus, vibrationer, eller absorption) kommer att leda en kvantberäkning fel. Eftersom en superposition inte medger att man mäter dess komponenter utan att förstöra den så är felrättning i kvantdatorer avsevärt svårare än i en klassisk dator (och svårigheten med att felrätta analoga signaler har gjort att moderna datorer är digitala). I praktiken har man därför begränsad tid på sig för att göra beräkningarna och läsa ut svaret i en kvantdator. Att öka denna tid, dekoherenstiden, är en av de stora utmaningarna. En annan utmaning är in- och utdata. När man läser ut quantbitarna är dom antingen 0 eller 1,

Att bygga och undersöka nanokomponenter för optoelektronik

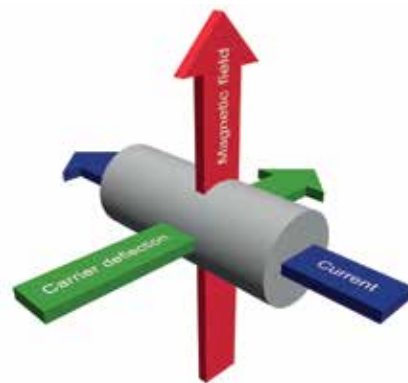
På nanoskalan fungerar fysiken inte riktigt som vi är vana vid i makro-världen. I strukturer som har ungefär samma storlek som våglängden för synligt ljus (400-700 nm) uppstår flera intressanta fenomen som kan utnyttjas för att bygga mer effektiva optoelektroniska komponenter, exempelvis lysdioder (LED) och solceller.

Lysdioder används idag bland annat för belysning, en tillämpning där effektivitetsförbättringar kan ge mycket stora energibesparingar globalt. Solceller är idag i många lägen ett kostnadseffektivt alternativ till fossilbränslen för elproduktion och marknaden står därmed inför en förväntat explosionsartad tillväxt. Teknik som förbättrar effektiviteten i denna typ av optoelektroniska komponenter kan få stort genomslag och är mycket viktigt både för pris och resursutnyttjande.

Att bygga komponenter på nanoskalan medför dock en hel del utmaningar. Min avhandling behandlar hur man kan mäta elektriska materialegenskaper i nanostrukturer, hur man kan utföra mätningar på solceller på nanoskalan, samt hur man kan bygga lysdioder av nanostrukturer.

Nanostrukturerna som studeras i avhandlingen är baserade på halvledande nanotrådar. Nanotrådar är trådformade halvledarkrystaller som ofta har en diameter kring 100 nm (ca en tusendel av ett hårstrås diameter) och en längd på några mikrometer. Avhandlingen behandlar främst material lämpade för an-

vändning i lysdioder (GaN) och solceller (InP, GaAs). På grund av nanotrådarnas stora yt/volym-förhållande och små dimensioner har de en förmåga att hantera de mekaniska spänningar som uppstår när man kombinerar material med olika gitteravstånd i samma kristall. Detta gör att det går att växa nanotrådar med tidigare omöjliga materialkombinationer i mycket hög materialkvalitet, vilket är avgörande för goda optiska och elektriska egenskaper. En annan egenskap som gör nanotrådar intressanta är att de kan fungera som vägledare för ljus, vilket gör att ljus kan absorberas från en yta som



Figur 1. Illustration av Hall-effekten i en trådformad ledare.

Olof Hultin

- Titel: Nanostructures for Optoelectronics: Device Fabrication and Characterization
Doktorsavhandling framlagd 2018-05-18 vid Fysiska Institutionen, Avd. för fasta tillståndets fysik, Lunds universitet
- Länk: http://portal.research.lu.se/portal/files/41765013/Dissertation_Olof_Hultin_LUCRIS.pdf
- ISBN: 978-91-7753-657-4 (tryck)
Elektroniskt ISBN: 978-91-7753-658-1
- Handledare: Lars Samuelsson, LU
- Bitr.handledare: Magnus Borgström (LU), Kristian Storm (LU/RISE), Mikael Björk (Sol Voltaics AB)
- Opponent: Dr. Walter Riess, IBM Research Zürich

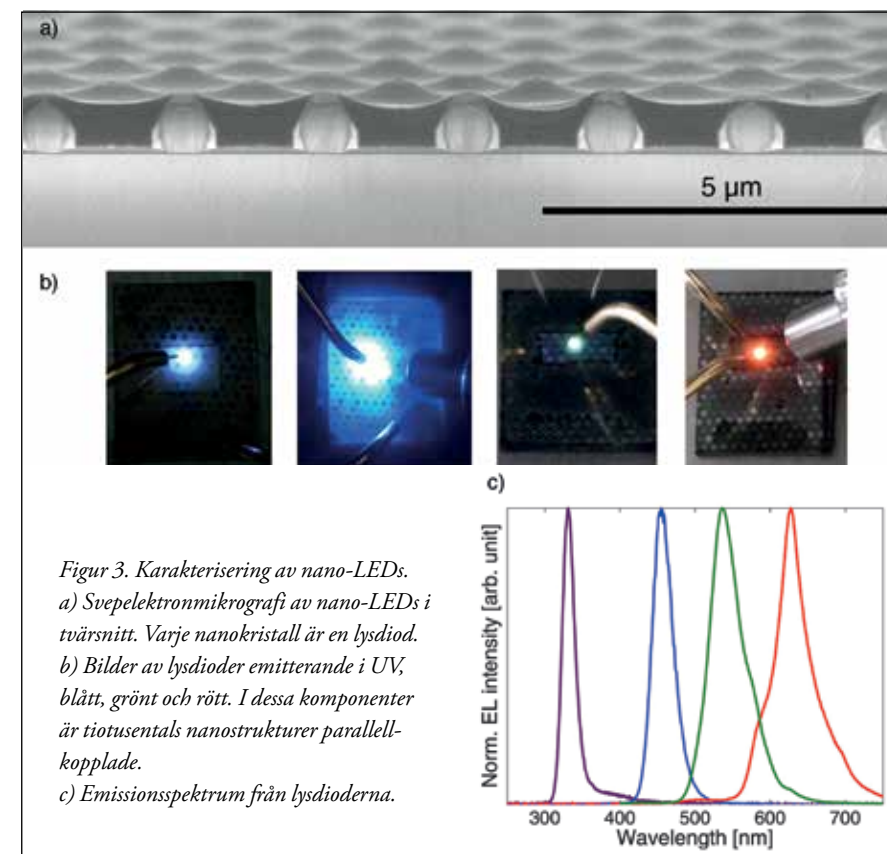
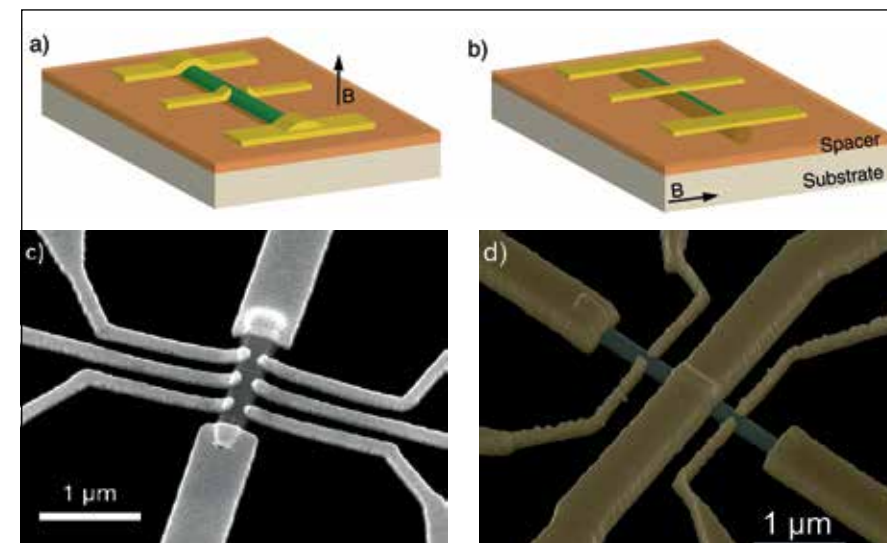
är betydligt större än nanotrådens tvärsnittsarea. I en solcell kan därför nanotrådar placeras med ett visst mellanrum i en periodisk matris och ändå absorbera i princip allt inkommande ljus. Detta möjliggör en materialbesparing på mellan 5 och 10 gånger.

Den första delen av forskningen som beskrivs i avhandlingen rör mätning av laddningsbärarkoncentration (elektroner eller hål) i nanostrukturer. Laddningsbärarkoncentrationen i en halvledare kontrolleras vanligen genom tillförsel av främmande ämnen, dopatomer. Noggrann kontroll över laddningsbärarkoncentration och dopingkoncentration är mycket viktigt då det påverkar materialets konduktivitet, elektriska potentialstruktur, laddningarnas livstid, absorption/emission o.s.v. Huvudsakligen används två olika metoder för att mäta laddningsbärarkoncentrationen, Hall-effektsmätningar och fälteffektsmätningar. Hall-effektsmätningar bygger på att laddningar som rör sig genom ett magnetfält kan avlänkas. De avböjda laddningarna ger upphov till en inhomogen laddningskoncentration i provet, vilket i sin tur genererar en motverkande spänning, Hall-spänningen (figur 1). Genom att mäta Hall-spänningen kan laddningsbärarkoncentrationen bestämmas.

Figur 2. Komponenter för mätning av laddningsbärarkoncentration och mobilitet i nanotrådar. a) Nanotråds-komponent för Hall-effekts-mätning. b) Ny, alternativ geometri för mätning av Hall-effekt i nanotråd. c) Hall-effekts-komponent avbildad med svepelektronmikroskopi. d) Komponent för karakterisering med Hall-effekt och fälteffekt i samma nanotråd.

Fälteffektsmätningar bygger på att modulera konduktiviteten i en nanotråds transistor genom att lägga på en styrspänning på gate-elektroden. Utifrån hur mycket konduktiviteten ändras med en given styrspänning kan laddningsbärarkoncentrationen beräknas. I avhandlingen presenteras den första studien där laddningsbärarkoncentrationen uppmäts med Hall-effektsmätningar studeras i en serie nanotrådar med varierade växtparametrar för att utvärdera ett dopämne (figur 2a och 2c). Vidare presenteras korrelationer mellan Hall-mätningar och optiska luminiscensmätningar, samt en experimentell jämförelse mellan Hall-mätningar och olika typer av fälteffektsmätningar (figur 2d). En ny metod för att enklare kunna mäta Hall-effekt i nanotrådar föreslås och verifieras genom en direkt jämförelse med den tidigare metoden (figur 2b).

Den andra delen av avhandlingen beskriver karakterisering av solceller och lysdioder. Först presenteras en studie av nanotrådar tillverkade i den nyskapande Aerotaxy-processen. Här tillverkas nanotrådarna med oerhört hög växthastighet och utan dyra substrat för att kostnadseffektivt kunna producera stora volymer. Nanotrådarna i studien är de första Aerotaxy-nanotrådarna som växts med en pn-övergång, vilket är den vanligaste aktiva komponenten i en solcell. Nanotrådarna uppvisar mycket lovande optiska och elektriska egenskaper. Slutligen presenteras en studie av lysdioder tillverkade från nanotrådbaserade nitridstrukturer (figur 3). Dessa strukturer möjliggör tillverkning av lysdioder fria från dislokationer, en slags kristalldefekt som har en mycket



Figur 3. Karakterisering av nano-LEDs. a) Svepelektronmikrografi av nano-LEDs i tvärsnitt. Varje nanokristall är en lysdiod. b) Bilder av lysdioder emitterande i UV, blått, grönt och rött. I dessa komponenter är tiotusentals nanostrukturer parallellkopplade. c) Emissionsspektrum från lysdioderna.

negativ inverkan på lysdiodens optiska och elektriska egenskaper. Lysdioder som emitterar ljus i UV, blått, grönt och rött presenteras. Dessa är tänkta att kunna användas exempelvis för effektiv belysning och displayer, samt för vattenrening (UV).

Sammanfattningsvis, avhandlingen utforskar karakteriseringsmetoder för halvledande nanostrukturer, i synnerhet

strukturer och material som är intressanta för nästa generations elektrooptiska komponenter, exempelvis solceller och lysdioder. Metoderna är generaliserbara även för andra typer av nanostrukturer lämpade för exempelvis transistorer och högsämsningselektronik.

OLOF HULTIN
FYSISKA INSTITUTIONEN, LU
OCH RISE, LUND



Mitt arbete innebär att jag försöker utveckla forskningssamarbeten mellan akademi, forskningsinstitut och industri för att främja utvecklingen av akademisk forskning till innovationer och tillämpningar, berättar Olof Hultin som nu jobbar som projektledare och forskare vid Research Institutes of Sweden (RISE).

Det är en förmån att få jaga bra forskning som kan bli framtidens tillämpningar, säger Olof Hultin och berättar att RISE har anställda över hela landet och syftar till att bidra till ett konkurrenskraftigt näringsliv och hållbart samhälle genom

samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor. Bolaget är "oberoende, statligt".

Hur hamnade du vid RISE?

– Jag gjorde mitt examensarbete på LU och det var så jag kom in på doktorandspåret. Jag började arbeta deltid på dåvarande Acreo under det sista året av min doktorandtjänst i ett projekt som var kopplat till min forskning på universitetet.

– Acreo blev sedan en del av det nybildade bolaget RISE, och det var så dörrar öppnades, berättar han för FA.

Olof är djupt engagerad i att bygga samarbeten mellan akademi och näringsliv och jobbar hårt för att konkretisera värdet av forskning så att det leder till ekonomisk nytta och förhoppningsvis för mänskligheten framåt. Något som känns

viktigt är att pussla ihop olika tekniska lösningar till en fungerande helhet.

När vi samtalar om teknikutvecklingen generellt i Sverige kommer Olof ofta tillbaka till att det redan finns så mycket bra forskning som inte har hittat sitt hem och blivit till en innovation eller tillämpning. Olof tycker att forskningen måste vara med syfte att utveckla samhället. Tekniken måste komma till nytta för människan mer effektivt.

Hur ser ditt mest angelägna framtidsprojekt ut som du ser det?

– Jag vill väldigt gärna vara med att skapa framtidens energisystem, svarar Olof utan att behöva fundera.

Vi har redan otroligt många energilösningar, men med ett begränsat tillämpningsområde. Det gäller att utveckla tekniska lösningar och tillämpningar som

inte riktigt syns så tydligt men som är en lösning på en mycket större utmaning.

Den vackra disputationsveckan i maj blev mer jäktad än Olof hade tänkt sig.

Olof och hans fru hade precis hittat ett charmigt renoveringsobjekt Limhamn från 1908 på 80 kvm. Det gällde att slå till och köpa när nu ett hus med rätt läge dök upp och skriva alla papper.

Olof beskriver för FA ett litet sött hus som behöver en ny ägare, med både vitkalkad mur och enligt tidigare ägare den enda fastigheten i Malmö kommun med ett f.d. hönshus.

– Tomten är liten men läget är fint, berättar Olof. Närheten till en skön joggingstur längs kustlinjen rensar tankar och ger ett mervärde på det relativt trånga boendet. När man bara är två boende fungerar det utmärkt, konstaterar han.

Olof är lättpratad och kunnig i många ämnen. Vårt samtal pendlar från nanoteknik i solceller till helhetslösningar på stora samhällsproblem där tekniken är en nyckelfaktor för fortsatt tillväxt och utveckling. Olof ser teknikens förmåga att skapa bra helhetslösningar som avgörande. Framtidens energisystem med smarta lösningar som inte förbrukar mer än vad vi har till förfogande utan att tära på jordens resurser.

Man märker att Olof har ett systematiskt tänk, att medvetet eller omedvetet försöka koppla ihop olika små smarta lösningar till stora smarta tekniska lösningar.

Varför blev det fysikstudier efter gymnasiet?

– Egentligen kunde jag inte bestämma mig riktigt för vilket ämne, berättar Olof och konstaterar att uppdelningen i ämnen som vi har inte alltid passar. Jag var generellt nyfiken på naturvetenskap, berättar Olof

– Det var därför som den nya civilingenjörsutbildningen i nanoteknik vid LTH var intressant, berättar Olof. Där fick man läsa både fysik och kemi, även biologi och medicin ingick i utbildningen.

– Jag gillar ju att ha ett helhetsper-



Olof Hultin, 29 år uppvuxen på en släktgård i Blekinge.

Bor: Villa i Limhamn, ett renoveringsobjekt från 1908.

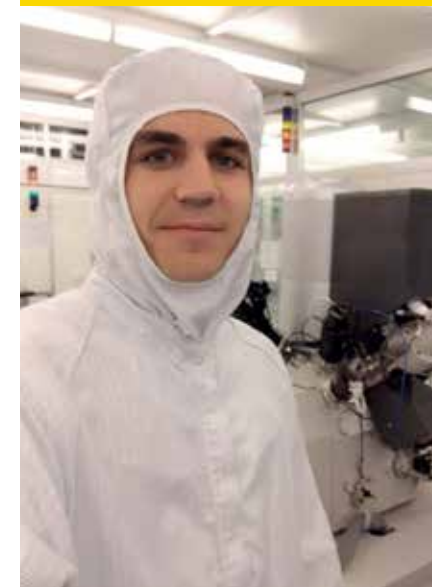
Familj: gift med Ylva. Föräldrar i Blekinge, och en bror i Kanada

Utbildning:

- Ehrensvärdska gymnasiet i Karlskrona, naturvetenskaplig inriktning (examen 2008)
- Civ.ing. med inriktning på teknisk nanovetenskap, LTH (2013)
- Doktorsexamen vid LU, Fysiska institutionen, Avd. för Fasta tillståndets fysik (2018)

Intressen just nu: Familjen och renovering av allt från gamla radioapparater till gamla hus.

Nuvarande arbete: Projektledare och forskare vid Reseach Institute of Sweden (RISE) i Lund.



spektiv på olika frågor och då fungerar inte alltid dagens uppdelningen i ämnen. Min nyfikenhet går ofta från det lilla till det stora, konstaterar han.

Vad gör du när du inte jobbar som brobyggare mellan forskning och näringsliv eller renoverar hus?

Olof ser klurig ut och berättar att han under ett par års tid har en "bokklubb" tillsammans med en tidigare kursare. De träffas ungefär en gång i månaden över en öl och diskuterar ett kapitel.

– Nu har vi hunnit 500 sidor, men det är lika många kvar att läsa och diskutera. Vi håller nog på ett par år till innan vi är klara, skrattar Olof.

Vad är det för bok som tar flera år att komma igenom?

– Det är boken "The Road to Reality" av Roger Penrose, berättar han och tar ner boken från hyllan bakom och visar. Det är en utmanande bok på över 1000 faksimilfyllade sidor. Idag efter flera år har vi bara hunnit igenom halva boken, berättar Olof.

Men det visar sig också att Olof är en passionerad renoverare av tidiga transistorapparater, favoritmärket är Blaupunkt från 60-talet.

Vad är det som är lockande i gamla radioapparater?

– Det är konstruktionerna. Enkelheten fascinerar mig, berättar Olof. Man kan se kopplingsschemat och förstå allt.

FA kan inte undgå att märka att Olofs drivkraft är smarta enkla lösningar på komplicerade problem och drömprojektet är framtidens energilösning!

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT

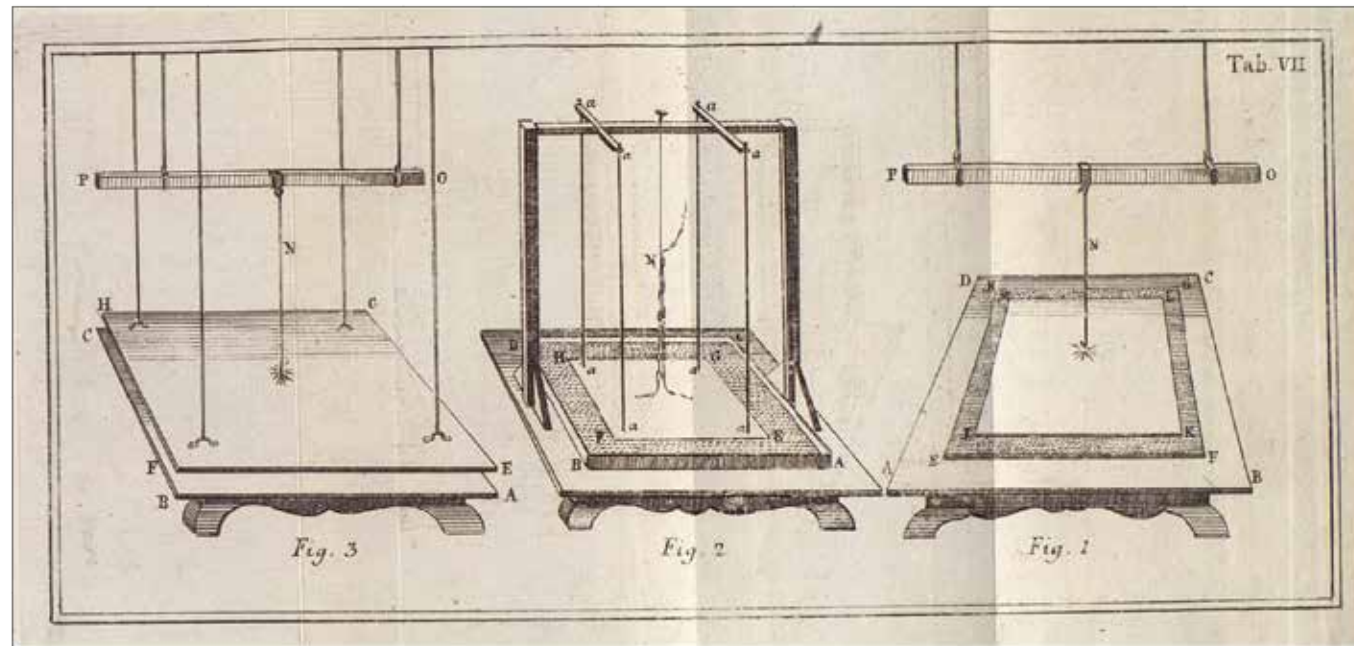


Illustration 1: Illustration till Wilckes uppsats i Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar 1758.

Om att roa med experiment: Popularisera fysik på 1700-talet

Ibland kan man tro att det är först i modern tid man sökt nå ut med vetenskaplig kunskap på ett populärt vis för att intressera allmänhet och ungdom, men det är en lång historia ska det visa sig. Låt oss bege oss till Sverige på mitten av 1700-talet.

Johan Carl Wilcke (1732–1796) var född i Tyskland men växte upp i Stockholm och studerade för matematikern och fysikern Samuel Klingenskiöld (1698–1765) i Uppsala. Wilcke studerade där efter vid flera universitet runt om i Tyskland, men återvände till Sverige 1757 och publicerade året därpå en innehållsdiger uppsats i Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar om ”Electriska rön och försök, om den electriska laddningens och stötens åstadkommande vid flera kroppar än Glas och Porcellain”. Han beklagade i inledningen till uppsatsen att han inte hade någon elektrometer utan fick bedöma laddningens styrka utifrån den elektriska stöt han själv erfor när han laddade ur sina uppställningar. Han använde även en metallkula upphängd i en silkesstråd och räknade i vissa fall gnistorna för

att bedöma styrkan. Frågorna om elektricitetens natur var centrala denna tid. Ett av resultaten i uppsatsen var att det inte bara var glas och porslin som efter gnidning kunde alstra elektrisk laddning som andra forskare antagit. Tre år senare återkom Wilcke i uppsatsen ”Rön och försök om contraira electriciteterna” med ett finurligt konstruerat experiment som tillät honom att studera flera olika aspekter av de elektriska fenomenen med en slags elektrofor.

Den första uppsatsen togs väl emot och Wilcke anställdes 1759 som Thamisk lektor i experimentalfysik vid Vetenskapsakademien. Den Thamiska donationen var ägnad att bekosta föreläsningar på Riddarhuset riktade till adelsynglingar som skulle ges en översikt i Naturkunnighet och helst på ett pedagogiskt historiskt

Illustration 2: Wilckes föreläsningsmanuskript till den Thamiska föreläsningen 14 april 1763, Carl Johan Wilckes arkiv, Centrum för vetenskapshistoria, ”Thamiska föreläsningar 1759–1792”.

sätt. Tidigare hade pengarna bekostat Ständige sekreterarens lön och denne höll därför vetenskapshistoriska föreläsningar. Efter hand blev dessa klen besökta och föreläsningsskyldigheten omvandlades till en uppgift att skriva vetenskapshistoriska uppsatser i Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar. När Akademien kommit på bättre ekonomisk fot med Almanacksprivilegiet agerade emellertid den dåvarande Ständige sekreteraren Pehr Wilhelm Wargentin (1717–1783) för att den Thamiska avkastningen istället kunde betala en lektor med uppdraget att föreläsa om experimentalfysiken. Wilckes uppdrag blev att hålla föreläsningar tre dagar i veckan (måndagar, torsdagar och lördagar) under oktober, november, februari, mars och april. Föreläsningarna skulle vara en timme eller möjligen halvvannan timme ”efter som han finner åhörarna toliga och villiga at kvarblifva”. Föreläsningarna skulle vara populärvetenskapliga i vår mening och skulle inte vara för teoretiska utan med de instrument Wilcke hade att tillgå så skulle han ”roa dem med experimenter, dock så, at åhörarna få et grundeligt och sammanhängande begrep om det som föreställes.”

Wilcke började sina föreläsningar den 18 oktober 1759 med en vetenskapshistorisk bakgrund och en begreppsgenombång två dagar senare, men därefter skulle han hålla en lång rad experimentalfysikaliska föreläsningar under flera år som alla innebar att han genomförde experiment inför publiken. Luftpumpar, vågar, magnetar och elektricitetsapparater kom till användning och en mängd andra material. Föreläsningarna som var gratis blev lyckade och lockade åhörare, men när

Illustration 3: Elektricitetsmaskin troligen använd av Wilcke vid de Thamiska föreläsningarna under 1760-talet, Vetenskapsakademiens föremålsamling, KVA 42.



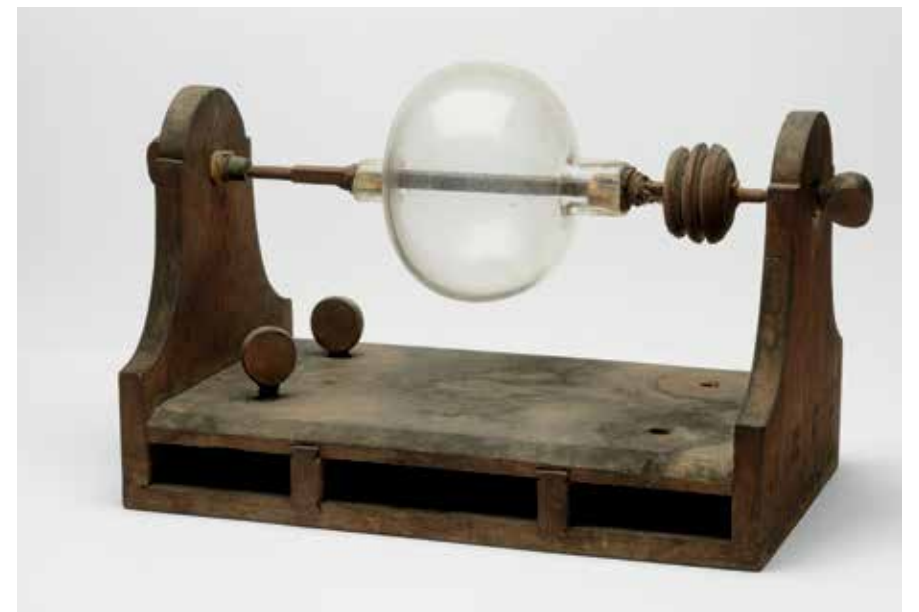
nyhetens behag sinat verkar det ha blivit färre åhörare. Wilcke menade då att han behövde nya apparater för att locka publik.

Wilcke efterträdde Wargentin som Ständig sekreterare i Vetenskapsakademien 1784, vilket innebar att föreläsningarna och även forskningarna kom på undantag. Efter Wilckes död, kring sekelskiftet 1800, skedde emellertid en utveckling kring elektricitetsforskning utifrån Voltas stapel och Galvanis arbete som ännu skapade intresse och utvecklade

flera vetenskaper, men det är en annan historia.

Lästips: Carl Wilhelm Oseen, Johan Carl Wilcke: Experimentalfysiker (Stockholm, 1939). Johan Kärnfelt, Mellan nytta och nöje: Ett bidrag till populärvetenskapens historia i Sverige ((Stockholm/Stehag, 2000). Uppsatserna i Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar kan man komma åt på: <http://hosting.devo.se/kvah/>

KARL GRANDIN
CENTRUM FÖR VETENSKAPSHISTORIA



Koherent röntgenavbildning vid MAX IV

MAX IV synkrotronen i Lund producerar röntgenstrålar med högre intensitet och koherens än tidigare generationer av synkrotroner. Dessa egenskaper är speciellt viktiga vid röntgenavbildning. Ett av de första driftsatta strålrören, NanoMAX, kan ses som ett gigantiskt röntgenmikroskop, och vi har börjat använda NanoMAX för att studera solceller och högpresterande elektronik baserat på nanostrukturer. Här diskuterar vi hur användandet av röntgenstrålningens koherens öppnar nya möjligheter för avbildning med upplösning på nanoskalan.

De flesta känner till att synkrotronen MAX IV i Lund är den första av en ny generation synkrotroner som kommer att leverera extremt intensiva röntgenstrålar. Vad som kanske är mindre känt är att strålarna också blir mycket mer koherenta än vad som är möjligt vid traditionella synkrotroner. Så vad betyder det och hur kan det användas?

Koherens beskriver, i detta sammanhang, till vilken grad en stråle har en homogen fas. Vissa typer av ljuskällor, som lasrar, genererar i sig ljus med hög grad av koherens. I synkrotroner låter man en stråle av elektroner oscillera i magnetfält, och med tillräckligt hög elektronenergi och magnetisk fältstyrka kommer den utsända elektromagnetiska strålningen att vara i röntgenområdet. Denna process, likt termiska ljuskällor som glödlampor, genererar inte koherent ljus från början, men om man låter monokromatiskt ljus från en liten icke-koherent källa propagera en lång sträcka kommer koherensen gradvis att öka. Man kan visa att den så kallade koherenslängden är omvänt proportionell mot ljuskällans storlek.

Vid traditionella synkrotroner är det mindre än 0,1 % av ljuset som är koherent, eftersom koherenslängden är betydligt mindre än röntgenstrålens diameter. MAX IV använder en ny metod för att fokusera elektronstrålen, vilket ger en avsevärt mindre storlek för ljuskällan. Detta gör att koherenslängden är nästan lika stor som strålen, och att den koherenta andelen är flera tiotals procent. Som vi kommer att diskutera nedan kan en koherent röntgenstråle användas för att ge stora förbättringar i bland annat upplösningen i mikroskopi.

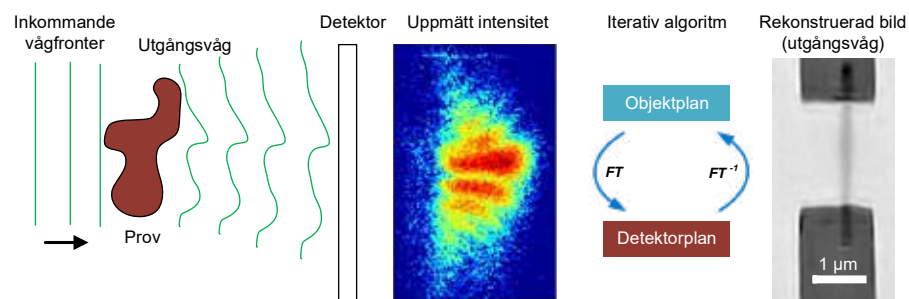
Vid MAX IV är ett av de första strålrör som har kommit i drift NanoMAX, ett 100 meter långt strålrör som använder fokuserade röntgenstrålar för experiment på nanoskalan. Vid NanoMAX fokuseras röntgenstrålarna ner till 50-100 nanometers diameter med användande av speciella speglar, polerade med en precision på mindre än 1 nanometer.

Röntgenstrålning växelverkar svagt med materia, vilket gör den användbar för avbildning av till exempel levande patienter eller kompletta elektroniska komponenter. I röntgenavbildning låter

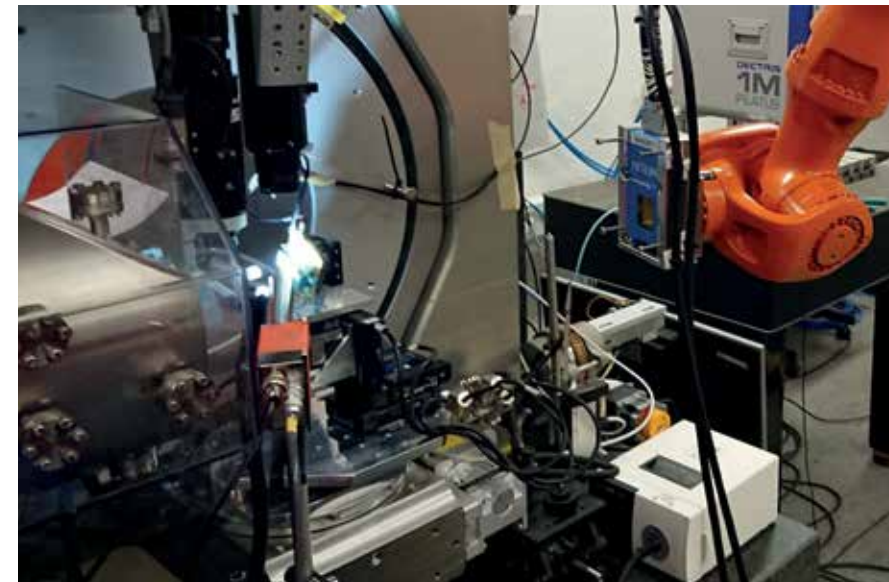
man en röntgenvåg växelverka med provet (figur 1), och i passagen genom provet kommer vågens amplitud att minska och dess fas att förskjutas. Förenklat så är fasskiftet och absorptionen proportionellt mot antalet elektroner som passerar på vägen genom provet, så att optiskt tjocka och täta delar kommer ge större fasskift. På detta sätt är den så kallade utgångsvågen, direkt efter provet, en bild av objektets projicerade elektrontäthet.

I traditionell mikroskopi används förstörande optik för att avbilda utgångsvågen på en detektor. Den svaga interaktionen med materia gör det tyvärr också svårt att göra effektiv optik i röntgenområdet, och detta kan begränsa den spatiala upplösningen. Trots att röntgenoptiken gjort stora framsteg de senaste åren, bland annat tack vare utveckling av Ulrich Vogts grupp vid KTH, så finns det därför ett stort intresse för röntgenavbildningsmetoder som inte är begränsade av optiken.

En familj av sådana metoder kallas koherent röntgenavbildning, och i dessa får utgångsvågen propagera direkt till en detektor, utan mellanliggande optik. På



Figur 1: En inkommande våg av koherent röntgenstrålning passerar ett prov, vilket leder till att fassen förskjuts i utgångsvågen. En detektor används för att mäta interferensmönstret, men vågens fas kan inte direkt fås från denna mätning. Istället används iterativa algoritmer för att rekonstruera fassen i utgångsvågen, vilket ger en bild av provet.



Figur 2: Bild från en experimentstation vid Nanomax. Längst till vänster syns vakuumkanaren för de nanofokuserande speglarna, och till höger syns den blåa detektorn som hänger på roboten i orange. Provet befinner sig i det ljusa området ungefär i mitten.

Detta är viktigt eftersom dessa förändringar påverkar radikalt hur komponenten fungerar, på både bra och dåliga sätt. I själva verket använder dagens datorchips medvetet sådana ändringar i atomgittret för att fungera. För att mäta dessa förändringar måste vi mäta spridning i speciella riktningar relaterade till nanostrukturernas kristallgitter – så kallade braggvinklar. För denna speciella typ av avbildning, koherent braggdiffraktion, måste detektorn positioneras med hög precision i en viss vinkel mot provet. På NanoMAX uppnås detta med hjälp av en industrirobot som har programmerats speciellt för ändamålet (figur 2).

Vi analyserar fortfarande data från våra mätningar – moderna detektorer vid strålrör som NanoMAX skapar datamängder i storleksordning en terabyte per dag. Precisionen och snabbheten vid koherent röntgenavbildning utvecklas snabbt och ger oss helt nya möjligheter att avbilda och därmed förstå och utveckla framtidens elektronik för solceller, datorer och mycket annat.

En förutsättning för alla dessa metoder är att den inkommande vågen är koherent, vilket gör MAX IV unikt väl lämpat. Förutom Nanomax kommer koherenta avbildningsmetoder att användas vid strålrören Softimax och Danmax, som nu är under uppbyggnad, och troligen vid ännu fler i framtiden. Det koherenta ljuset från MAX IV kommer också att ge väsentligt bättre resultat för andra metoder som bygger på interferens, till exempel kristallografi.

Författarna tackar studenter och kolleger vid Institutionen för fysik i Lund och NanoMAX på MAX IV som har deltagit i arbetet.

ANDERS MIKKELSEN OCH
JESPER WALLENTIN,
FYSISKA INSTITUTIONEN &
NANOLUND, LUNDS UNIVERSITET

detektorn bildas ett komplext interferensmönster, som till synes saknar koppling till den ursprungliga utgångsvågen. Det går emellertid att visa att vågen vid detektorn är proportionell mot den tvådimensionella fouriertransformen (FT) av utgångsvågen. Om det gick att mäta amplituden och fassen för fältet vid detektorn, skulle utgångsvågen kunna återfås genom en invers fouriertransform (FT⁻¹).

Tyvärr är det omöjligt att direkt mäta fassen för röntgenvågor eftersom frekvensen är i storleksordningen 10¹⁸ Hz. Interferensmönstret som mäts är proportionellt mot absolutbeloppet av vågen, så att informationen om fassen går förlorad. Detta så kallade fasproblem återkommer i många fält av fysiken. För att rekonstruera fassen används olika algoritmer, där man börjar med en gissning av utgångsvågen och sedan itererar fram en lösning. Det har skett en intensiv utveckling av dessa algoritmer de senaste två decennierna, så att det idag går att göra beräkningarna inom några minuter på en vanlig persondator. Man skulle kunna säga att koherent avbildning låter datorer ersätta optiken, även om röntgenoptik i praktiken används för att uppnå tillräcklig intensitet på provet.

Koherent röntgenavbildning är en elegant illustration av ljusets våg-partikel dualism. I figur 1 visas ett exempel på en detekterad signal från Nanomax. Ljusets vågegenskaper manifesteras genom inter-

ferensmönstret, som också visar att vågfronten måste påverkas av hela det belysta objektet. Samtidigt gör partikelegenskaperna att varje fotonens hela energi kommer att absorberas och detekteras i en enda pixel. Eftersom fotoner i röntgenområdet har så hög energi, ungefär 10 000 gånger högre än för synligt ljus, så är det relativt enkelt att räkna enskilda fotoner och utskilja dem mot bakgrunden.

Med hjälp av koherent avbildning vid NanoMAX studerar vi strukturen och funktionen hos nanotrådskomponenter för höghastighetselektronik och solceller. För att dra nytta av nanotrådarernas speciella egenskaper i en fungerande komponent måste man bygga en multilagerkonstruktion med elektriska kontakter och isolerande lager. Figur 1 visar en transistor med en nanotråd som integrerats med metallkontakter. Fördelen med röntgenavbildningen är att man kan titta in igenom hela komponenten och se hur nanotråden ändras när vi har lagt på alla dessa lager. Vidare, när komponenterna når nanoskalan, kan de faktiskt ändra struktur när de används – tills exempel vid en pålagd elektrisk spänning. Genom att använda röntgenstrålar kan vi observera solceller och transistorer när de används och följa dessas förändringar live.

En särskild fördel med röntgenljus är förmågan att mäta även mycket små förändringar i atomgittret inom nanostruktur, genom att använda diffraktion.

Geometrisk optik med mobiltelefoner

Som lärare kan det vara både stimulerande och frustrerande att teknikutvecklingen går så fort. Vi får hela tiden kämpa med att hålla olika kursmoment aktuella både vad gäller utrustning som studenterna känner att de har nytta av och som också anknyter till deras vardag. Här delar vi med oss av ett exempel på hur man med små medel kan uppdatera en laboration i geometrisk optik genom att utnyttja mobil-

telefoner. Genom att använda kameran i studenternas egna mobiltelefoner kopplas laborationen närmare till studenternas vardag och visar att fysikaliska begrepp har en central roll att spela där. Laborationen som vi har förnyat är en grundläggande laboration i geometrisk optik som våra förstaårsstudenter genomför. Laborationen ges både i den inledande fysikkursen i fysik vid den naturvetenskapliga fakulteten vid Lunds

Universitet och på flertalet civilingenjörsprogram vid Lunds Tekniska Högskola (LTH), men skulle passa utmärkt även på gymnasiekurser. Här vill vi visa att en i många stycken klassisk laboration kan förnyas med hjälp av billig laborationsutrustning och studenternas mobiltelefoner utan att för den sakens skull kompromissa om de lärandemål som vi förväntar oss att studenterna uppnår.

I geometrisk optik försummas ljusets vågegenskaper, det vill säga att man antar att ljuset rör sig rätlinjigt genom ett material, och endast böjs av då strålen passerar gränssytan mellan två material med olika brytningsindex (det kallas ibland också stråloptik). Då de flesta problem inom detta område kan lösas med geometriska resonemang som sällan går utöver gymnasiets C-spår i matematik, lämpar sig laborationen även för studenter som saknar mer avancerad matematik. Trots detta kan flera användbara och moderna tillämpningar, till exempel förstoringsglas, mikroskop och kikare, utforskas och förstås med hjälp geometrisk optik. Begrepp som bildpunkter, som det tidigare sällan fanns anledning att fördjupa sig i, får ett naturligt utrymme då de egna mobiltelefonernas kamera används.

Laborationen i sin helhet är tänkt att genomföras under fyra timmar. Före laborationen förväntas studenterna göra ett antal förberedande uppgifter. Dessa är i huvudsak räkneuppgifter som syftar till att studenterna ska ha ett bra grepp om teorin innan de praktiska momenten genomförs. De praktiska momenten vid la-



Figur 1: Optisk bänk med bildföremål, lins och bildskärm.

Figur 2. Mobiltelefon med en extra lins monterad.

borationstillfället inleds med tre övningar vid den optiska bänken, se figur 1. Där undersöks positiva och negativa tunna linsers egenskaper. Det är värt att notera att en positiv lins har två lägen där man får en skarp bild, ett kameraläge och ett projektorläge. I laborationens nästa steg får studenterna sedan i uppgift att kombinera två linser och bygga en keplerkikare som består av 2 positiva linser och som ska ha en lateralförstoring 4 gånger. I vissa versioner av laborationen utökas denna del av laborationen till att också omfatta byggande av ett mikroskop bestående av en positiv och en negativ lins och eller en Galileikikare (även kallad teaterkikare).

Därefter går studenterna över till att studera kameran i deras egen mobiltelefon, figur 2. Till att börja med får studenterna bestämma hur stor bildsensorn och bildelementen är med hjälp av två korslagda linjaler (se faktaruta). Med hjälp av linser som köps från wish eller liknande kan man bygga både kikare och mikroskop precis som vid en optisk bänk men istället för att betrakta avbildningen direkt med ögat, fångar vi avbildningen med mobiltelefonens kamera. Fördelen med detta är dels att vi lyfter fram att fysiken inte slutar efter undervisningstillfället utan har relevans även för att förstå vardagliga föremål och fenomen. Vi får dessutom möjlighet att utföra experimenten med utrustning som är billigare och därmed också mer lättillgänglig.

TOMMY HOLMQUIST
KURSLAB, LTH



Fakta: För att bestämma bildsensorns och bildelementens storlek i en iPhone 5s fotograferades två korsade linjaler på avståndet 365 mm. När man sedan tittade på bilden syntes 115 mm av den horisontella linjalen och 86 mm av den vertikala. Använd tabellen intill för att lösa uppgifterna nedan. Objektivet kan behandlas som en tunn lins.

- a) Hur långt från objektivet ska bildsensorn sitta om bilden ska bli skarp?
- b) Hur stor är kamerans bildsensor?
- c) Kameran har kvadratiske bildelement. Hur stor sida har bildelementen?

Modell	f / mm	# / Mpx
Apple iPhone 4	3,85	5
Apple iPhone 4S	4,28	8
Apple iPhone 5	4,10	8
Apple iPhone 5C	4,28	8
Apple iPhone 5S	4,12	8
Apple iPhone 6, plus	4,15	8
Apple iPhone 6S, plus	4,15	12
Apple iPhone 7, plus	4,0	12
Google Pixel, XL	4,67	12,3

Modell	f / mm	# / Mpx
HTC One M8	3,82	4
HTC One M9	4,73	20,1
HTC 10	4,58	12
LG G2	4,0	13
LG G4, G5	4,42	16
Nexus 4	4,6	8
Nexus 5	4,0	8
(Huawei) Nexus 6P	4,67	12,3
Samsung Galaxy S3	3,7	8

Modell	f / mm	# / Mpx
Samsung Galaxy S4	4,2	13
Samsung Galaxy S5	4,8	16
Samsung Galaxy S6, Note5	4,3	16
Samsung Galaxy S7	4,2	12
Sony Xperia Z	4,1	13,1
Sony Xperia Z1	4,9	20,7
Sony Xperia Z2	4,9	20,7
Sony Xperia Z Ultra	3,0	8

Tabell 1. Data för några vanliga mobiltelefoner.

Svar: 115 mm, 86 mm, 365 mm, 1,31 (9 mm, 1,31)

Laddare och nätadapttrar



Bild 1: Adapttrar som återfunnits, men inte återvunnits. De mindre är digitala.

Laptop, mobil, kamera, tandborste, skruvdragare, rakaparat, kort sagt allsköns bärbar utrustning kräver vanligen 3–24 V och därför medföljer en nätadapter. Som bekant ökar entropin när man vänder ryggen till och många av oss har ganska många adapttrar liggande här och var. Vid en snabb inventering hemma fann jag 9 st (bild 1), flera till utrangerad utrustning.

En nätadapter/laddare kopplas till ett vägguttag och omvandlar nätspänningen till en lägre lämplig växel- eller likspänning. Inne i själva apparaten används oftast likspänning, speciellt om den är bärbar och innehåller uppladdningsbara batterier. Det som skiljer laddare åt är bl.a. spänningsnivå, om de lämnar lik- eller växelspänning, strömkapaciteten, kvalitet både på spänning och ström samt utförande. Det mest påtagliga och störande är ändå floran av kontakter.

Analoga (linjära) nätadapttrar består av en transformator, likriktarbrygga och en glättningskondensator (bild 2). De ger en helvågslikriktad spänning (bild 3). De har relativt stora effektförluster och för högre ut effekter blir de stora, tunga och dyra.

Nyare adapttrar är ofta digitala (switchade), där nätspänningen likrikas och hackas upp till kantvågor med frekvenser på över 100 kHz av en fält-effekttransistor. På utgången finns en pulsbreddsmodulator, vilket ökar effektiviteten. Vid eventuell överlast/kortslutning stoppas pulsbreddsmodulatorens. Den analoga jobbar med snäll sinusvåg, men den digitala alstrar kantvåg med branta flanker och varierande pulsbredd. Vid omslagen genereras störspikar (ripple, bild 3) som inte är helt lätta att få bukt med. Det är främsta anledningen till att livslängden är kortare än för en analog. Den höga frekvensen gör adapttern mer effektiv, då de switchade, med motsvarande prestanda, är både mindre och billigare.

Välja laddare/adapter

En nätadapter oavsett typ är framtagen till en viss utrustning. Är man helt säker på att samma förutsättningar (spänning, effekt etc) råder för en annan utrustning kan man skifta, givet att kontakten passar (se USB nedan) och har rätt polaritet. Men var noga med AC-adapttrar. En adapter med sinusformad spänning bör inte ersättas med en digital, om man inte

är helt säker på att utrustningen fungerar lika bra med en annorlunda vågform.

Är adaptterns spänning för låg finns risk för att utrustningen inte fungerar och är spänningen för hög riskerar utrustningen att gå sönder. Det finns dock adapttrar med ställbar utspänning. Till skillnad från spänningen, kan strömmen en nätadapter förmår leverera vara högre än den utrustningen kräver, eftersom den bara använder så mycket ström den behöver. Skulle adapttern däremot vara för svag kan den överbelastas och gå sönder.

Snabbladdningstekniker som Quick Charge använder laddare med viss elektronik, s.k. smart laddare, som kan kommunicera med ett likaledes smart batteri och hålla koll på batteriets egenskaper och tillstånd. Därigenom kan spänningen tidvis höjas och strömmen ökas till dess batteriet är nästan fulladdat.

USB – räddaren i nöden

I floran av olika kontakter har USB (Universal Serial Bus), lanserad under 1990-talet, gjort skäl för namnet. Den har blivit universellt gångbar och gjort tillvaron enklare inte minst tack vare USB-minnet. Utöver dataöverföring kan USB också strömförsörja anslutna en-

heter. USB-adapttrar utlovas ge 5 V, med ström på 0,5 A till mobil; 1 A till smartphone och 2 A till surfplatta. Jag mätte ett antal (5 st) adapttrar och de gav allt från 4,97 V till 5,35 V. När de belastades med avsedd utrustning sjönk spänningen, som mest med 8 procent. Jag provade också att istället belasta med en vridresistor. När resistansen minskades under 10 Ω ökade strömmen märkbart och adapttern blev varm. Plötsligt slog den ifrån, så det verkar finnas en spärr mot för höga strömmar och/eller för hög temperatur.

USB-A används i datorn och USB-B för tillbehör (skrivare, skanner, tangentbord etc.). Kontakten är asymmetrisk och polariteten är därmed inget problem, och utöver standard-USB finns också mini och mikro. Dessa blev 2014 överflödiga tack vare den smidiga USB-C, ty den är symmetrisk och kan vändas fritt i uttaget i likhet med Apples lightningkontakt.

Parallellt har nya versioner med högre överföringskapacitet kommit, kallade 2 och 3 (blåmärkt). Från den ursprungliga USB 1.1 med en överföringskapacitet på 12 Mb/s, via 2:ans 480 Mb/s, klarar 3:an nära 5 Gb/s. Det senare genom dubbelriktad dataström, vilket åstadkoms med 5 extra ledningar i kabeln. En annan fördel är att USB 3.0 klarar av att leverera mer ström till de anslutna enheterna (0,9 A). Ännu mer förmår USB-C 3.1 med 24 kontakter. Den klarar 10 Gb/s och kan leverera 100 W, vilket räcker till att ladda de flesta bärbara datorer. Kablar till USB-C 3.1 och Apples lightning innehåller båda ett chipp (bild 5) med ID och andra funktioner. Det stora antalet kontakter gör att stöd även ges för bl.a. VGA och HDMI. Version 3.2 från 2017 ska klara 20 Gb/s och fortsättning lär följa.

Kan nätadapttern ta eld och vad kan man göra för att minska risken?

I media skrivs då och då om laddare och batterier som börjat brinna. Om det beror på laddaren och/eller användaren är svårt att veta. Inte bara laddaren kan vara undermålig, utan även kablarna kan vara för kläna. En klonad sjörövar är som bekant en piratkopia och de senare är det gott om i elektronikbranschen. Lågt pris kan bli dyrt. Vill man vara försiktig bör



Bild 2: Fulltransformator med bladad kärna av mjuk transformatorplåt. Primärsidan har tunn tråd medan sekundärsidan har tjockare. För att från 230 V erhålla 5 V krävs 46 gånger så få varv i sekundärindringen. Likriktarbryggans fyra dioder och en glättningskondensator på sekundärsidan syns upptill i bilden, vilket ger helvågslikriktad DC.



Bild 3: nedtill: Till vänster rippel på ca 40 mV från en linjär adapter med likriktarbrygga och glättningskondensator. Till höger rippel på cirka 250 kHz med spikar på 100 mV från en switchad adapter. Rippetet ligger på promillenivå för båda typerna.

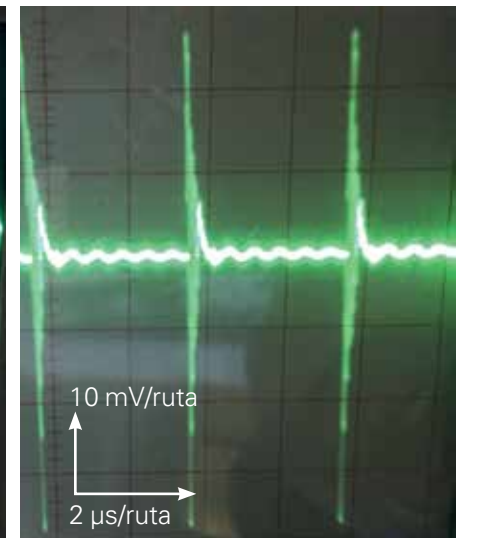


Bild 4: Från vänster: USB-A, mini-USB, mikro-USB och USB-C.

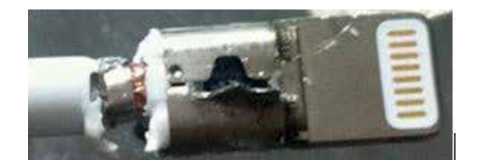


Bild 5: Chippet i Apples lightningkabel.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM
STOCKHOLM UNIVERSITET



Tünde Fülöp från Chalmers berättade om jobbet med att utveckla hållbara energisystem. Kärnfusion är en miljövänlig energikälla, men det är en stor teknisk utmaning att komma bort från experimentfasen, berättar hon.



Fysikshow av doktorander.

"Fråga Lund"-fysikern Gabriella Stenberg Wieser berättade om utmaningarna med att bygga instrument för rymden och kometsonden Rosetta.



Mina Maskuniitty, Europaskolan Strängnäs och Elsa Jacobsson, Mediagymnasiet Nacka funderar över tidigare fysikproblem från Wallenbergs fysiktävling.



Från vänster: Denzel Heiaas och Anders Björklund båda från Nils Ericsons gymnasium, Trollhättan, Samuel Eriksson, Sjölundsgymnasiet Nacka, samt Claudia Skoglund Kungsholmens gymnasium Stockholm. Längst till höger Christer Fuglesang som berättade om rymdäventyr.



Sheila Galt från Chalmers föreläser om laser och tillämpningar.



Det fanns gott om andra fysikintresserade jämnåriga att diskutera med.



Problemen var utmaningar utan självklara svar, vilket gymnasisterna uppskattade.

Lise Meitnerdagarna

16-18 november 2018



För fjärde året i rad förvandlades en novemberhelg till en riktig ljuspunkt för fysikintresserade gymnasister från hela landet: Lise Meitnerdagarna på Albanova i Stockholm! I år hade programmet utökats till tre dagar, och de drygt hundra eleverna fick bland annat lyssna på föredrag, möta studentambassadörer från olika fysikutbildningar och experimentera med problem hämtade från Wallenbergs fysikpris och Vetenskapens hus. Ett nytt populärt inslag var vetenskapsspelet Operation Mundus som Sveriges unga akademi höll i. Programmet inleddes med att Karl Grandin berättade om fysikern som fått ge namn åt arrangemanget, Lise Meitner, och avslutades med att Sören Holst och nobelpristagaren Frank Wilczek höll varsitt föredrag om kvantfysik. Däremellan bjöds det på föredrag om rymdresor (Christer Fuglesang om bemannade sådana, och Gabriella Stenberg Wieser om den till kometen 67P/Tjurjumov-Gerasimenko) och om framtida energi-

källor (Tünde Fülöp om kärnfusion, och Malin Göteman om vågkraft). En lasershow med Sheila Galt och en fysikshow med doktorander från Stockholms universitet fanns också med i det fullmatta programmet. De fyra studenterna i arrangörsguppen: Julia Järlebark, Stefan Sigurdsson, Lara Sheik och Oskar Vallhagen, fick ta emot mycket välförtjänta stående ovationer när arrangemanget avslutades. Lise Meitnerdagarna är möjliga att genomföra tack vare att Stockholms universitet och Kungliga tekniska högskolan ställer upp som värdar, och att ett generöst ekonomiskt stöd getts av Marcus och Amalia Wallenbergs stiftelse, Kungl Hvitfeldtska stiftelsen, Bertil Wollerts stipendiefond, Sven och Dagmar Saléns stiftelse, Beijerstiftelsen, Jakob Wallenbergs stiftelse samt Tage Swahns stiftelse. Varmt tack för stödet!

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
ORDFÖRANDE I FYSIKERSAMFUNDET

Partikelfysik bit för bit

En lækker bilderbok har dykt i boklådornas hylla för populärvetenskap, Ben Stills *Partikelfysik bit för bit*. Titelsidan utlovar att universums minsta byggstenar ska förklaras med hjälp av legobitar, baksides-texten fyller i att vi här ska möta kvantfysikens grunder på ett unikt sätt och boken inleds med att när man väl lärt sig monteringsreglerna ska man själv kunna bygga en hel armada av egna exotiska partiklar. En presentation som det är svårt att stå emot för den som är på lekhumör och det minsta fysikintresserad!

Och upplägget är tilltalande med en enkel systematik där standardmodellens partiklar görs visuellt lättillgängliga med hjälp av enkla legobitar. Vi har röda, gröna och blå bitar som föreställer kvarkar, och vita, svarta och genomskinliga som representerar leptoner. Bitarnas storlek ökar med massan hos partiklarna så att standardbitar med fyra, sex respektive åtta knoppar motsvarar en upp-, charm- respektive en toppkvark, eller en ner-, sär- respektive bottenkvark. Men hur skiljer vi mellan exempelvis en upp- och en nerkvark? Jo, en fyrknoppsbit som placeras ovanpå en annan legobit blir en uppkvark, medan en som placeras under en annan legobit blir en nerkvark! Metoden fungerar så länge man håller sig till byggsatser med enbart två våningsplan, men Still bygger glatt höghus som modeller för tunga atomkärnor och vi får då acceptera att uppkvarkarna märkligt nog kan hamna långt ner i byggnaden.

Boken inleds med en genomgång av de byggstenar och monteringsregler som används i modellen, det vill säga de par-

tiklar och krafter som sedan får en närmare presentation i de följande kapitlen. Lite förvirrande kan det nog vara med kvarkbitarnas färger, regeln att en nukleon alltid behöver innehålla en röd, en grön och en blå bit för att totalt sett bli vit dyker tyvärr inte upp förrän på sidan 39.

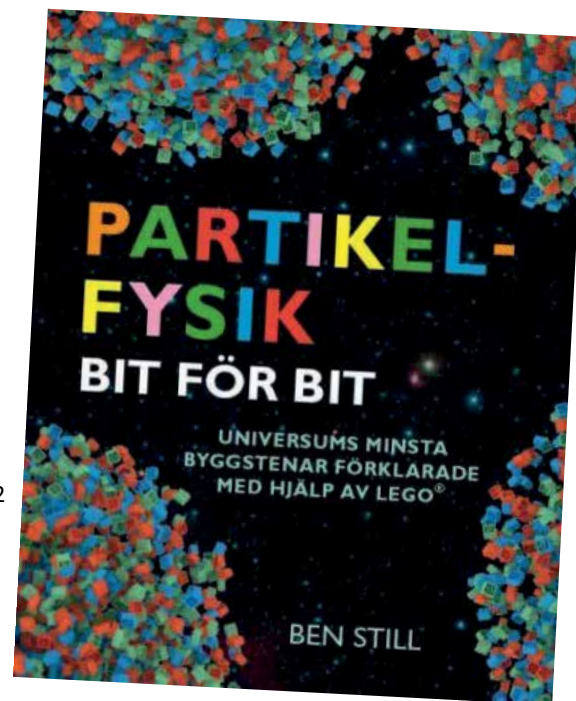
Sen följer en historiektion med början i big bang där vi så småningom kan vara med och med hjälp av monteringsregler som alfastege, syrefusion och r-process bygga allt större och större atomkärnor. Därefter får elektromagnetism, stark och svag växelverkan varsitt kapitel innan symmetribrott och higgsfält gör entré. För att illustrera hur symmetrin kan brytas uppmanar Still oss att granska texten på knopparna: Står där verkligen "BRICK" eller har texten spegelvänts? Svaret avgör om det är en högerhänt eller vänsterhänt elektronneutrino vi har framför oss när vi håller den minsta vita legobiten i handen.

Boken avslutas med utblickar in i de områden där teorier väntar på att experi-

mentellt bekräftas eller förkastas: Finns det majorananeutriner, sfaleroner och wimpar? Ska kvarkarna och leptoner få sällskap av skvarkar och sleptoner?

Varje uppslag kan läsas för sig och boken kan därför fungera som en uppslagsbok för den som vill få en första beskrivning av olika partiklar och växelverkningar. Eller rättare sagt, borde kunna vara det. Tyvärr är det lätt att hitta förvirrande sakfel i texten: En berylliumatom visar sig vara en litiumdito, elektroner dyker upp i dubblerad uppsättning när elektronbanor introduceras, och när baryontalet för antibaryoner ska beräknas blir det teckenfel. Korrekturmissarna gör att man inte vet om man kan lita på innehållet. Så länge dessa inte har rättats till är boken i första hand lämpad för den som är kunnig inom partikelfysik och vill låta lekhumöret stimuleras av några timmars *Finn fem fel!*

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON,
HÖGSKOLAN I BORÅS



Partikelfysik bit för bit
Författare: Ben Still,
fysiker vid University
of London
Pris: 164 kr, inbunden
Översättare:
Gunnar Hasseläng
ISBN: 9789177832102
Turkan Förlag, 2018
Antal sidor: 176
Vikt: 721 g



Vem kan segla förutan vind?

Kan man i vindstilla få en segelbåt att åka framåt genom att blåsa på seglet med en fläkt fastsatt på båten? Ibland besvaras denna fråga i litteraturen med ett nej med referens till den omöjliga historien om baron Münchhausen, som påstås ha lyft sig själv i håret för att kunna rida över ett träsk. Detta är ju omöjligt på grund av Newtons tredje lag.

Vi studerar först problemet med ett enkelt experiment. På bild 1 har jag placerat en fläkt på en leksaksbåt. Fläkten finns att köpa på många ställen och drivs med två AA-batterier. Båten åker framåt med god fart.

På bild 2 genererar en fläkt en rörelsemängd $p = mv$. Placeras fläkten på en båt kommer båten att röra sig på grund av konservering av rörelsemängden, bild 3a. Vi placerar sedan ett segel på båten. I första ögonblicket rör sig båten fortfarande bakåt, se bild 3b. I en enkel modell kommer oberoende molekyler med massa m in vinkelrätt mot seglet. Vi antar att

molekylerna sedan reflekteras elastiskt i seglet, se bild 3c. Genom att den totala rörelsemängden bevaras kommer båten med massan M att röra sig framåt med hastigheten $u = (m/M) v$. Man kan visa att denna effekt är associerad med en kraft $F = \rho v^2 A$, där ρ är massdensiteten och A är seglets area. Den observerade båthastigheten är betydligt mindre än vad vår enkla teori förutsäger. En bidragande orsak är att molekylerna inte reflekteras elastiskt. Om de absorberas helt eller sprids åt sidan kommer båthastigheten att bli noll eftersom kraften från fläkten och seglet då är lika.

Modellen för luftreflektionen i seglet, illustrerad på bild 4a, är alltför enkel. I praktiken växelverkar molekylerna och man måste betrakta luften som ett kontinuum. Man finner då en modifierad kraft $F_w = c_w (1/2) F$, som är beroende av typ av flöde och av Reynolds tal. Den senare faktorn är en dimensionslös storhet som används för att karakterisera olika strömningssfall. För ett plant och stelt segel

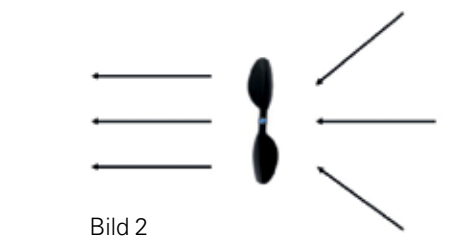


Bild 2

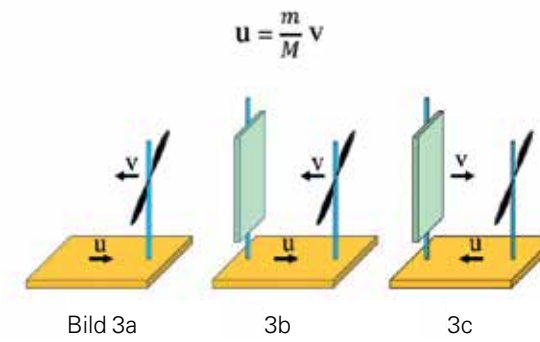


Bild 3a

3b

3c

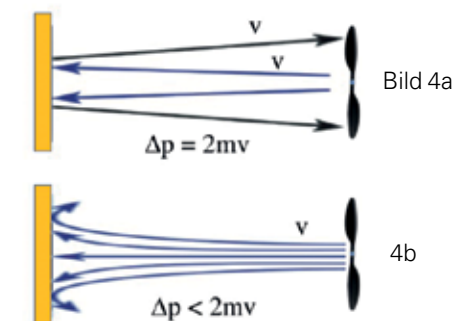


Bild 4a

4b

är $c_w = 1,12$ och vilket ger $F_w = 0,56 F$. Situationen illustreras på bild 4b där man ser att luften böjer av redan innan den träffar seglet. Bakåtspridningen är liten men kan ökas genom att använda ett skålformat segel med samma funktion som skovlarna i ett vattenhjul (Pelton-form). Jag har inkluderat effekten något genom att böja seglet vid kanterna, se bild 1. Att man i vissa försök inte observerat någon rörelse beror inte bara på en dålig reflektion i seglet utan också på att man istället för båt använt en vagn med alltför stor friktion vid hjulrörelsen.

Summa summarum, man kan segla utan vind genom att använda en fläkt som blåser på seglet. På grund av dålig luftreflektion i seglet är det dock mycket effektivare att ta bort seglet och vända på fläkten, som på en träskbåt.

PER-OLOF NILSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

FRAMTIDENS LABORATIVA LÄROMEDEL JULKATALOG 2018

Om vår Julkatalog inte har hamnat på ditt skrivbord, kontakta Gammadata så skickar vi dig en katalog.

Frederiksen
Passion for science



www.gammadata.net

Corporate Headquarters
Sweden
+46 18 56 68 00
Gammadata Instrument AB
Box 2034
750 02 UPPSALA

www.gammadata.se
info@gammadata.se

Sweden
+46 18 56 68 00
Finland
+358 40 773 1100
Norway
+47 330 96 330

Webshop
www.gammadata.net