

f Fysikaktuellt

NR 4 • DEC 2017

Nobelpris med guldkant

Läs mer sid 6–11

ISSN 0283-9148

Polymersolceller
för en hållbar
framtid

Sid 12

Varför är
forskningsetik
viktigt?

Sid 16

Vad har man
långsamt ljus
till?

Sid 18

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.

Publiceringsdatum 2018: 7/3, 4/6, 28/9 och 14/12.

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 nedtill.

Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- Europhysics News, 5 nummer/år
- KOSMOS 2017, tema kvantfysik (gäller vid medlemskap 2017)
- 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.prenserservice.se/KodLandning/Index/?Internetkod=057-0571329>

Omslag: Bild från Nasa.gov – an artist's impression of gravitational waves generated by binary neutron stars. Credits: R. Hurt/Caltech-JPL.

Layout: Göran Durgé
Tryck: Trydells, Laholm 2017



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
- Mittuniversitetet – Institutionen för naturvetenskap, teknik och matematik
- 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
Joakim Cederkäll
- 4-5 AKTUELLT/NOTISER
- 6-11 NOBELPRISET 2017
Ariel Goobar, Stephan Rosswog, Jesper Sollerman
- 11 ANNONS
Natur&Kultur
- 12-13 AVHANDLINGEN
POLYMERSOLCELLER FÖR EN HÅLLBAR FRAMTID
Rickard Hansson
- 14-15 INTERVJU RICKARD HANSSON
Margareta Kesselberg
- 16-17 FORSKNINGSETIK OCH FORSKNINGSGRANSEN
Francis Saunders
Översättning: Elisabeth Rachlew
- 17 ANNONS
Unga Forskare
- 18-22 LÅNGSAMT LJUS
VAD KAN MAN HA LÅNGSAMT LJUS TILL?
Alexander Bengtsson, Stefan Kröll
- 23 ANNONS
WALLENBERGS FYSIKPRIS
- 24-25 ASTRONOMISK UNGDOM
Rosina Andersson
- 26-27 BOKRECESSIONER
DEN MODERNA FYSIKENS GENOMBROT
Erik B. Karlsson
INGA OCH LEO PROGRAMMERAR
Jenny Kramsjö
- 28-29 VARDAGENS FYSIK
BRANDVARNARE I JULETID
Max Kesselberg
- 30 HELGNÖTTER
- 31 FYSIKALISKA LEKSAKER
GRANULÄRA MATERIAL
Per-Olof Nilsson
- 36 ANNONS
GAMMADATA

Det svenska forskningsfinansieringssystemet
behöver uppdateras

Vid den här tiden på året väntar många av oss på utvärderingarna av de ansökningar som vi skickar in årligen till olika forskningsfinansiärer. Beviljandegraderna varierar, men de ligger ofta mellan 10 till 20%. Ofta är det nog tyvärr så att även mycket välmeriterade forskare kan finna att en ansökan fått avslag. Den centrala punkten för många kolleger jag pratat med över åren är dock inte att man från ett år till ett annat kan vara mer eller mindre lyckosam med att övertyga om ett projekts goda sidor utan det faktum att med dagens finansieringssystem så är även fast anställda forskare, t.ex. lektorer och professorer på universiteten, beroende av ansökningar för att täcka väsentlig del av den egna forskningstiden. För att få anställningen har forskaren dock på sedvanligt vis utvärderats i flera steg innan en fast anställning blivit aktuell. Utanför akademien är systemet nog ganska okänt, och det skall sägas att variationer kan förekomma förstås.

I de länder där forskarna har sin anställning betald av arbetsgivaren skrivs ansökningar företrädesvis för att forskargrupperingar skall få medel till instrument och drift eller till postdoktortjänster. I USA är det vanligt med niomånaderslön, på samma eller högre nivå än motsvarande årslön i Sverige från vad statistiken indikerar. En ansökan till en forskningsfinansiär kan då även innefatta medel för ”sommarforskning” mellan terminerna, men även i USA, som väl allmänt anses ha en starkt konkurrensinriktad forskningsmiljö, betalas ofta alltså en större del av forskarnas löner direkt av arbetsgivaren än i Sverige.

För att avsluta med en anekdot så känner jag själv till ett fall där en europeisk forskare som erbjudits tjänst vid en



svensk högskola ringde upp och frågade om villkoren. Han hade hört att man i Sverige även som fast anställd var tvungen att börja det nya jobbet med att söka medel som i alla fall delvis skulle täcka den egna lönen. Frågan var varför man skulle flytta till Sverige och söka medel för en tjänst man redan fått när man redan i hemlandet hade 100% täckning av löneutgifterna från det egna universitetet? Forskaren ifråga avstod senare från erbjudandet och lyckades strax därpå även få ett anslag från det Europeiska forskningsrådet. Ett anslag som alltså kunnat komma ett svenskt universitet till del om villkoren för fast anställning hade varit annorlunda hos oss.

Nu pågår sedan en tid en diskussion om hur svenska forskares villkor ser ut i jämförelse med situationen i andra länder. Låt oss hoppas på att en förändring kommer som gör att redan anställda forskares villkor förbättras och att vårt finansieringssystem därmed också blir mer konkurrenskraftigt internationellt.

J. Cederkäll
JOAKIM CEDERKÄLL
SEKRETERARE
SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

Forskning på gymnasie-nivå

I labbsalen hörs bara ett dämpat sorl. Runt ett bord fyllt med mer elektronik än vad som går in, jobbar fyra experimentalister febrilt. I centrum finns en liten kula, placerad mellan en ultraljudshögtalare och en reflektor. Plötsligt börjar kulan röra på sig och sväva, först trevande och skälvande men därefter allt mer stabilt. Sorlet stiger till jubel och hela rummet applåderar.

Scenen skulle kunna vara hämtad från vilket laboratorium som helst. Skillnaden är att laboranterna är gymnasieelever och befinner sig på fysikläger anordnat av IYPT Sweden och Ung Vetenskapssport i samarbete med Lunds Universitet. Tillsammans med 30 andra ungdomar har laboranterna kommit till Fysicum i Lund under den 13/10–15/10 för att experimentera med 17 öppna forskningsproblem i fysik, och implicit besvara frågan ”går det att bedriva fysik på forskningsnivå redan på gymnasiet?”. Efter en helg där allt från livstiden hos såpbubblor till det stokastiska beteendet hos stearinljus



bestämts, så måste svaret på frågan onekligen vara jakande. Särskilt givande var de diskussioner som uppstod mellan elever, lärare och fysiker om vad som egentligen händer i de olika problemen, vad som kan mätas, och vilka teorier och principer som korrekt beskriver resultaten.

Lägret är en del av fysiktävlingen International Young Physicists Tournament (IYPT) där gymnasieelever i varje land har ett år på sig att lösa de 17 problemen. Många av eleverna gör ett av projekten som sitt gymnasiearbete med vilket de tävlar om en av fem platser i landslaget, som mot slutet av sommaren reser iväg med den svenska forskningsproduktionen. Kommande tävling går av stapeln i Beijing, Kina, där laget tävlar i ett format som påminner om en disputation, med

en opponent från annat lag (som jobbat med samma problem) försöker ifrågasätta allt från metodval till teoretiska antaganden.

För en del av eleverna på lägret var det deras första möte med IYPT, och många var sugna på att fortsätta så snart de kommit tillbaka till sina respektive skolor. Eftersom tävlingen pågår under hela året, är det därför ännu inte försent för intresserade gymnasieelever att komma igång, ett varmt tips till fysiklärare runt om i landet, och likaså för fysiker som är till lika delar intresserade av spännande fysik och givande utbyte med drivna elever. Även tyret börjar på <http://www.iypt.se>.

JAKOB LAVRÖD

Adam och Oliver på bronsplats i Bukarest

När *Romanian Masters in Physics* arrangerades i Bukarest sista helgen i oktober fanns ett svenskt lag på plats tillsammans med gymnasister från, förutom Rumänien, även Serbien, Bulgarien, Ryssland och Bosnien-Hercegovina. Det svenska laget utgjordes av några av eleverna från dåvarande årskurs 1 och 2 som tog sig till final i Wallenbergs fysikpris i våras: Oliver Lindström från Minerva gymnasium i Umeå, Arvid Steen från Polhemskolan i Lund och Adam Warnerbring från S:t Petri skola i Malmö.

Tävlingen var upplagd som en fysikolympiad med teoriuppgifter under en dag, och en experimentell uppgift dagen



Från vänster: Anne-Sofie Mårtensson, Adam Warnerbring, Arvid Steen, Oliver Lindström och Max Kesselberg.

derpå. I ett av teoriproblemen skulle den frigjorda energin vid en kärnvapenexplosion uppskattas med hjälp av foton tagna under de första sekunderna efter explosionen, i ett annat gällde det att uppskatta energiflödet som nådde jorden genom de gravitationsvågor som uppmärksammas i årets Nobelpris i fysik.

I den experimentella uppgiften fick de tävlande använda en fotodiod som detektor när de bestämde sockerkoncentrationen i en okänd lösning genom att undersöka hur mycket lösningen vred polarisationsplanet för en passerande laserstråle.

– Tävlingsuppgifterna var riktiga

Den första interstellära besökaren

Den lilla pricken i bildens mitt är något människor aldrig sett förut. Det är en besökare från den interstellära rymden som passerar genom vårt solsystem. Objektet upptäcktes av teleskopet Pan-STARRS 1 den 19 oktober. Små asteroider upptäcks hela tiden utan att ge nyhetsrubriker. Det finns hundratusentals katalogiserade. Men denna visade sig ha en tydligt hyperbolisk bana. Dess hastighet är så hög att den inte är gravitationellt bunden till solen. Den kommer alltså utifrån, troligen utkastad när ett främmande planetsystem bildades.

'Oumuamua hade vid upptäckten redan passerat solen på ett avstånd mindre än Merkurius'. Nu är den på väg ut igen. Dess marschfart när den lämnat solen kommer att vara hela 26 km/s. Någon möjlighet att som i science fiction-litteraturen genskjuta objektet har vi inte. Men det kan komma flera. "1I" i den officiella beteckningen betyder att den är det första interstellära objektet som upptäckts.



Objektet har fått beteckningen 1I/2017 U1 ('Oumuamua)

Av 'Oumuamuas varierande ljusstyrka har man dragit slutsatsen att den är mycket avlång — ungefär 400 meter lång och bara tiondelen så bred. Färgen är rödaktig. Troligen har den farit i rymden i miljoner eller rentav miljarder år.

Bilden är tagen med William Herschel-teleskopet på La Palma. Under exponeringen följde teleskopet asteroiden. Stjärnorna i bakgrunden syns därför som streck.



Image credit, stora bilden: Alan Fitzsimmons/Queen's University Belfast/Isaac Newton Group La Palma (<http://www.ing.iac.es/PR/press/a2017u1.html>).

Lilla bilden: En konstnärs tolkning av 'Oumuamua. Credit: ESO/M. Kornmesser.

Fysikersamfundets medlemsförmåner 2018

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

MAX KESSELBERG OCH ANNE-SOFIE MÅRTENSSON, SVENSKA LEDARE

Läsvärt i årets sista EPN

I sitt decembernummer bjuder EPN, Europhysics News på många läsvärda artiklar, till exempel: Jean-Sébastien Caux presenterar den metallurgi (!) som gäller vid publicering av vetenskapliga artiklar, Antigone Marino intervjuar Tim Usborne som gjort den prisbelönta dokumentären "Britain's Nuclear Secrets: Inside Sellafield" och Henk Kubbinga porträtterar Manne Siegbahn.

EPN, som är Europeiska fysikersamfundets medlemsorgan, distribueras i pappersform till alla Fysikersamfundets medlemmar. Den finns också att läsa på webben och nås via vår hemsida, www.fysikersamfundet.se.

Nobelpris med guldkant!

Nobelpriset i Fysik 2017 utdelas
"för avgörande bidrag till LIGO-detektorn
och observationen av gravitationsvågor"

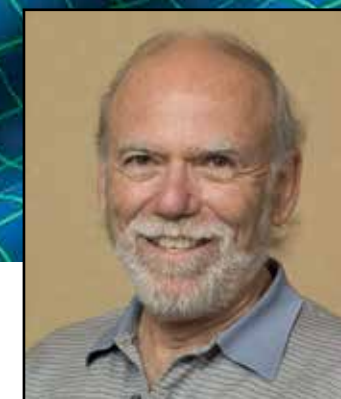
Hundra år efter tillkomsten av Albert Einsteins allmänna relativitetsteori har en av dess mest dramatiska förutsägelser kunnat bevisas experimentellt: krusningar av rum-tiden propagerar likt ringar på vattenytan efter en störning. LIGO-detektorn, som varit under uppbyggnad i flera decennier, har nu för första gången kunnat registrera gravitationsvågor efter kollisioner från svarta hål – och nu senast även neutronstjärnor: ett helt nytt fönster har öppnats mot universum som kan bli lika omvälvande som Galileos uppfinning av teleskopet.



Rainer Weiss
född 1932 (85 år) i Berlin, Tyskland.
Fil.dr 1962 vid Massachusetts
Institute of Technology,
MIT, Cambridge, MA, USA.
Professor of Physics, Massachusetts
Institute of Technology,
MIT, Cambridge, MA, USA.



Kip S. Thorne
född 1940 (77 år) i Logan, UT, USA.
Fil.dr 1965 vid Princeton University,
NJ, USA.
Feynman Professor of Theoretical
Physics, California Institute of
Technology, Pasadena, CA, USA.



Barry C. Barish
född 1936 (81 år) i Omaha, NE, USA.
Fil.dr 1962 vid University of
California, Berkeley, CA, USA.
Linde Professor of Physics, California
Institute of Technology, Pasadena,
CA, USA.

Bilder från vänster till höger: Bryce Vickmark; Courtesy of the Caltech Alumni Association ; R. Hahn. Stora bilden: Nasa.gov

Gravitationsvågornas historia

Einsteins allmänna relativitetsteori från 1915 ledde till förutsägelsen om att accelererande massor, likt accelererande laddningar i elektromagnetismen, kunde generera en vågrörelse som skulle fortplantas med ljusets hastighet. Allmänna relativitetsteorin ger en geometrisk beskrivning av gravitationen. Till skillnad från Newtons gravitationslag, är det rum-tidens krökning som får massor att dras till varandra. Einstein ställde upp en ekvation där man på ena sidan har rum-tidens krökning och på andra sidan likhetstecknet den inneslutna energin och

rörelsemängden. Det är dock bara i ett fåtal fall som ekvationen har en enkel exakt lösning. För andra fall kräver lösningarna approximationer eller numeriska lösningar. Att komma fram till huruvida gravitationsvågor verkligen var ett reellt fysiskt fenomen med utsändande av energi utifrån relativitetsteorin var ingalunda enkelt, och Einstein själv vacklade i frågan under flera årtionden, ända fram till sin död 1955. Även om gravitationsvågor existerade, var Einstein mycket skeptisk till att de någonsin skulle kunna detekteras, p.g.a. deras extremt svaga styrka. Det var först strax efter Einsteins

död som situationen klarnade och gravitationsvågslösningen i allmänna relativitetsteorin blev allmänt accepterad.

Från teori till experiment

En avgörande konferens ägde rum 1957 i Chapel Hill, USA. Där debatterade världens experter på relativitetsteorin om gravitationsvågor var ett "riktigt" fenomen som kunde detekteras, om än i princip. Richard Feynman var en av de mest tongivande på konferensen och övertygade konferensdeltagarna om att så var fallet. Bland åhörarna fanns Joseph Weber, en fysiker från University of Ma-

ryland, som direkt fattade beslutet att försöka konstruera ett experiment som skulle kunna detektera gravitationsvågor. Hans första design från 1960 använde sig av två stycken 3 ton tunga cylindrar, som genom en upphängningsanordning isolerades från omgivningen. Detektionen av gravitationsvågor skulle ske genom att man registrerade mycket små mekaniska vibrationer i cylindrarna, som befann sig på 950 km avstånd från varandra. Cylindrarna fungerade alltså som stämgaflar med resonans för vågor med rätt frekvens. Två cylindrar användes i koincidens för att minimera falska signaler från lokala

vibrationer, exempelvis seismisk aktivitet. Weber publicerade sina första resultat 1969 där han hävdade att han hade detekterat gravitationsvågor. Detta blev dock inte allmänt accepterat eftersom antalet "upptäckter" i Webers detektor var orimligt stort.

Webers insats var dock avgörande för att få fysiker och astronomer att arbeta med andra tekniker som skulle ha större känslighet. Optimismen tog ny fart i slutet på 1970-talet i samband med upptäckten av ett binärt system av neutronstjärnor. Neutronstjärnor har massor något större än solens men är extremt

kompakta, med en radie på endast ca 10 km. Densiteten i en neutronstjärna är m.a.o. större än inne i en atomkärna!

Neutronstjärnornas existens hade postulerats av Walter Baade och Fritz Zwicky redan på 1930-talet, men intresset för dessa exotiska stjärnor hade svalnat, fram tills man upptäckte den första "pulsaren" 1967: en roterande neutronstjärna som emitterade periodiska radiosignaler. Under sommaren 1974, under en pågående studie av flera pulsarer, upptäckte doktoranden Russel Hulse och hans handledare Joseph Taylor att ett av objekten i deras studie var extra intres-

sant. Det handlade om ett excentriskt binärt system, där pulsaren och en annan neutronstjärna roterade kring sitt gemensamma masscentrum med en omloppstid på ca 8 timmar. Det blev omedelbart uppenbart att systemet gav en utomordentlig chans att studera relativistiska effekter.

Hulse och Taylor mätte omloppstiden under flera år och konstaterade att stjärnorna tappade energi och spiraliserade mot varandra, precis som väntat om dessa accelererande massor emitterar gravitationsvågor. Omloppstidens minskning stämmer mycket väl överens med förutsägelsen från allmänna relativitetsteorin. Upptäckten undanröjde alla tvivel kring gravitationsvågornas existens. Hulse och Taylor delade Nobelpriset i Fysik 1993.

LIGO-detektorn

Svårigheten med direktdetektion av gravitationsvågor är att deras inverkan på materia är oerhört svag. Analogt med elektromagnetiska vågor genereras gravitationsvågor av accelererande massor. Två identiska massor m som är i färd med att

kollidera och befinner sig på ett avstånd R ifrån varandra, genererar gravitationsvågor vars amplitud på ett avstånd r ifrån systemet är

$$h \approx \frac{G^2 m^2}{R r c^4}$$

(se Fysikaktuellt nr 3, 2016). Denna amplitud anger den maximala ”sträckningen” av rum-tiden. En detektor med längden L kommer omväxlande att sträckas och komprimeras när vågen passerar enligt

$$\frac{\Delta L}{L} = h.$$

Effekten är som störst för stora massor nära varandra. Förutom neutronstjärnor är det de ännu tyngre och kompaktare svarta hålen som är intressantast, men även för dessa handlar det om ytterst minimala sträckningar för källor vid kosmologiska avstånd, av storleksordning $h \sim 10^{-21}$. Detta föreföll vara bortom räckhåll, åtminstone för Webers typ av detektor. Det fanns dock en annan teknologi som började diskuteras: *laserinterferometri*. En av de som var först ut med att följa

upp detta spår var en av årets Nobelpristagare Rainer Weiss vid MIT, som vid slutet av 1960-talet började skissa på ett detektorkoncept inspirerat av den brittiske relativisten Felix Pirani: väldigt små avvikelser på avståndet mellan två speglar kunde mätas om man studerade interferensmönstret som bildades av ljuset från en koherent källa. Genom en beamsplitter delar man upp ljuset i två lika långa vinkelräta armar. När vågen passerar detektorn, orsakar rum-tidens krusningar omväxlande sträckning och kompression av avståndet mellan speglarna i varje arm, och därmed varierande interferensmönster när strålarna möts igen efter speglingen, se figur 1.

En av de första att tro på metoden var en annan av årets pristagare, Kip Thorne vid Caltech. På Caltech började Thorne och den nu avlidne Ronald Drever, tillsammans med Weiss på MIT, att målmedvetet jobba med att realisera ett experiment som skulle kunna detektera gravitationsvågor från kollisioner av neutronstjärnor och svarta hål, LIGO: ”*The Laser Interferometric Gravitational-Wave*

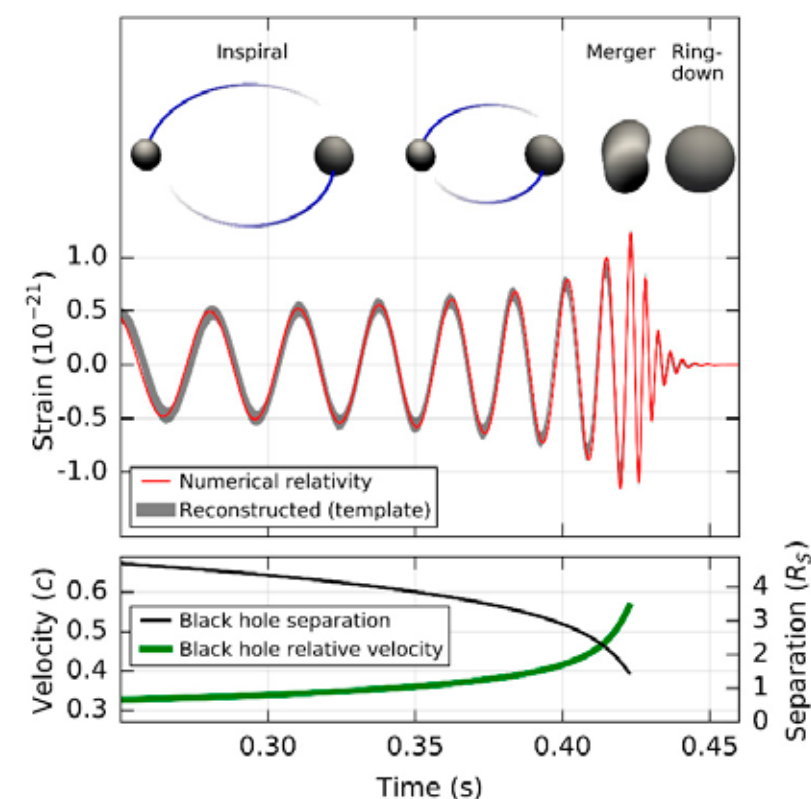
Figur 2 (från ref [1]): Signalen från de kolliderande svarta hålen i GW150915 registrerades under knappt en halv sekund. I takt med att svarta hålen närmade sig varandra ökade också svängningsfrekvensen, för att helt upphöra när ett nytt, större svart hål bildades. Den rekonstruerade signalen matchade häpnadsväckande väl förutsägelsen från relativitetsteorin. Nedre panelen visar svarta hålets hastighet och relativa avstånd i enheter av Schwarzschildradien,

$$R_s = \frac{2Gm}{c^2}$$

Hastigheten anges som bråkdel av ljushastigheten, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Observatory”. Thorne bidrog även med viktiga teoretiska uppskattningar av den förväntade signalen från astronomiska källor, samt från oönskade förgrundskällor som kunde äventyra detektionen. Förutom analytiska förutsägelser av vågformen behövde man ta fram numeriska metoder för att kunna förutsäga *hela* händelseförloppet, ”*inspiral*”, ”*merger*” och ”*ringdown*”, som visas i Figur 2.

I början på 1980-talet byggdes de första LIGO-prototyperna som gav vid handen att för att få en chans att detektera gravitationsvågor behövde interferometerarmarna ha en längd på flera kilometer. Dessutom fastlade man att man skulle bygga två likadana interferometrar på flera tusen kilometers avstånd: en samtidig detektion (inom några milisekunder) skulle kunna användas för att utesluta falska positiva signaler, på samma sätt som Weber hade resonerat för sin metod. I början på 1990-talet började man således bygga två LIGO interferometrar under ledning av Weiss, Drever och Thorne: en i Hanford, Washington och den andra i Livingstone, Louisiana, på 3000 km avstånd ifrån varandra. Så småningom övertogs LIGO-ledarskapet av årets tredje pristagare, Barry Barish som hade lång erfarenhet från stora partikelfysikexperiment. Barish byggde en stor internationell kollaboration som utmynnade i *initial* LIGO som tog data mellan åren 2002-2005 och 2006-2011. Under åren fram till början av *advanced* LIGO i september 2015 lyckades kollaborationen förbättra känsligheten med en faktor



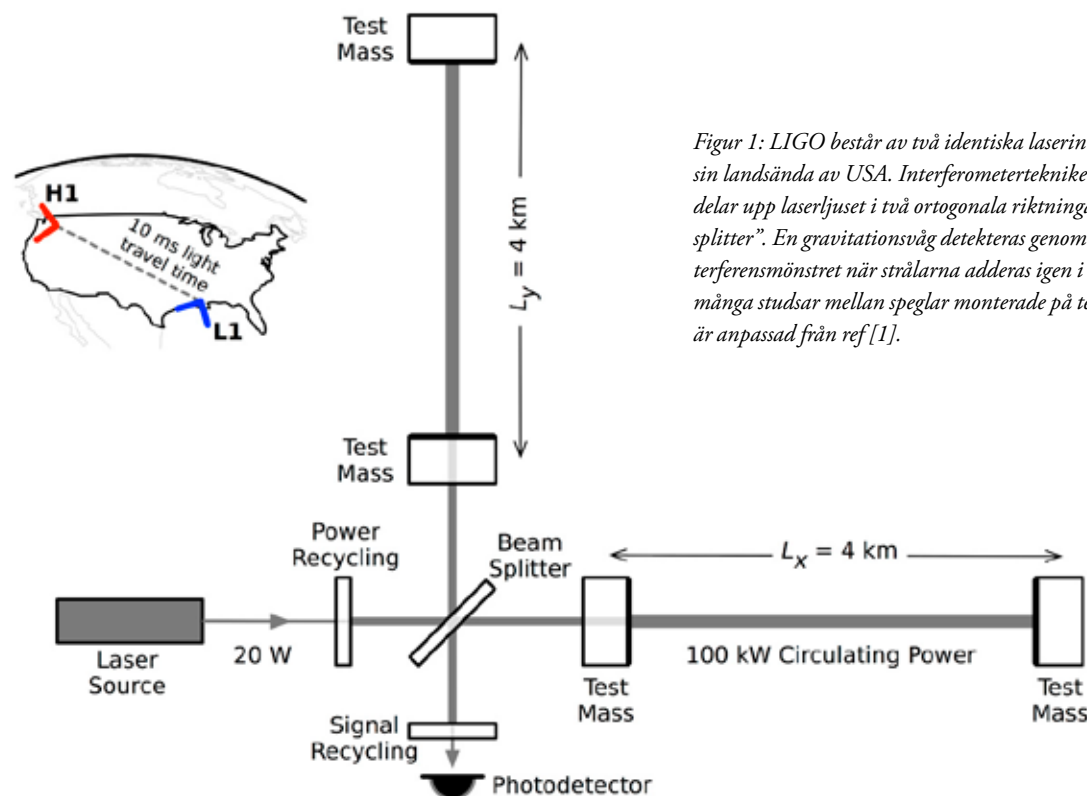
3-4 i frekvensintervallet 100-300 Hz och med nästan en faktor 100 vid 50 Hz. Detektorn var nu färdig att leta efter gravitationsvågor med kosmiskt ursprung!

Gravitationsvågor från kollisioner av svarta hål

I september 2015 skulle det uppgraderade *advanced* LIGO komma igång på allvar. Redan dagarna innan man officiellt skulle starta hände det; den 14 september klockan 11:51. Gravitationsvågor som under 1,8 miljarder år färdats genom rymden anlände till detektorn i Livingstone. Sju millisekunder senare detekterades de även i Hanfordanläggningen. En febril aktivitet bland de tusentals inblandade forskarna startade. LIGO-fysikerna gjorde kontroll efter kontroll för att försäkra sig om att händelsen som döptes till GW150914, verkligen handlade om en riktig signal. Astronomerna letade efter en möjlig visuell motsvarighet till GW150914 med hjälp av mark- och rymdbaserade teleskop, trots den mycket stora positionssäkerheten. Allt under största möjliga hemlighetsmakeri. Först

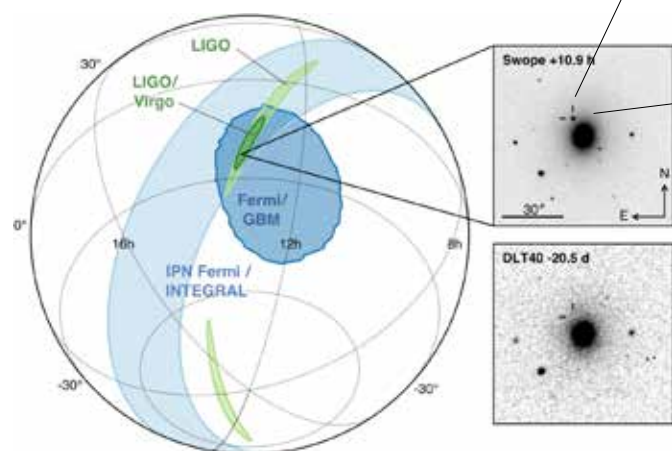
6 månader senare, den 11 februari 2016 offentliggjordes resultaten [1]. Nu var forskarna säkra på sin sak, det handlade om två svarta hål som under årmiljarder cirklat närmare och närmare varandra i en kosmisk dans, för att till slut samman smälta till ett ännu större svart hål. Man kunde bestämma att massorna var 29 och 36 gånger tyngre (mer massiva) än solens massa. Det slutgiltiga svarta hålet vägde 62 solmassor, och mellanskillnaden av 3 solmassor av ren energi strålades ut i form av gravitationsstrålning ($E=mc^2$) inom loppet av en bråkdel av en sekund.

Storlekarna kom faktiskt som en överraskning för astronomerna. Det är – i efterhand – klart att de tyngsta svarta hålen är de enklaste att detektera. Men astronomer hade nog förutspått att neutronstjärnor är bra mycket vanligare. De svarta hål man tidigare hade kunskap om var antingen några solmassor tunga rester efter exploderande stjärnor, eller de supermassiva (miljoner till miljarder solmassor) svarta hål som huserar i galaxernas mitt. Det är fortfarande inte helt klart hur de svarta hålen som LIGO detekterat



Figur 1: LIGO består av två identiska laserinterferometrar, i var sin landsända av USA. Interferometertechniken innebär att man delar upp laserljuset i två ortogonala riktningar genom en ”beam splitter”. En gravitationsvåg detekteras genom en ändring av interferensmönstret när strålarna adderas igen i en fotodetektor efter många studsar mellan speglar monterade på testmassorna. Figuren är anpassad från ref [1].

Figur 3: Lokaliseringen i himmelsfären av första detektionen av gravitationsvågor från kollisionen av neutronstjärnor från LIGO/Virgo i koincidens med gammablixtar registreras av två rymdbaserade instrument: Fermi/GBM och INTEGRAL. Bilden visar även den visuella signalen observerat med optiska teleskop i Chile samt en artistisk bild av hur signalen skapades från [4].



kunnat skapas. Detta trots att man nog får anse att detektionen är det säkraste beviset hittills på de svarta hålets existens!

Gravitationsvågor hade slutligen detekterats. En ny era hade startat. Sedan den första banbrytande upptäckten har LIGO detekterat ytterligare två system av binära svarta hål. Nobelprisryktena var redan i svang. Vad mer fanns att göra?

Kolliderande neutronstjärnor: guldkälla och en ny era inom astronomin

Nobelpriset i Fysik 2017 går till LIGO och dess första detektioner av gravitationsvågor. Men utvecklingen har fortsatt i rasande takt. Under sommaren 2017 installerades ännu en interferometer, Virgo. Belägen i Italien har konstruktionen av Virgo-detektorn kämpat mot klockan. Virgo följer i mångt och mycket – men inte allt – LIGO:s tekno-

logi. Den stora fördelen med att få ännu en gravitationsvågdetektor, på en annan kontinent, är att trianguleringen av positionen på himlen för gravitationskällan förbättras avsevärt. Detta är av största vikt för de många astronomer som stått redo med sina teleskop för att hitta den optiska motsvarigheten till gravitationsvågskällan.

Den 1 augusti 2017 stod den avancerade Virgo-detektorn redo att ta emot de första signalerna. Tiden var knapp, för LIGO skulle stänga ner redan 25 dagar senare för en längre tids uppgradering. Men bra forskare har tur. Den 14 augusti ruskade det till i alla tre detektorerna, det var den fjärde konfirmerade händelsen med två svarta hål, denna gång ungefär 25 och 30 solmassor vardera. Denna första trippeldetektion kunde begränsa osäkerheten på himlavalvet till endast 20 kvadratgrader, 20 gånger bättre än

tidigare. Hoppfulla astronomer lyckades inte heller denna gång observera någon elektromagnetisk strålning. Det skulle snart ändra sig.

Den 17 augusti klockan 13.41 för en annan slags gravitationsvåg genom Virgo och sedan LIGO. GW170817 varade avsevärt mycket längre, och analys visade att det denna gång rörde sig om två neutronstjärnor, med en sammanlagd massa om 2,8 solmassor [2]. LIGOs detektion kom endast 1,7 sekunder innan dess att gammastrålnings-satelliten FERMI detekterade en kort skur av gammastrålning, en s.k. kort gammablixt. På jorden gjorde sig hundratals astronomer redo att söka efter den optiska motsvarigheten, som triangulerats ned till 30 kvadratgrader och ett avstånd på bara 130 miljoner ljusår. När mörkret väl fallit i de chilenska öknarna hittade flera forskargrupp oberoende av varandra med lätthet den optiska motsvarig-

heten, en ljusstark men falnande blå ny ljuskälla (en "transient") i galaxen NGC 4993, se figur 3.

När observationerna och analysen av GW170817 offentliggjordes den 16 oktober 2017, med massiva presskonferenser och närmare hundra vetenskapliga artiklar, stod bilden klar. De två krockande neutronstjärnorna hade skickat ut gravitationsstrålningen under den sista skälvande minuten. I processen hade stora mängder radioaktivt material kastats ut, och denna lysande gas gav upphov till den elektromagnetiska strålningen. Precis som många annat (men saknat direkt bevis för) har korta gammablixtar sitt ursprung i just kollisioner av neutronstjärnor.

Analys av observationerna visade dessutom tydligt att teorier om att de så kallade "r-process"-elementen skapas i kolliderande neutronstjärnor hade bekräftats. Välkända ämnen som guld och platina skapas just under dessa förhållanden, och lagom till Nobelprisceremonins guldmedaljsutdelande kunde LIGO-forskarna visa hur deras fantastiska maskin kunnat detektera och positionera källan till universums guld.

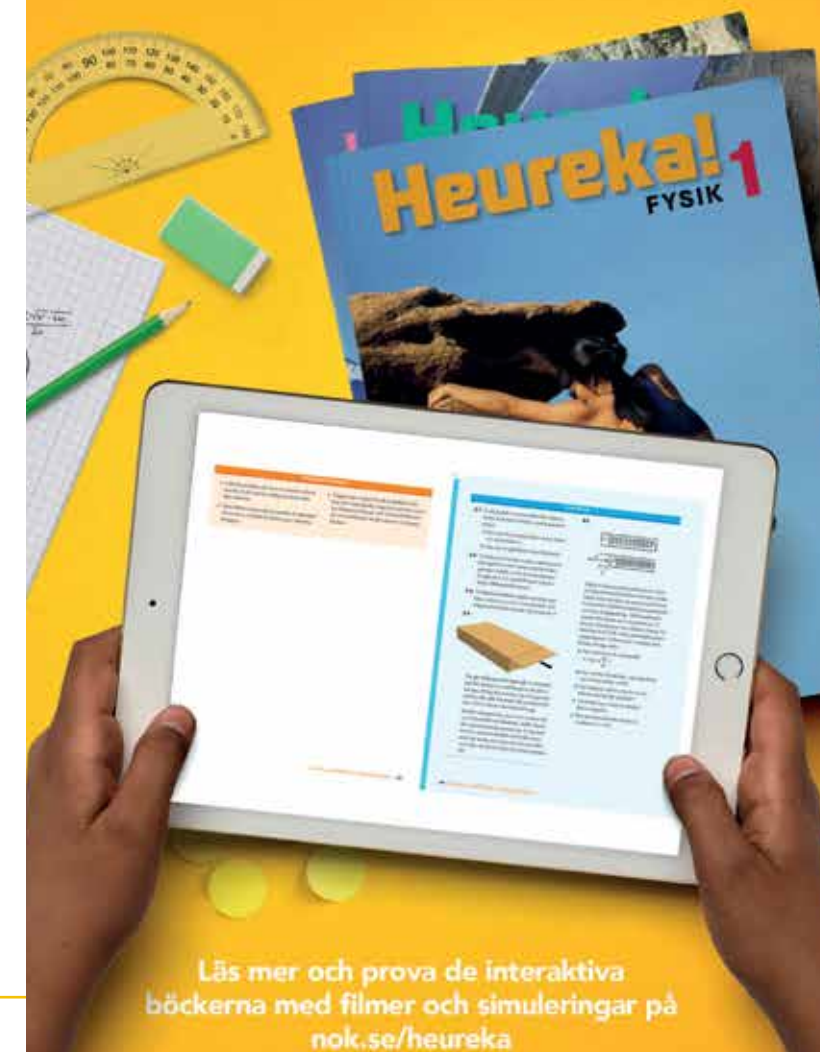
ARIEL GOOBAR
STEPHAN ROSSWOG
JESPER SOLLERMAN
OSKAR KLEINCENTRET,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Referenser:

- [1] Abbott, B., P., et al. *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*. Physical Review Letters, 2016, vol. 116, 061102.
- [2] Abbott, B., P., et al. *GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral*. Physical Review Letters, 2017, vol. 119, 161101.
- [3] Abbott, B., P., et al. *Multi-messenger Observations of Binary Neutron Star Merger*. The Astrophysical Journal Letters, 2017, vol. 848, 2.
- [4] G.R.E.A.T: Gravitational Radiation and Electromagnetic Astrophysical Transients, <https://www.great.cosmoparticle.com>

Gör fysiken lättillgänglig och intressant

Heureka! Fysik för gymnasiet är ett gediget och modernt läromedel. Med text och bild visas fysikens tillämpningar, historiska utveckling och betydelse för individ och samhälle på ett pedagogiskt sätt. Läroböckerna innehåller gott om lösta exempel som visar hur man utreder en frågeställning. Kontrolluppgifter finns efter nya avsnitt och varje kapitel avslutas med en sammanfattning och övningsuppgifter. I lärarhandledningarna finns variationsrika laborationer.



Läs mer och prova de interaktiva böckerna med filmer och simuleringar på nok.se/heureka

Polymersolceller för en hållbar framtid

Sedan den industriella revolutionen inleddes för över tvåhundra år sedan har mänskligheten blivit alltmer beroende av fossila bränslen. I dagsläget utgör kol, olja och naturgas stommen i den globala energiproduktionen och utan dessa energikällor skulle vår moderna civilisation troligtvis kollapsa. Problemet är att mängden fossila bränslen är begränsad, och att vårt energibehov ökar år för år. Därför måste fossila bränslen förr eller senare ersättas av alternativa energikällor.

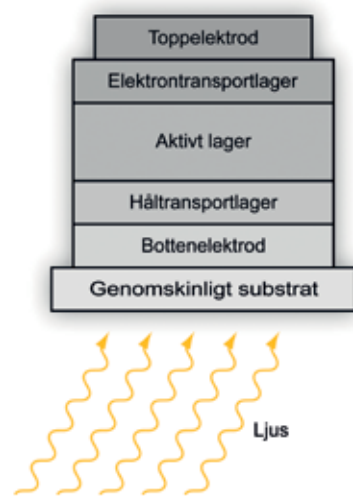
Den absolut största energikällan som finns tillgänglig för mänskligheten är solen. Den del av solljuset som träffar jorden innehåller så mycket energi att 90 minuter skulle räcka för att samla in tillräckligt för att täcka hela mänsklighetens energibehov för ett helt år. Utmaningen ligger bara i hur man bäst tar vara på solenergin.

Solceller kan producera elektricitet direkt från solljus. De allra första solcellerna som skapades redan på 1800-talet var dyra att tillverka bl.a. eftersom dyrbara ämnen såsom guld, silver eller platin användes. På 1950-talet gjordes stora framsteg när de första solcellerna av kisel utvecklades som hade en verkningsgrad på 6 %. Samtidigt började elektronikindustrin massproducera transistorer av kisel vilket ledde till att kiselproduktionen skalades upp rejält och plötsligt var det inte fullt så dyrt att tillverka solceller. Dock var solceller länge något som nästan uteslutande användes på avsides belägna platser där elektricitet inte kunde fås på annat sätt, inte minst i rymden. I dagsläget har dock priset på solceller pressats rejält. Framförallt Kina har ökat sin produktion av kisel avsevärt vilket har fått till följd att priset på kisel sjunkit till en fjärdedel det senaste decenniet. Detta till trots står solceller idag för mindre än en

procent av den globala elproduktionen medan fossila bränslen står för över 80 %. Anledningen till att fördelningen ser ut på det viset är starkt kopplad till kostnaden för energin. För att öka solcellernas konkurrenskraft är det därför viktigt att tillverkningskostnaderna minskar ytterligare. En solcellstyp som kan tillverkas till låg kostnad är polymersolcellen.

En polymersolcell är, precis som namnet antyder, en solcell baserad på polymerer. Själva hjärtat i polymersolcellen, det aktiva lagret, består av en blandning av två komponenter, oftast en konjugerad polymer och ett fullerenderivat. Det aktiva lagret är omgivet av en elektrod på varje sida, ofta tillsammans med mellanlager som underlättar transporten av laddningar mellan det aktiva lagret och elektroderna. Figur 1 visar en skiss av en typisk polymersolcell.

Solceller baserade på polymerer är lovande eftersom de kan tillverkas till låg kostnad genom att man trycker solcellerna med en teknik som påminner om hur man trycker tidningar. Polymeren



Figur 1. Schematisk illustration av strukturen hos en typisk polymersolcell.

och fullerenderivatet löses upp i ett lösningsmedel, sedan beläggs en yta med lösningen och en solid film bildas när lösningsmedlet avdunstat. Materialåtgången är låg eftersom polymersolceller kan göras extremt tunna; en typisk tjocklek är ett par hundra nanometer. För att belägga en kvadratmeter med polymerblandningen så räcker det med några tiondelars gram. Förutom att kunna tillverkas till låg kostnad har polymersolceller en rad andra goda egenskaper. De är tunna och består av mjuka plastmaterial och kan därför böjas utan att gå sönder. Detta öppnar upp möjligheten att använda polymera solceller i tillämpningar där mer traditionella solceller som är sköra inte skulle kunna användas. Att integrera solceller i tyg är ett sådant exempel. På så sätt skulle t.ex. solljuset som träffar ett klädesplagg kunna utnyttjas till att ladda mobiltelefonen. Eftersom polymersolceller är tunna så väger de inte heller mycket och kan följaktligen generera mycket elektricitet i förhållande till sin vikt. Denna egenskap är särskilt eftertraktad i rymdtillämpningar eftersom kilopriset för att skicka upp något i rymden är väldigt högt.

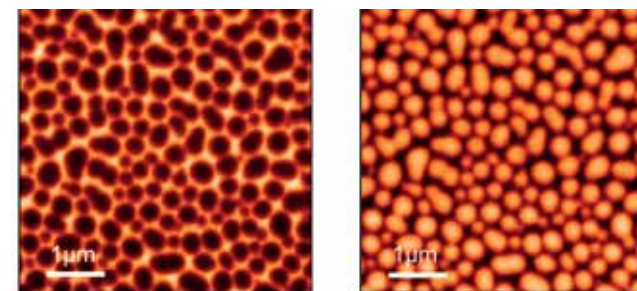
De största utmaningarna som polymersolcellerna står inför är två. Verkningsgraden behöver höjas och livslängden behöver förlängas. I dagsläget har de bästa polymersolcellerna en verkningsgrad som ligger strax över 10 % och en livslängd som sträcker sig mot ett par år. Detta kan jämföras med kisel-solceller som kan ha en verkningsgrad på över 25 % och ofta är garanterade att hålla i minst 25 år. Att nå upp till samma nivå som kisel-solcellerna är dock inte nödvändigtvis vad som krävs för att polymersolcellerna ska vara konkurrenskraftiga så länge som de är tillräckligt billiga och används i nischade tillämpningar. Men faktum kvarstår att ju högre verkningsgrad och ju längre livslängd polymersolcellerna kan uppnå desto bättre är det givetvis.

I min avhandling har jag studerat polymera solceller, närmare bestämt det aktiva lagrets morfologi (d.v.s. hur polymeren och fullerenderivatet i det aktiva lagret fördelar sig och bildar strukturer), hur man kan kontrollera morfologin och

hur morfologin påverkar solcellens elektriska egenskaper. Alternativa transparenta elektroder har även undersökts för att förbättra både solcellens verkningsgrad och livslängd. Det aktiva lagrets foto-stabilitet har också studerats och samspelet mellan polymerens och fullerenderivatets åldrande har undersökts.

På Karlstads universitet finns utrustning för tillverkning av polymersolceller samt utrustning för elektrisk och strukturell karaktärisering. För kemisk karaktärisering har många experiment utförts på synkrotronljusanläggningar, merparten vid MAX IV-laboratoriet i Lund, men även vid SLS i Schweiz och ALS i USA. I en synkrotron färdas elektroner nära ljusets hastighet och när deras färdväg böjs så sänds synkrotronstrålning ut. På så sätt kan kraftig röntgenstrålning produceras som sedan går att använda för materialkaraktärisering.

Genom att belysa ett material med röntgenstrålningen kan man få mängder av information om materialets olika egenskaper. Hur ett ämne absorberar röntgenljus skiljer sig enormt mycket mellan olika ämnen, i synnerhet mellan kolbaserade ämnen. Exempelvis så består diamant och grafit båda av enbart kol, men absorberar trots detta röntgenstrålning på väldigt olika sätt. Likaså för komponenterna i en polymer solcell – polymerens absorption ser helt annorlunda ut jämfört med fullerenens. Genom att mäta ett materials röntgenabsorption får man med andra ord ett karaktäristiskt kännetecken, ett slags molekylärt fingeravtryck. Det är också möjligt att få kemisk information från ett prov genom att detektera de elektroner som sänds ut när provet



Figur 2. STXM-bild av en tunn film som består av en blandning av en konjugerad polymer och ett fullerenderivat där lateral fassparation uppstått. Vänster bild visar polymerkoncentrationen medan höger bild visar koncentrationen av fullerenderivatet.

Rickard Hansson

- **Titel:** Materials and Device Engineering for Efficient and Stable Polymer Solar Cells
- Doktorsavhandlingen framlagd: 2017-02-03 vid Karlstads universitet, Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Länk till avhandlingen: <http://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:1049534/FULLTEXT02.pdf>Karlstads universitet, Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- ISBN 978-91-7063-736-0 (print)
- ISSN 1403-8099
- Handledare: Professor Ellen Moons och docent Andreas Opitz, Karlstads universitet
- Opponent: Professor Rene Janssen, University of Technology, Nederländerna.

träffas av röntgenstrålning, en teknik som kallas fotoelektron-spektroskopi (XPS).

Att se strukturer på nanometerskala är inte möjligt med ett vanligt mikroskop som använder synligt ljus eftersom ljusets våglängd är större än de detaljer man vill se. Därför används ofta andra typer av mikroskop såsom elektronmikroskop eller svepprobmikroskop. Om man inte bara vill se hur strukturer ser ut, utan också vill identifiera dem kemiskt så kan man kombinera mikroskopi med spektroskopi. Ett sätt att göra detta på är att använda sig av röntgenabsorptionsspektroskopi i kombination med röntgenmikroskopi, en teknik som kallas STXM (scanning transmission X-ray microscopy). I Figur 2 visas en STXM-bild av en blandning av en konjugerad polymer och ett fullerenderivat. Det lösningsmedel som används för att lösa upp bland-

ningen av polymer och fullerenderivat visade sig ha stor betydelse för det aktiva lagrets morfologi och även för solcellens prestanda. Storleken på de domäner som syns i Figur 2, kunde kontrolleras genom valet av lösningsmedel. Högst verkningsgrad erhöles när domänernas storlek minimerades.

När det aktiva lagrets foto-stabilitet studerades så utnyttjades också att polymerer och fullerener har olika röntgenabsorption. På så sätt kunde förändringar på molekylär nivå följas i takt med att solcellen åldrades. Det stod då klart att fullerenen bryts ner snabbare när den blandas med polymeren, medan polymeren bryts ned långsammare i blandningen än på egen hand. Att polymerer skyddas av fullerener har varit känt sedan tidigare, men att detta skydd sker på bekostnad av att fullerenen bryts ned snabbare hade inte tidigare påvisats.

Polymersolcellerna kunde även förbättras genom att använda alternativa transparenta elektroder. Materialet i det mellanlager som separerar det aktiva lagret från den genomskinliga botten-elektroden ersattes av oxider av nickel eller molybden. Detta ledde till en ökad verkningsgrad såväl som till en förbättrad livslängd hos solcellerna.

Visserligen är det fortfarande en bit kvar tills polymera solceller har en verkningsgrad och livslängd som kan mäta sig med kisel-solcellernas, men eftersom de polymera solcellerna är billiga att tillverka, både vad gäller pengar och energi, så behöver de inte nödvändigtvis nå upp till samma prestanda. Huvudsaken är att de är tillräckligt effektiva och har en tillräcklig livslängd för att de ska hinna betala sig. Om man ser efter hur naturen har löst problemet med energiförsörjning så inser man att det inte är maximal verkningsgrad och livslängd som miljontals år av evolution har lett fram till. För lövträden är det fullt acceptabelt att löven som bildas på våren faller av redan på hösten eftersom energikostnaden för att bilda nya löv är tillräckligt låg.

RICKARD HANSSON
KARLSTADS UNIVERSITET

Rickard gillar utmaningar och känslan som infinner sig när man nått ett mål, stort eller litet

– Det är en stark tillfredsställelse när man löser ett problem som man kanske har brottats med länge, säger Rickard. Man identifierar problemen, testar, men slår kanske huvudet i väggen. Man tacklar på nya sätt och kanske hittar man en lösning.

Vilka egenskaper känns som viktiga för att lyckas med det du föresatt dig?

– Min envishet och även nyfikenhet är egenskaper som jag har nytta av i forskningen, berättar Rickard.

Rickard gillar när livet flyter på och han väljer ganska medvetet, men även omedvetet sysselsättningar som han tycker är trevliga.

Rickard gillar solcells forskning, men det var egentligen en tillfällighet att det blev just det.

– När jag skulle välja exjobb så blev det polymera solceller och experimentellt arbete med solceller passar mig bra, berättar han. Jag trivs med experiment.

Du har en postdoc tjänst vid Karlstads universitet. Vad handlar din forskning om nu?

– Idag forskar jag om oorganiska solceller, närmare bestämt om tandemsolceller, men i en annan forskargrupp, berättar Rickard.



Vad innebär tandemsolceller?

– En tandemsolcell är en solcell som består av två eller flera solceller som är staplade på varandra, svarar Rickard.

– Det handlar om att undersöka och hitta nya materialkombinationer som kan fungera bättre och ge mer effektiva solceller, berättar Rickard. Olika material absorberar olika våglängder och kan man kombinera dessa optimalt utan stora energiförluster så får vi en mer effektiv solcell.

Vad gör du när du inte forskar?

– Jag idrottar mycket, berättar Rickard. Det är skönt att efter en dag med problemlösning komma ut och lufta hjärnan och rensa tankarna. Men inte sällan kan det just under ett träningspass komma en lösning som gör att saker och ting faller på plats.

Vad är den största utmaningen just nu?

– Just nu är det längdskidåkning som blivit den stora utmaningen, avslöjar han.

Intensivträningar och har som mål att som amatör klara Nordenskiöldslppet i mars 2018. Det är ett ultra- längdskidlopp som går norr om polcirkeln, berättar Rickard.

Hur långt är det?

– Det är 22 mil på längdskidor, berättar Rickard. Mitt mål är att ta mig i mål.

Hur mycket tränar du just nu?

– Nu blir det ganska mycket, ibland uppemot 16 timmar per vecka, eftersom loppet kräver uthållighetsträning under lång tid innan.

Hur hamnade du i den här utmaningen?

– Ja, det började med att några kollegor på Karlstads universitet lockade med mig till att träna längdskidåkning, de ville få ihop ett Vasaloppsteam 2015.

Var längdskidåkning en ny sport för dig?

– Ja, det var inte något jag sysslat med. Jag hade hyfsad kondition genom löpning men längdskidåkning var nytt, konstaterar Rickard.

Hur gick det i första Vasaloppet?

– Det gick bra. Jag kände mig nöjd utifrån mina begränsade erfarenheter.

Vad är den bästa tiden du haft i Vasaspåret?

– Det är 7 timmar 54 minuter, berättar Rickard.

FA konstaterar att Rickards tid i Vasaspåret är imponerande. Förutom bra material så måste tekniken sitta om man skall klara en så bra tid. Rickard berättar vidare att året efter när han var bättre tränad, men förutsättningarna sämre i spåret blev tiden också sämre. Man behöver ha tur också, svarar Rickard med ett leende.

Rickard verkar ha roligt. Spännande utmaningar på jobbet och även i längdspåret framöver. Nordenskiöldslppet är inte något man klarar utan gedigen träning. Utöver bra fysiska förutsättningar genom träning krävs både envishet och en del tur på det.

Hur mycket tränar du normalt?

– Det är oftast löpning 2-3 ggr/vecka,



Rickard Hansson, 30 år
Född och uppvuxen i Kristinehamn

Familj: föräldrar, två yngre syskon

Bor: lägenhet i Kristinehamn

Utbildning:
Gymnasium, Brogårdsskolan, Kristinehamn, Naturvetenskapligt program (2006)
Civilingenjör i teknisk fysik, Karlstads universitet (2011)
Teknologie doktor i fysik, Karlstads universitet (2017)

Tidigare arbete:
vik. skötare under sex somrar på rättspsyk. i Kristinehamn.

Nuvarande arbete:
Postdoc tjänst vid KAU, men hos en annan forskargrupp än vid doktorandstudierna.

Fritidsintressen: Idrott i olika former, tidigare judo och karate, just nu längdskidåkning, även grönsaksodling under sommarhalvåret.

rullskidor 2-3 ggr/vecka och lite styrke- träning, svarar Rickard efter lite fundande. Det är skönt att vara ute och röra på sig. Man sitter annars ganska mycket.

Vilka framtidsplaner har du efter postdoc?

– Jag brukar alltid ha en tendens att välja det jag tycker är roligt, säger Rickard. Jag kan just nu på lång sikt se två vägar framöver som jag nog tycker är både spännande och roliga, fast på olika sett. Utmaningarna är olika och kanske är en kombination det roligaste.

– Det ena är forskning och det andra undervisning, berättar han.

Hur kommer det sig att det blev fysik efter gymnasiet?

– Jag har alltid varit naturvetenskapligt intresserad sedan barnsben och jag fick svar på mina frågor och stimulans från min far som är ingenjör och fysikintresserad, konstaterar Rickard.

Rickard berättar att han är äldst i en syskonskara på tre, hans bror är 11 år yngre och har samma fysikintresse.

Du bor i värmäländska Kristinehamn och är uppvuxen där. Vad är det som gör att man bor kvar i Kristinehamn?

– Det är en trevlig plats att bo på, tycker Rickard. Staden är lagom stor och har det mesta man behöver. Det är nära till skog och mark och staden ligger bra placerad alldeles intill Vänern med en fin skärgård och skulle man mot förmodan vilja resa iväg så finns det bra tågförbindelser, berättar han.

FA tackar för en spännande timme över Skype och håller tummarna för att både stora och små mål blir infriade framöver, inte minst den 24 mars 2018!

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT

Forskningsetik och forsknings integritet – varför det är viktigt också för fysiksamhället

Forskningsetik och forskningsintegritet (används ibland som synonyma uttryck) blir allt viktigare och synligare för utövare inom naturvetenskap och ingenjörsvetenskap, liksom i de organisationer som anställer dessa. Forskare som arbetar inom extra känsliga områden, som t ex medicinsk forskning, kan ha direkt påverkan på människors hälsa, och de som arbetar med djur i sin forskning, förväntar sig att bli noga kontrollerade. Men för alla forskare gäller att de beslut de tar kan ha direkt påverkan på den allmänna bilden av forskningen och forskarna, på acceptansen av vetenskaplig verksamhet, på människor, miljö och samhälle, och på den allmänna tilltron till vetenskapliga resultat. Flera kända fall av forskningsfusk, publicering av falska resultat eller felaktig tolkning av forskningsdata har höjt debatten i det vetenskapliga samhället och bland dess utövare. Naturvetenskap och ingenjörsvetenskap kan inte heller längre gömma sig bakom det beteende som har varit allmänt tidigare; att vi utvecklar ny kunskap och nya metoder, medan det sedan är för andra att besluta om och hur dessa nya resultat ska exploateras. Vi måste vara mycket mera medvetna om den etiska dimensionen som finns i vår forskning och inom naturvetenskapen.

När i forskningsprocessen måste forskningsetik in? Svaret är hela tiden och i alla faser av forskningen. När forskningen planeras, när den utförs och när den rapporteras. Några exempel på etiska ställningstaganden som måste beaktas:

- I den tidiga processen av ett forskningsprogram när programmet ska beskrivas och bidrag sökas måste man fråga sig om kostnaderna kan berättigas utifrån



**Dr Francis Saunders, IOP,
styrelseledamot i
European Physical
Society**

de potentiella resultaten och den nytta som hävdas. Är finansieringen, arbetstiden och utrustningen berättigade för det föreslagna projektet? Frågan är särskilt viktigt när det är allmänna skattemedel som söks, men också när äskanden går till andra finansiärer såsom ideella organisationer och industrier. Alla överdrifter av vad som kan förväntas av projektet kan skada, inte bara den aktuella forskaren och forskningsgruppen, utan hela forskningsfältet. Detsamma gäller överraskanden om forskningsmedel.

- När forskningen planeras och utförs måste man överväga hur data samlas in, hur de analyseras och om slutsatserna är berättigade utifrån de givna resultaten, samt försäkra sig om att inget har utelämnats därför att det inte stöder de slutsatser som har framförts.

- När resultaten publiceras, eller när patent och intellektuellt ägarskap hävdas,

finns det många aspekter av författarskap och "ägende" som ska beaktas. Vilka är inkluderade som författare och vem skriver artikeln, speciellt när det ska tas hänsyn till språket som resultaten publiceras på? Vem är ansvarig för kvalitén på publikationen och dess innehåll, vem identifierar och handhar problem med plagiarism eller försäkrar att tidigare arbeten är korrekt refererade till? Hur ska man hantera den roll handledare och mentorer har för unga forskare och deras forskningspublikationer? I slutändan är det alla vars namn återfinns på publikationen som är ansvariga för dess innehåll, och när antalet författare ökar är det en utmaning att försäkra sig om att alla författare förstår detta och tillstyrker publiceringen. Även peer review-systemet kan väcka etiska frågor, som t ex när resultat utmanar gängse uppfattningar, eller om gängse uppfattningar kan förkastas initialt. Grupptränandet inom forskarsamhället har också etiska dimensioner.

- När forskningsresultat används eller exploateras av andra, kan tvister om ägende uppkomma, och likaså finns potentiella intressekonflikter inom den fortsatta forskningen. Relationen mellan akademiska institutioner och spin-off industrier kan vara speciellt utmanande, men även relationen mellan olika sponsorer av forskningen om forskningsprocessen behöver ta ett varv till för att uppnå bättre resultat och ge klarare svar på forskningsfrågorna.

Förutom inom dessa områden behöver etiska överväganden göras inom forskningssamhället och av det sätt som det styrs. Det är viktigt hur forskare och ingenjörer arbetar tillsammans profes-

sionellt, och att de kommer överens om att använda lämpliga uppförandekoder. Överenskommelser gällande processer för att diskutera slutsatser, handha missförstånd eller skilda åsikter är nödvändiga vare sig dessa sker inom en organisation, eller bredare, med förläggare av publikationer eller professionella organ. Inte minst är det viktigt att vara tydlig med hur påståenden om klandervärd beteende undersöks och handhas, så att behandlingen blir rättssäker och ärenden inte eskalerar på ett okontrollerat sätt.

En sista aspekt på forskningsetik som måste beaktas är om pågående och framtida forskningsinriktningar kan ha väsentliga eller kanske oväntade konsekvenser för människan och för samhället. Här krävs en kontinuerlig diskussion för att tillse att vadhelst som kommer ut av den nya forskningen fortfarande är acceptabelt för samhället vad beträffar den påverkan som kan anas. Detta är ett utmanande område eftersom vetenskapssamhället själv kanske inte är den bästa platsen att förutsäga hur andra kan använda de resultat som uppnås, och en bredare samhällsgrupp kanske inte har de tekniska verktygen, språket och det konceptuella tänkandet som krävs för att förutse följderna. Ett genuint engagemang i dessa frågor behövs för att försäkra att vetenskapliga framsteg används till bästa nytta för samhället, och för att forskning och vetenskap kan behålla stöd och förtroende från dem som står för en stor del av finansieringen, och som kommer att påverkas av forskningens resultat.

Det finns användbar information och praktisk vägledning publicerad på internet som kan användas för att förstå hur forskningsetik och forskningsintegritet kan inkluderas av fysikersamhället, både för att friska upp våra kunskaper och för att träna den nya generationen forskare till ett ansvarsfullt och acceptabelt beteende, se t ex den nyligen uppdaterade ALLEA Code of Conduct for Research Integrity, www.allea.org.

Artikeln har tidigare publicerats i EPN (2017:4)

FRANCIS SAUNDERS, IOP,
STYRELSELEDAMOT I
EUROPEAN PHYSICAL
SOCIETY

ÖVERSÄTTNING:
ELISABETH RACHLEW, KTH

STÖD I GYMNASIEARBETET

Utställningen Unga Forskare välkomnar alla projekt inom naturvetenskap, teknik och matematik. Du som lärare får stöd i att nå målen. Dina elever får inspiration, motivation och hjälp att nå längre.

- 500 000 kr i priser och stipendier
- Feedback från forskare
- Träning i presentation
- Inspiration och projektidéer för åk 2
- Stödverktyg och mallar för arbetet
- Passar alla projekt



Anmälan
8 jan - 8 feb

Läs mer på ungaforskare.se/utställningen

Vad kan man ha långsamt ljus till?

Ljus utbreder sig normalt med en oerhörd hastighet men det kan faktiskt också fås att färdas mycket långsamt. Men vad skulle man kunna ha för nytta av det? I denna artikel beskriver vi hur ljuspulser kan fås att utbreda sig tusentals gånger långsammare än normalt och hur detta kan komma till användning inom medicinska tillämpningar.

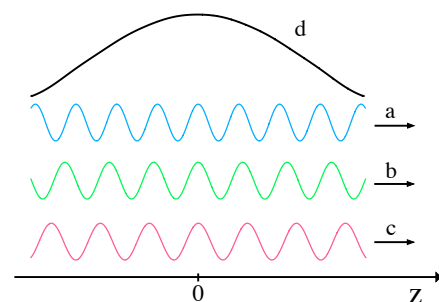
Att skapa en ljuspuls

En ljuspuls består alltid av flera frekvenser. Figur 1 är ett försök att få läsaren att tro på detta. Figur 1 visar tre elektromagnetiska vågor, a, b och c, som utbreder sig i z-riktningen och som alla tre har något olika frekvenser. Vågornas svängningar har samma amplitud längs hela z-intervallet. När flera elektromagnetiska vågor interfererar med varandra blir det totala elektromagnetiska fältet lika med summan av de enskilda fälten. Figur 1 visar det totala elektromagnetiska fältet när vågorna a-c interfererar. Vi ser att de tre vågorna a-c tillsammans bildar en puls, i figur 1 betecknad d (med maximum i $z=0$). Vice versa är det så att varje puls alltid består av flera olika frekvenser.

Ljusets utbredningshastighet är frekvensberoende

I vakuum utbreder sig elektromagnetisk strålning med ljushastigheten (i vakuum), c . Vi vet att vi själva rör oss mycket långsammare i vatten än i luft, för att inte tala om hur långsamt vi skulle röra oss i sirap. På motsvarande sätt känner sig ljus som om det vore i en sirap då det rör sig genom ett material där det kan växelverka med elektriska laddningar. Ju fler laddningar och ju mer de rör sig när de kän-

ner av det elektromagnetiska fältet, desto långsammare går ljuset genom materialet. Speciellt är det de lätttrörliga elektronerna som sätts i rörelse av fältet. Fasta material har fler atomer per volymenhet än gaser och därmed fler elektroner per volymenhet och ljus rör sig därför generellt långsammare i fasta material än i gaser. Ljusutbredningshastigheten i ett material, v , uttrycks oftast som $v = c/n$, där n är materialets brytningsindex och v är den

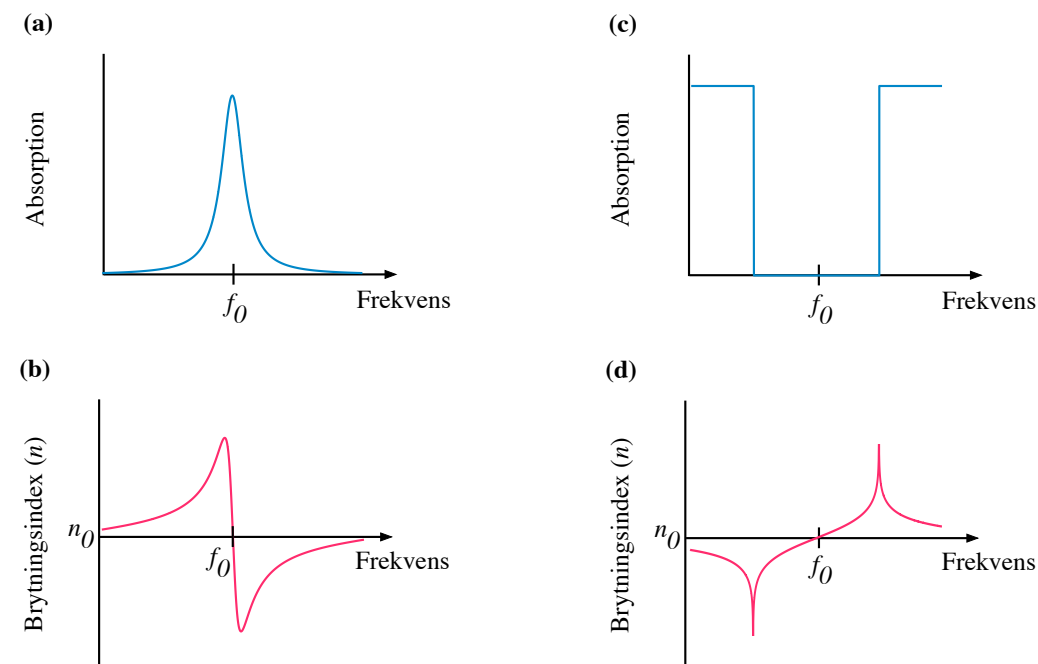


Figur 1. En puls består alltid av flera frekvenser. Här visas tre elektromagnetiska vågor a, b och c med något olika frekvenser som utbreder sig längs en z-axel. Summan av de tre vågorna bildar tillsammans en puls, d, med maximum i $z=0$.

så kallade fashastigheten. Hur kraftigt elektronerna i ett ämne rör sig under inverkan av ett elektromagnetiskt fält med given amplitud beror på hur nära de är sin resonansfrekvens, dvs den frekvens där materialet absorberar ljus. Men det finns en helt annan effekt som också kan sakta in ljuset och som speciellt kan sakta ner det mycket kraftigt. Figur 2 visar hur brytningsindex i ett material varierar med frekvens kring en resonansfrekvens, f_0 . Vi ser att såväl för frekvenser en bit under som en bit över resonansfrekvensen ökar brytningsindex när vi ökar frekvensen. Detta är fallet utom väldigt nära resonansfrekvensen där materialet absorberar. Just på resonansen så minskar faktiskt istället brytningsindex med ökande frekvens. Vi kan dock från figur 2 dra slutsatsen att ljusets utbredningshastighet i de flesta fall minskar när ljusets frekvens ökar kring en resonans.

Utbredningshastighetens frekvensberoende gör att ljuspulser i materialen saktas ner

Figur 3 är väldigt lik figur 1. För de tre elektromagnetiska vågorna (a, b och c), ser vi att $f_a > f_b > f_c$ och därmed kan vi också



Figur 2. (a) visar hur ett material absorberar kring en resonansfrekvens, f_0 , och i (b) ser vi hur brytningsindex varierar kring samma resonansfrekvens. För ett transmissionsfönster (c), alltså ett frekvensintervall där ett materials absorption, är noll, kommer brytningsindex öka snabbt med frekvens (d). En ljuspuls med en frekvens som matchar frekvensen på transmissionsfönstret kommer att färdas mycket långsamt genom materialet.

anta att $n_a > n_b > n_c$ och $v_a < v_b < v_c$. Vi antar att vågorna rör sig i positiv z-riktning. Den lodräta linjen visar den punkt där de tre vågorna just nu är i fas, läge 1. Eftersom den översta vågen utbreder sig långsammast och den nedersta snabbast kommer topparna a1, b1 och c1 komma ur fas och efter ett tag kommer istället topparna a2, b2 och c2 vara i fas och pulsen kommer då vara i läge 2. Vågorna utbreder sig med fashastigheten men vi ser då att pulsen kommer gå långsammare än de enskilda vågorna. Pulsens utbredningshastighet benämns gruppshastighet och vi kan beteckna den med v_g . Om skillnaden i hastigheten mellan v_a , v_b och v_c är liten så kommer det ta en relativt lång tid innan pulsen halkat bak från läge 1 till läge 2. Men om brytningsindexskillnaden, och därmed också hastighetsskillnaden, är stor så kan pulsen snabbt halka efter och därför röra sig mycket långsamt, dvs $v < v_g$. För att få riktigt långsamma pulser skall således brytningsindex öka snabbt som funktion av frekvensen. Vi kan se i figur 2b att den snabbaste ändringen av brytningsindex sker mitt på absorptionslinjen. Tyvärr går ändringen åt fel håll för brytningsindex minskar ju här, men om vi istället för att ha en absorptionslinje

skulle kunna ha ett mycket smalt transmissionsfönster så skulle vi ha ett material där brytningsindex ökar mycket snabbt inom transmissionsfönstret (Fig 2c och Fig 2d).

Att skapa ett smalbandigt transmissionsfönster

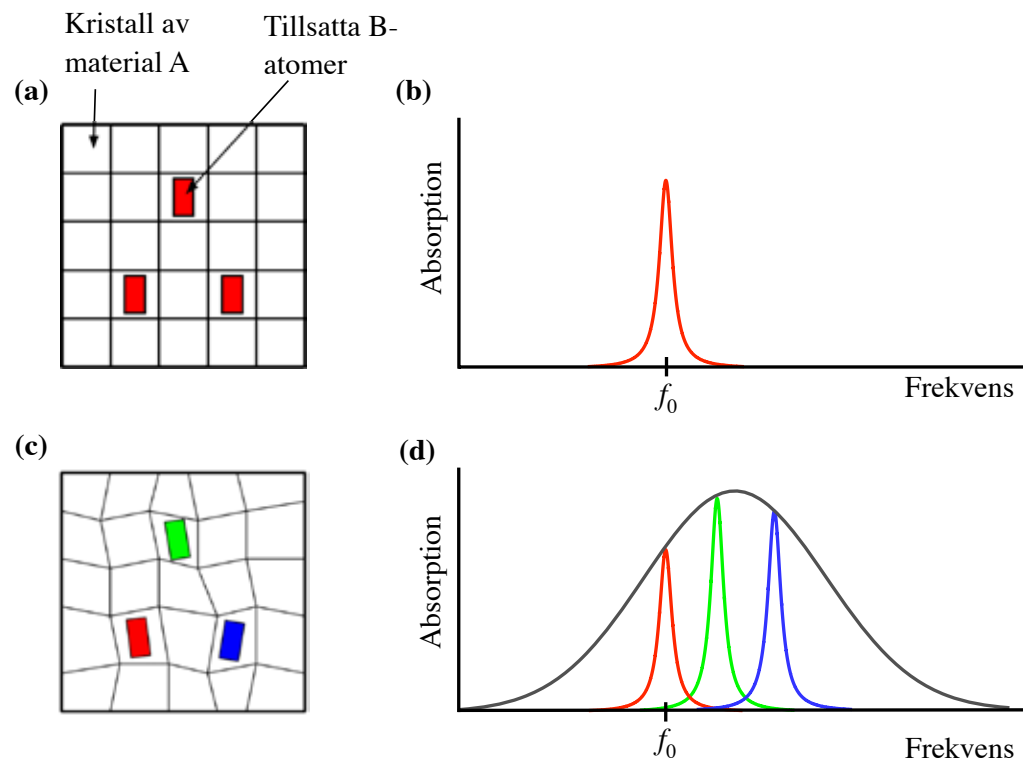
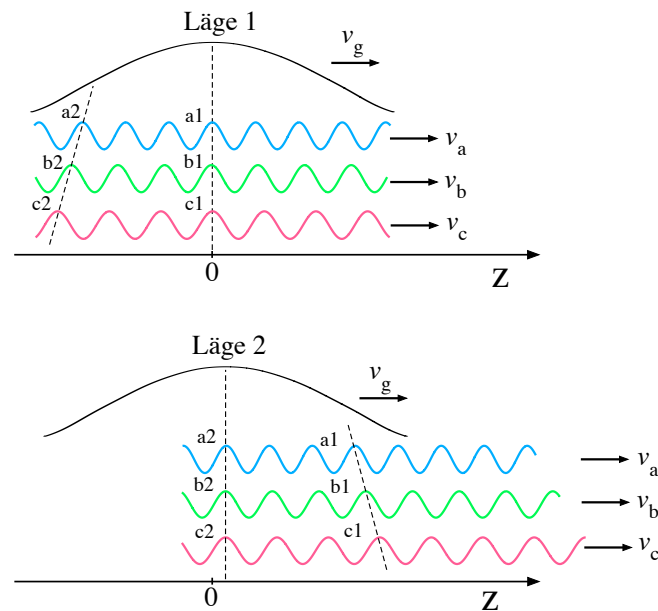
Krystaller är mycket regelbundna strukturer. Figur 4a visar en förenklad tvådimensional bild av en kristall för ett material, A, men där vissa av kristallatomerna har bytts ut mot atomer från ett annat material, B, här markerat med röda fyrkanter. Eftersom en kristall är så regelbunden skulle man i princip förvänta sig att en viss energiövergång i atom B har exakt samma frekvens, f_0 , för alla B-atomer i kristallen (Fig 4b). Detta är nästan sant, men bara nästan. Normalt har B-atomerna och A-atomerna något olika radie. Detta medför att när man byter ut en A-atom mot en B-atom så flyttar sig omgivande atomer något (Fig 4c). Detta medför att om B-atomerna sätts in slumpmässigt, så har atomerna i kristallen inte helt identiska omgivningar och B-atomerna har därför något olika övergångsfrekvenser, vilket leder till en bredare absorptionsprofil (Fig 4d).

Om vi nu väljer att flytta atomer med exakt frekvens f_0 (de röda atomerna i fig 4c) från nivå A till nivå C (Fig 5a och Fig 5b) så finns det inte längre någon absorption kvar på frekvensen f_0 och vi har skapat ett mycket smalbandigt transmissionsfönster (Fig 5c) (jfr Fig 2c). I ett sådant fönster går ljuset mycket långsamt.

Ljusutbredning i vävnad

Spontant tänker vi att ljus inte går igenom kroppen, men täcker vi över en stark lampa med vår hand, eller ännu tydligare om ett barn täcker över en lampa med sin hand, ser vi att rött ljus går igenom handen och fingrarna och i det nära infraröda området är det dessutom ännu större andel av strålningen som penetrerar vävnaden. Faktum är att även efter att ha propagerat 10 cm i vävnad är det bara ca två tredjedelar av det infraröda ljuset som har absorberats. Så varför kan vi då inte ta röntgenbilder med ljus? Orsaken är att vävnad sprider ljus kraftigt. Efter att ha propagerat någon/några millimeter så sprids ljuset och ändrar riktning och detta sker hela tiden så när vi tittar på ljuset som kommer ut från vävnaden kan vi inte säga vilken väg det har tagit (Fig 6).

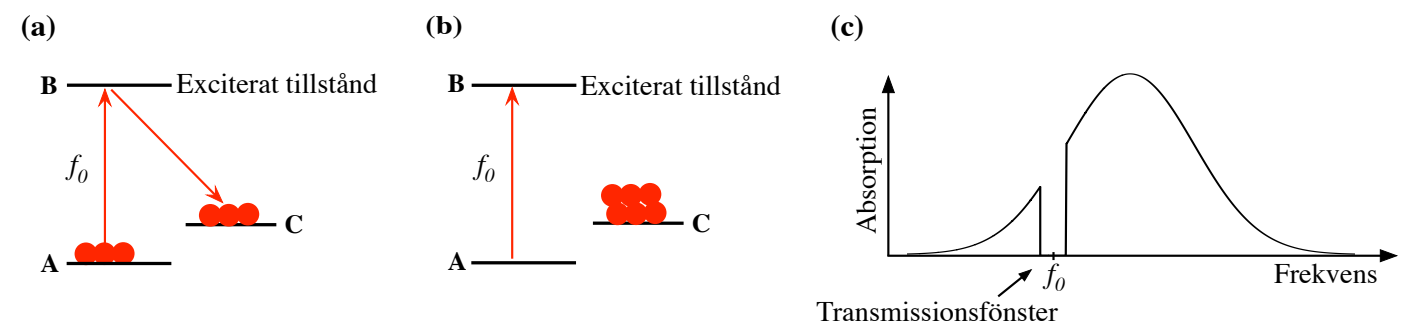
Figur 3. Precis som i figur 1, så interfererar här tre vågor och bildar en puls. I läge 1 är vågtopparna a1, b1 och c1 alla i fas. I denna punkt, markerat med en lodrät linje, är summan av de tre vågorna som störst och utgör alltså mitten på pulsen. De tre vågorna har inte exakt samma frekvens, och utbreder sig därför inte med samma hastighet. Vågen med lägst frekvens (den längst ner), utbreder sig med högre hastighet. En tid senare är vågorna därför i läge 2. Vågtopparna a1, b1 och c1 är då inte längre i fas med varandra, utan det är istället vågtopparna a2, b2 och c2. Eftersom positionen där de alla tre vågtopparna är helt i fas utgör mitten på vår puls, så ser vi att pulsen halkar långt efter de individuella vågorna. Pulsen utbreder sig därför med en hastighet v_g som är mycket lägre än v_a , v_b och v_c , och även om de tre vågorna har rört sig en bra bit längs z-axeln var för sig, har pulsen knappt flyttat på sig.



Figur 4. Om flera identiska atomer sätts in i en kristall, skulle man kanske kunna förvänta sig att alla dessa atomer absorberar ljus vid en och samma frekvens. En förenklad illustration av detta ser vi i (a), där atomer har satts in i en kristall, och alla atomer absorberar ljus vid en och samma frekvens f_0 , vilket visas i (b). I verk-

ligheten passar atomerna inte riktigt in i kristallstrukturen (c), och beroende på var i kristallen de befinner sig så upplever de olika omgivning. De olika atomerna absorberar därför ljus vid lite olika frekvenser, vilket i (c) illustreras med att atomerna har olika färg. En riktigt kristall består av väldigt många atomer, och detta leder till att

en bred absorptionsprofil erhålls, som är summan av absorptionslinjerna för de enskilda atomerna. Den breddade absorptionsprofilen visas i (d) där absorptionslinjerna för atomerna i (c) också har markerats med tillhörande färg.



Figur 5. Ett transmissionsfönster i absorptionsprofilen kan skapas genom att man omfördelar atomer mellan olika energinivåer så att de inte längre absorberar ljus på sin ursprungsfrekvens. Detta kan ses i (a), där vi har flyttat några av atomerna i kristallen från energinivå A till energinivå C via

energinivå B. Detta kan man göra genom att lysa på atomerna med resonant laserljus. När alla har flyttats (b), absorberar de inte längre ljus på ursprungsfrekvensen f_0 , och ett transmissionsfönster har skapats för just denna frekvensen (c). Det är precis ett sånt fönster som visades i figur 2c.

En medicinsk problemställning

Cirka 30 % av akutpatienterna till våra större sjukhus har symptom som skulle kunna komma från stroke, hjärtinfarkt eller andra problem relaterade till brist på syre hos kroppens organ. För att diagnostisera dessa patienter korrekt skulle det vara mycket värdefullt att kunna mäta blodets syresättning i hjärta eller hjärna. Ljus är generellt ett mycket känsligt mätverktyg. Absorptionen av ljus för syresatt och icke syresatt blod kan skilja med storleksordningar. Om vi bara kan utföra mätningen på rätt plats istället för att bara skicka in ljus som sprids överallt i kroppen skulle det vara enkelt att genomföra en mätning av syresättningen i en godtycklig punkt.

Att göra mätningar på ett valfritt ställe i kroppen med ljus

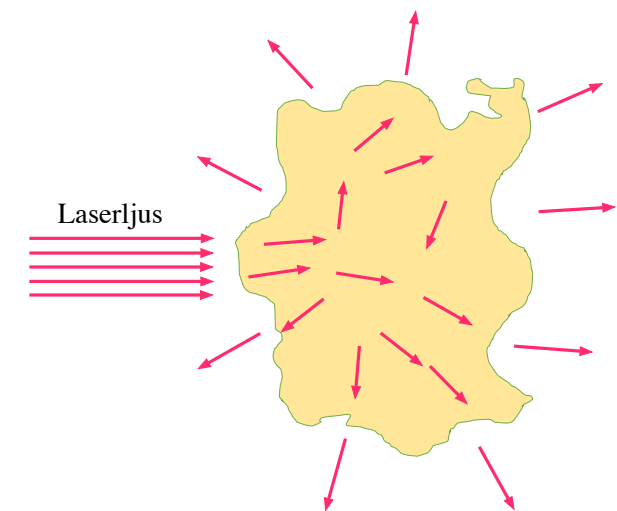
Det är inte alla vågrörelser som sprids kraftigt av vävnad. Röntgenstrålning, ultraljud och radiovågor (NMR) går rakt igenom kroppen med bara liten spridning. En ultraljudspuls kan skickas och fokuseras var man vill, till exempel för att spränga en njursten som fastnat i en urinledare. Intressant nog kan ljus växelverka med en ljudpuls som befinner sig i kroppen. Ljud skapar omväxlande förtunningar och förtätningar i det material det utbreder sig i. Dessa förtunningar och förtätningar uppfattas av ljuset precis som ett gitter. Ljus som passerar genom ljudpulsens kan spridas av detta gittret. Då gittret rör sig med ljudhastigheten, får ljuset

också ett dopplerskift och får en annan frekvens än det ljus som ursprungligen skickades in. Om vi endast väljer ut det dopplerskiftade ljuset när vi tittar på ljuset som kommer ut från kroppen så vet vi att det gått igenom ljudpulsens. Ljud går så mycket långsammare än ljuset så trots att ljuset studsar runt en massa i kroppen pga spridningen så hinner ljudpulsens väsentligen inte förflytta sig alls innan ljuspulsens lämnat kroppen. Genom att

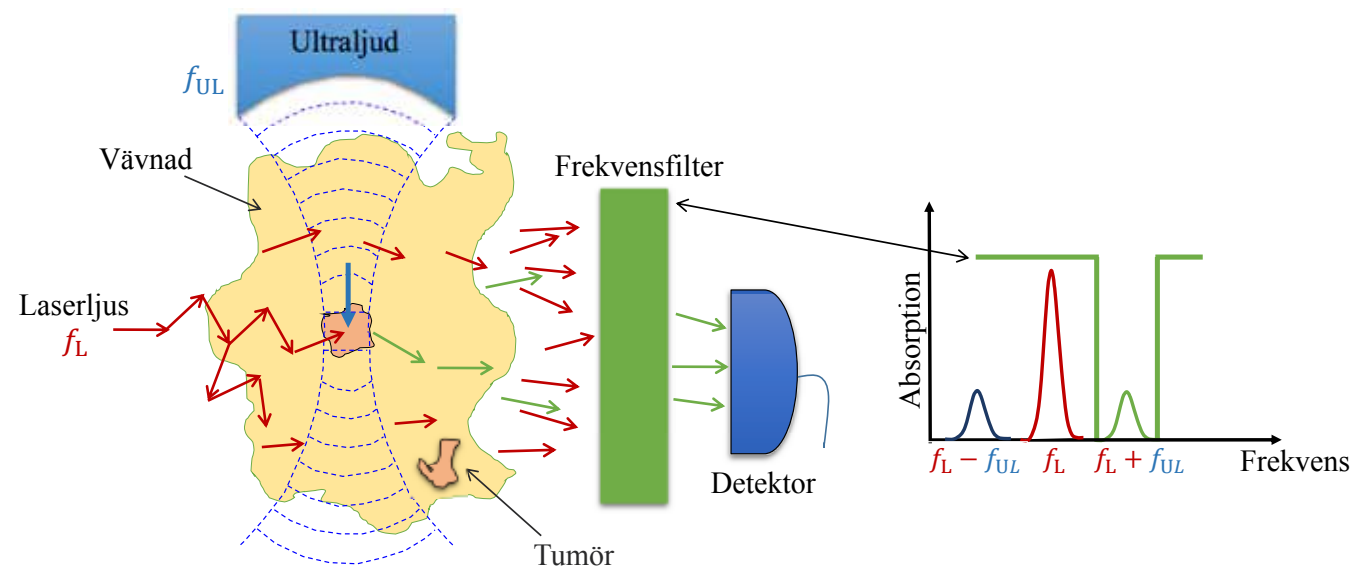
skicka in nya ljuspulser allteftersom ljudpulsens förflyttar sig växelverkar ljud och ljus på olika ställen och vi kan studera hur mycket ljus som absorberar i varje punkt där ljudpulsens färdas och på så sätt få information om syresättningen i vävnaden längs ljudpulsens färdväg.

Men vad hade detta att göra med långsamt ljus?

Låt oss anta att vi vill mäta syresättningen



Figur 6. Ljus sprids kraftigt av vävnad. Om välriktat laserljus skickas in i vävnad kommer det därför att komma ut i flera olika riktningar, och det kommer då inte att vara möjligt att veta vilken väg ljuset har tagit. Detta ställer till med problem om man vill använda ljus för att ta bilder av t.ex. cancertumörer i vävnad, eller mäta blodets syresättning, eftersom man då vill veta vilken väg ljuset har tagit genom vävnaden.



Figur 7. En ultraljudspuls med frekvens f_{UL} skickas in i vävnaden tillsammans med en laserpuls med frekvens f_L . Till skillnad från för ljus, så sprids ultraljud väldigt lite och kan därför fokuseras i en önskad punkt i vävnaden. Den del av laserljuset som interagerar med ultraljudspulsen frekvensskiftas $\pm f_{UL}$ (ljus som frekvensskiftas $+f_{UL}$ illustreras i figuren med gröna pilar). Vi vet därför att det laserljuset som kommer ut från vävnaden och är frekvensskiftat måste komma

från den punkt där vi fokuserat ultraljudspulsen. Genom att filtrera ut det frekvensskiftade ljuset, så kan vi få information om punkten där vi fokuserade ultraljudspulsen. Filtringen sker med hjälp av ett transmissionsfönster som skapats i en kristall, där vi matchar ljuset som frekvensskiftats $+f_{UL}$ med frekvensen på transmissionsfönstret. Frekvensskiftat ljus tillåts då att passera till detektorn. Det oskiftade ljuset kommer att absorberas och ej nå detektorn. Men som en extra

bonus, så färdas även det frekvensskiftade ljuset mycket långsamt genom transmissionsfönstret som vi sett i diskussionen ovan. Frekvensskiftat ljus och icke frekvensskiftat ljus som eventuellt läcker igenom filtret kan då separeras i tiden. Beroende på styrkan på det transmitterade frekvensskiftade ljuset kan man mäta om det t.ex. finns en cancer-tumör gömd i vävnaden.

i ett $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$ stort område inne kroppen. Om vi tänker oss en total vävnadsvolym på $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ och antar att ljuset pga av spridningen väsentligen kommer exponera hela den volymen så är den del vi är intresserad av bara ca en hundratusendel av hela volymen. En ljudpuls med storlek $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$ kommer bara frekvensskifta en liten bråkdel av ljuset i vävnaden. För att göra en mätning behöver vi välja ut det ljus som frekvensskiftats. Det kan vi göra genom ett arrangemang som i Fig 7. Det frekvensskiftade ljuset matchas med transmissionsfönstret i vår absorptionsprofil. Fast dopplerskiftet bara skiftar ljusfrekvensen med någon miljondels procent kan transmissionsfönstret göras så smalt att det icke dopplerskiftade ljuset hamnar utanför trans-

missionsfönstret och absorberas. Det ljus som ligger utanför transmissionsfönstret dämpas en faktor ~ 100000 . Det kan dock fortfarande vara starkare än det frekvensskiftade ljuset, men ljuset som går i transmissionsfönstret kommer förutom att det inte dämpas även gå ca 100000 gånger långsammare än det andra ljuset. Så ljuset utanför transmissionsfönstret kommer att ha försvunnit för länge sedan när det dopplerskiftade ljuset som gått i transmissionsfönstret kommer ut. På det sättet kan vi studera det ljus, som växelverkar med ljuspulsen och få information från område där ljuspulsen var, utan att våra detektorer bländas av det övriga ljuset.

Andra användningsområden för långsamt ljus?

Ovanstående beskrivning är bara ett sätt att använda långsamt ljus. Det finns säkert många andra sätt att använda långsamt ljus till. Den intresserade läsaren kan ju fundera på det själv. Artikelförfattarna tar dessutom mycket gärna emot förslag!

ALEXANDER BENGTTSSON
STEFAN KRÖLL
LUNDS UNIVERSITET



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2018

KVALIFICERINGSTÄVLING

25 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 $3 \times 3\,000$ kr	4:e pris $3 \times 1\,500$ kr
2:a pris $3 \times 2\,500$ kr	5:e – 10:e pris $3 \times 1\,000$ kr
3:e pris $3 \times 2\,000$ kr	

Anmäl dig till din fysiklärare!

FYSIKVECKA OCH FINALTÄVLING

De 15–18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 12–16 mars 2018 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn 23–26 april 2018.

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

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

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

21–29 juli 2018 i Lissabon, Portugal

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!





Med rymden som ett självklart fritidsintresse

Astronomisk Ungdom är en ideell organisation med syfte att främja intresset för astronomi och rymdfart hos barn och unga i Sverige. Organisationen tar tillvara på ungas fascination för rymden och vill bidra till att fler ungdomar oavsett bakgrund ska våga välja en naturvetenskaplig eller teknisk utbildning på gymnasie- och universitetsnivå.

Rymdintresset i Sverige är stort, inte minst bland barn och unga. Ungdomsförbundet Astronomisk Ungdom grundades 2012 och har idag över 3000 medlemmar i totalt 20 medlemsföreningar utspridda över hela landet, från Kiruna i norr till Lund i söder.

Verksamheterna är många. Varje år anordnas bland annat tre sommarforskar-skolor för gymnasieelever, ett flertal astronomiläger för elever på grundskole-, gymnasie- och universitetsnivå, stipendieutdelningar till elever som gjort sitt gymnasiearbete med anknytning till rymden, internationella studieresor och mycket mer. Det genomgående temat är att inspirera och entusiasmera unga med utgångspunkt i rymdintresset, lyfta fram unga förebilder och skapa en gemenskap för barn och ungdomar med kunskap och glädje i fokus.

Rymden som fritidsintresse

Bland unga finns idag något av ett stigma kring naturvetenskap, teknik och matematik; det anses vara svårt och ocool, och många känner sig ensamma och utlämnade i sitt intresse. I Astronomisk Ungdom är astronomi och rymdteknik självklara och accepterade intressen för alla oavsett kunskapsnivå, precis som fotboll, dans och politik, och alla som vill utveckla sitt intresse och träffa likasinnade ges en möjlighet att göra just detta. På så sätt vill Astronomisk Ungdom skapa en atmosfär där ett intresse för rymden leder till en meningsfull fritid och en möjlighet att träffa nya vänner.

I medlemsföreningar och på regelbundna helgläger runt om i landet träffas rymdintresserade ungdomar för att titta på rymdfilmer, diskutera forskning, gå på föreläsningar och ha roligt tillsam-

mans. Förkunskaperna varierar, från inbitna rymdnördar till de som bara är lite nyfikna, och alla är välkomna.

– Gemenskapen i Astronomisk Ungdom har helt förändrat mitt liv! Innan jag hittade hit kändes det som att jag var Sveriges enda rymdnörd, vilket var väldigt ensamt, säger Robin Djerv som varit medlem i Astronomisk Ungdom sedan 2013.

Att rymden tillåts vara ett fritidsintresse för alla, utan krav på förkunskaper, gör att både det och nära relaterade ämnen blir mer lättillgängliga. Det är viktigt att visa att astronomi och rymdteknik är för alla, trots att det är ämnen som kräver mycket kunskap i bland annat matematik, fysik och teknik.

Rymden inspirerar i klassrummet

Det är inte bara på fritiden som astronomi och rymdteknik kan göra skillnad för barn och ungdomar; Astronomisk Ungdom arbetar även för att rymden ska få mer plats i klassrummet. För att åstadkomma detta erbjuder organisationen bland annat föreläsningar för skolklasser samt laborationer, tips och läromaterial via projektet Astronomicentrum; ett nationellt resurscentrum för astronomi. Rymden fascinerar alla på någon nivå och just därför är rymden som tema i skolan en utmärkt inkörsport till ett intresse för naturvetenskap, teknik och matematik generellt.

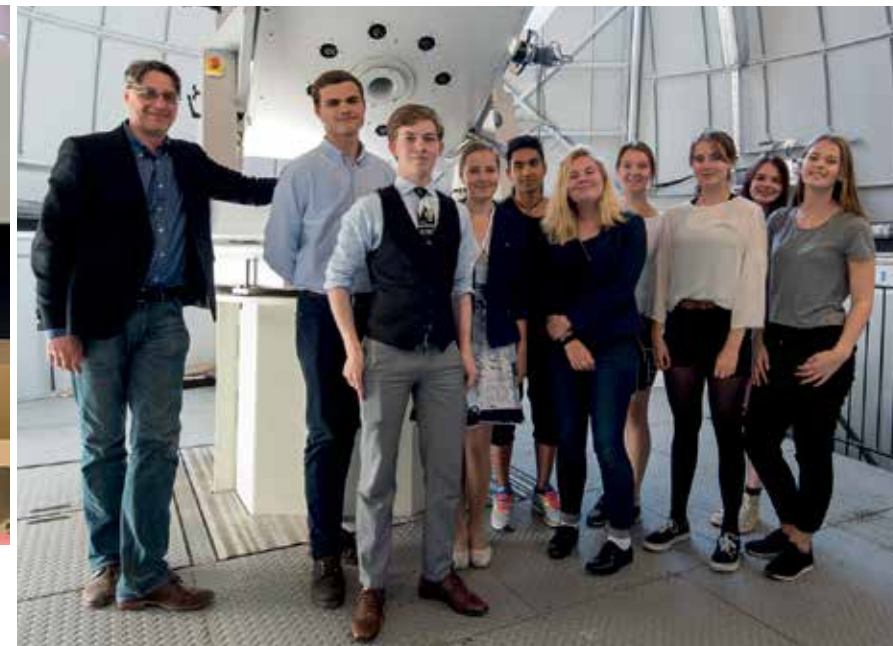


– Små barn visar tidigt upp en stor nyfikenhet för naturvetenskap och teknik, men någonstans under grundskolans senare del dalar ofta detta intresse. Att rymden är så stor och utforskad gör att den har en förmåga att återuppväcka ungdomarnas upptäckarglädje, säger Jennifer Andersson, förbundsordförande Astronomisk Ungdom.

Ny sommarforskar-skola blev en succé

Att rymden lockar visar inte minst söktrycket till organisationens senaste flaggskepp, Rymdforskar-skolan. Det är en sommarforskar-skola för gymnasieelever i astronomi och rymdteknik som går av stapeln i Stockholm, Kiruna och Göteborg. Under programmen, som är runt två veckor långa, får eleverna ta del av aktuell rymdforskning, besöka svenska rymdföretag och genomföra lärorika laborationer. Sedan 2016 har totalt 109 gymnasieelever deltagit i programmet och det är en erfarenhet de kommer att bära med sig för resten av livet.

– Jag har aldrig lärt mig så mycket på så kort tid som jag lärde mig under Rymdforskar-skolan. Jag har klarat uppgifter som från början kändes omöjliga och insett att jag är mycket bättre på fysik än jag trodde. Dessutom fick jag många nära vänner och fick bli en del av en gemenskap på ett sätt som jag aldrig varit förut. Det var en fantastisk upplevelse på alla sätt, skriver en deltagare på



Rymdforskar-skolan i Stockholm i utvärderingen.

Rymdforskar-skolan återkommer med tre upplagor sommaren 2018. Ett syfte med satsningen är att fler ungdomar ska få upp ögonen för utbildnings- och karriärmöjligheterna inom astronomi och rymdteknik, och på sikt öka antalet som väljer naturvetenskapliga och tekniska utbildningar på universitetet.

Ideellt engagemang stärker ungas självförtroende

Astronomisk Ungdoms verksamhet drivs av unga och årligen engagerar sig ca 100 ungdomar ideellt i organisationen. Att redan under gymnasiet eller de första studieåren på universitetet få möjligheten att genomföra små eller stora projekt för barn och andra ungdomar eller driva en egen lokalförening med regelbundna aktiviteter stärker ungdomarnas självförtroende och självkänsla, och Astronomisk Ungdom bidrar på så sätt till att dessa ungdomar växer som människor och får med sig nyttiga erfarenheter in i vuxenlivet.

Jag har startat och driver idag en lokalförening i Östergötland och jag har varit med och anordnat ett rymdläger i Kiruna. Genom mitt engagemang i Astronomisk Ungdom har jag lärt mig så otroligt mycket, fått vänner för livet och

Från Rymdforskar-skolan i Stockholm: Till vänster talar astronauten Christer Fuglesang. Till höger teleskopbesök med astronomen Alexis Brandeker.

åstadkommit saker jag inte trodde var möjliga. Och jag har inte ens gått ut gymnasiet än, säger Cornelia Ekvall, 17 år.

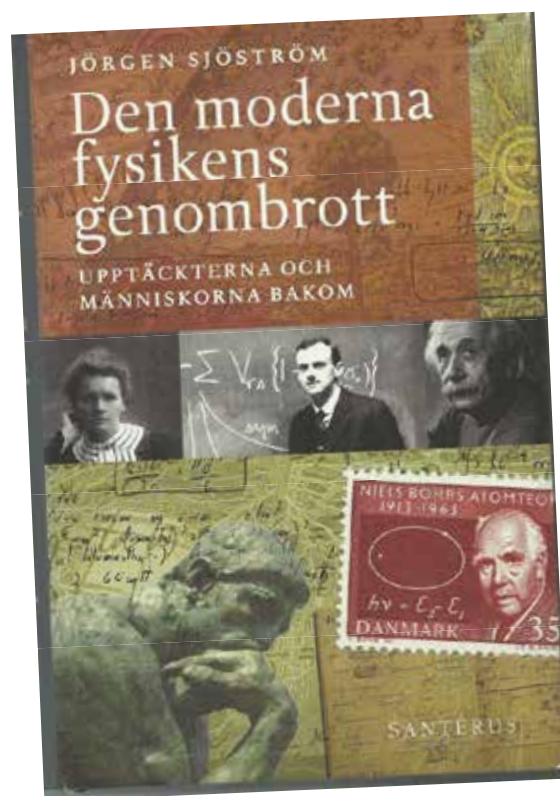
Framtiden

Det är tydligt att Astronomisk Ungdoms verksamheter fortsätter att växa och utvecklas. Så här fem år sedan starten växer medlemsantalet fortfarande stadigt och varje dag blir fler barn och ungdomar en del av gemenskapen.

Till våren planeras det nya projektet Knut Lundmarkdagarna, en gymnasiekonferens i astronomi inspirerad av Svenska fysikersamfundets Lise Meitner-dagar. Det ryktas också om en sällskapsresa till La Palma under sommaren, för att besöka de stora teleskopen där. Mer personal kommer också att anställas till organisationens kansli, och mycket mer ligger på horisonten.

– Rymdintresset hos unga i Sverige har visat sig vara större än vi hade kunnat ana och gränsen för vad Astronomisk Ungdom kan bli är ännu inte nådd. Det är oerhört roligt att få leda denna utveckling, avslutar Jennifer Andersson.

ROSINA ANDERSSON



Den moderna fysikens genombrott

Författare: Jörgen Sjöström
Antal sidor: 409
ISBN: 9789173591010
Utgivning: Santerus Förlag 2016
Pris cirka 210:-

I sin senaste bok skildrar Jörgen Sjöström ett antal viktiga steg under det senaste århundradet som lett fram till dagens fysik och vilken betydelse dessa steg fått för vår världsbild i stort. Det är en skildring som på flera ställen inrymmer konflikter mellan olika forskares uppfattningar och hur dessa konflikter lösts genom utslagsgivande experiment; ofta presenteras detta sökande efter sanningen som i en spännande detektivhistoria. Särskilt utrymme ägnas åt forskarnas personligheter och vad de betytt för framstegen inom olika områden. Förutom mera välkända sådana personhistorier får vi läsa om den annars bortglömde Hans Houtermanns, en vänsterinriktad judisk kärnfysiker ”som Hitler hade behövt”.

Att presentera de teoretiska genombrotten utan att använda formler är inte lätt, men jag tror att de flesta intresserade (även utan kännedom om matematiska formuleringar) genom denna bok kan få en ganska god uppfattning om vad kvant-

mekaniken har betytt för vår moderna världsbild. Med sina ganska utförliga redogörelser för den filosofiska bakgrunden kan nog Sjöström öppna läsarnas ögon även för dess djupare problem, såsom frågorna om lokalitet och realism. Boken börjar med atombomben och radioaktiviteten och avslutas med upptäckten av Higgspartikeln. Till sist innehåller den några funderingar om vartåt forskningen kan föra oss i framtiden.

Sjöströms bok torde kunna läsas med god behållning inte bara av fysikintresserade utan även av vetenskapshistoriskt intresserade i allmänhet. Med tanke på förtjänsterna i övrigt får man väl överse med en del brister i korrekturläsningen och att man och här kan hitta faktafel: t.ex. att vektorbosonerna inte upptäcktes vid LEP utan vid SPS, att laserkyllningen inte kom på 1970-talet (på den tiden använde man adiabatiskt avmagnetisering) och att fullerenerna skulle vara kvasikrystaller (men de kan dock bilda sådana).

Till sist är det på sin plats att ge en eloge till förläggaren Torbjörn Santénius, som vågat sig på att ge ut en ganska påkostad fysikhistorisk bok på svenska för en trots allt ganska begränsad läsekrets.

ERIK B. KARLSSON
UPPSALA UNIVERSITET



Inga och Leo programmerar

Efter att ha läst och arbetat med den första boken om Inga Ingenjör, är det med spänning jag nu läser uppföljaren. Precis som i den förra boken är det karaktärerna Inga och Leo som är i fokus. Titeln berättar att det kommer att handla om programmering, vilket ligger helt rätt i tiden. Från och med 2018 så kommer kursplanerna i Läroplanen för grundskolan att i flera ämnen få ett tillägg som handlar om att digitala verktyg ska komma in i undervisningen som ett naturligt inslag.

I ämnena teknik och matematik kommer programmering att finnas med i det centrala innehållet för årskurs 1-3. I teknik står det att eleverna ska arbeta med att styra föremål med programmering och vad datorer används till och några av datorns grundläggande delar för inmatning, utmatning och lagring av information, till exempel tangenter, skärm och hårdisk. Eleverna ska också arbeta med några vanliga föremål som styrs av datorer. I matematikdelen av kursplanerna står det att eleverna ska arbeta med hur entydiga stegvisa instruktioner kan konstrueras, beskrivas och följas som grund för programmering och hur man använder symboler vid stegvisa instruktioner.

När jag läser dessa ändringar i styrdokumentet för årskurs 1-3 i grundskolan så ser jag att boken om Inga kan fylla ett tomrum i klasserna på lågstadiet. När det görs förändringar i kursplanerna är det bra att det finns böcker och annat material som kan stödja både pedagoger och elever i det nya som kan verka lite främmande.

Inga och Leo programmerar
av Andrea Pettersson och
Malin Yngvesson
ISBN: 9789188303059
Fri Tanke förlag, 2017
Antal sidor: 31



I början av boken möter vi Inga hemma i hennes vardagsrum. Där finns en robotdamsugare som far runt i rummet. Redan här finns det många saker som kan starta en diskussion i en elevgrupp. Hur fungerar en sådan maskin egentligen? Igenkänningen är nog stor för flera elever. Vidare i boken möter vi en godismaskin som inte fungerar och hur Inga och Leo tar hjälp av en vän, Adam, som kan det där med programmering. Även här tror jag att eleverna kan känna med karaktärerna i boken och förstå deras önskan att lösa problemet.

Eftersom boken är full av saker och händelser som elever på lågstadiet känner till har man som pedagog många olika infallsvinklar att använda sig av. En extra viktig sak som boken tar upp är när Elon har publicerat en bild av Lana utan att hon gett sitt godkännande. Här kommer de etiska diskussionerna in och vad man kan, får eller bör göra i sociala medier.

Bilderna i boken är mycket fina och samstämmiga med innehållet, de är också fulla av detaljer som kommer fram när man läser boken flera gånger. Att man hittar nya saker på bilderna varje gång man tittar på dem gör att eleverna blir mer nyfikna och intresserade av vad de kan hitta för nya saker. Bildernas utformande kan också ge nya områden att utforska. Det är spännande att till exempel fundera på vem det är som är avbildad i ramarna på Lanas rum?

Jag ser verkligen fram emot att tillsammans med mina elever få arbeta med programmering med hjälp av Inga och Leo.

JENNY KRAMSJÖ
FLYGELSKOLAN, LUND

Mer information om projektet Inga Ingenjör hittar ni på ingaingenjor.se eller på [@ingaingenjor](https://twitter.com/ingaingenjor)

Ingen rök utan eld

Så sägs det ibland, men den som försökt tända en brasa med fuktigt virke säger istället: ingen eld, utan bara rök. Ända sedan Prometheus stal elden från gudarna och gav den till människan har den varit människans vän. Dock behövde den bevakas på stenåldern för att inte slockna och, när hus blivit vanligare, för att inte orsaka eldsvåda. Man hade därför brandvakt, men redan under 1800-talet konstruerades de första detektorerna för industrilokaler. De detekterade värme och 1955 kom en detektor för bostäder. För att ge varning betydligt tidigare utvecklades rökdetektorer och den första batteridrivna rökdetektorn för hemmabruk kom 1970 och den var av joniserande typ. Den första optiska detektorn patenterades 1972. I Sverige säljs årligen 700 000 – 800 000 brandvarnare.

Detektorer av olika typ

För att aktivera ett brandlarm behövs en detektor för att upptäcka brand och det finns tre huvudgrupper av detektorer: rökdetektorer, värmedetektorer och flamdetektorer.

Rökdetektorer finns i brandvarnare

En brandvarnare är en kombination av rökdetektor och larmsignal och bör vara utförd enligt standard SS-EN 14604. För bostäder finns joniserande eller optiska brandvarnare. De drivs av ett batteri som måste bytas ut med jämna mellanrum. En brandvarnare klarar att övervaka upp till 60 kvadratmeter, men helst bör man ha en brandvarnare i varje rum, eller åtminstone på varje våningsplan, då man omöjligt kan veta var branden startar och hur den sprider sig. Det finns också trådlöst

sammankopplingsbara brandvarnare som kommunicerar på det licensfria området vid 433 MHz. Det finns även sådana som sänder meddelanden omgående till en smartphone eller surfplatta.

Vad finns inuti en brandvarnare?

För att studera brandvarnarna mer i detalj inhandlade jag en av var sort, men av samma fabrikat. Jag tog först av locken (figur 1) och öppnade sedan respektive mätkammare (figur 2).

Den joniserande brandvarnaren innehåller cirka 0,25 µg av americium-241 i form av AmO₂, som ligger längst ner i kammarens centrum. Americiet sänder ut alfapartiklar som joniserar luften i kammaren, dvs. elektroner frigörs från syre- och kvävemolekylerna. Batteriet kan sedan driva en svag ström mellan kammarens botten och metallocket. När rök kommer in i kammaren neutraliserar partiklarna i röken laddningarna. Brandvarnaren känner av att strömmen minskar och drar igång larmet.

Den optiska brandvarnaren är numera den vanligaste typen. Lysdioden lyser i infrarött (IR), men inte direkt på fotodioden på grund av det svarta V-formade hindret (figur 2), utan först om rökpar-

tiklar kommer in i kammaren sprids en del av ljuset (Tyndall-effekt) in mot fotodioden och larmet går.

Den joniserande brandvarnaren reagerar snabbast på hastigt uppflammande bränder med god syretillförsel, en brandtyp som producerar osynliga förbränningspartiklar (0,01–0,4 µm) s.k. varm rök. Exempelvis brand i en papperskorg eller TV-apparat. I kök däremot kan rök från spisen/ugnen/brödrosten orsaka falsklarm. Vissa brandvarnare har pausfunktion, som minskar känsligheten vid t.ex. matlagning.

Den optiska brandvarnaren reagerar snabbast på pyrande bränder som kan glöda under flera timmar innan de övergår i öppen låga. Pyrandet ger kall synlig rök (0,4–10 µm), t.ex. från en cigarett i en soffå eller en överhettad elektrisk kabel. Den passar bra i badrum, och i andra fuktiga miljöer som förråd och källare, där oupptäckta glödbärare kan uppstå.

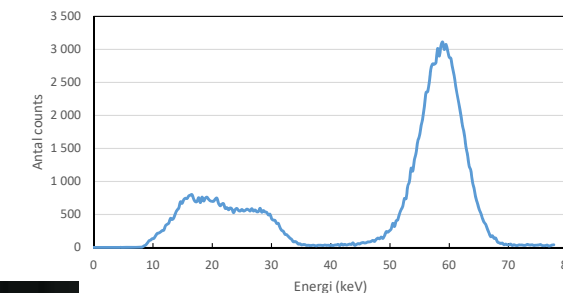
Den är att föredra i kök, då den inte falsklarmar för matos. Däremot kan den falsklarma om det är dammig eller om insekter kommer i närheten, och man bör med jämna mellanrum dammsuga brandvarnaren. Ju renare rök desto längre tid tar det för den optiska att larma, men de bränder som normalt förekommer hemma är med synlig rök och då fungerar den optiska lika bra som den joniserande.

Värmedetektorer

I exempelvis garage där förbränningspartiklar normalt förekommer, lämpar sig värmedetektorer/temperaturvarnare, eftersom dessa endast reagerar på värme. En temperaturvarnare reagerar när temperaturen överstiger 57 grader, men också



Figur 2: Till vänster syns i mitten det fastsatta foliet med Am-241 och till höger klockan sex syns IR-dioden och klockan 10 syns fotodioden. Notera det V-formade hindret.



Figur 4: Gammastrålningens energi från Am-241 mätt under cirka 10 min med en NaI-detektor. En topp syns vid 59,6 keV.

när temperaturstigningen sker snabbt, vilket görs med hjälp av två termistorer (resistorer vars resistans ändras med temperaturen). En känner av omgivningsluften och den andra är delvis isolerad. Om temperaturen stiger snabbt uppstår en temperaturskillnad mellan de två termistorerna och detektorn larmar. Det finns optiska brandvarnare som även har en termisk detektering.

Flamdetektorer

I stora lokaler med stora volymer och stor takhöjd eller där exempelvis brandfarliga vätskor finns kan flamdetektorn vara att föredra. Den larmar när den träffas av ultraviolett eller infraröd strålning eller en kombination av dessa.

Larmsignalen

En brandvarnare ska, enligt Konsumentverkets riktlinjer, ge ifrån sig minst 85 dB(A) på tre meters avstånd. Jag uppmätte över 90 dB och när jag kollade frekvensspektrum låg den största amplituden nära 3300 Hz. Spektrum hade (avsiktligt) samma brist på harmoni som ljudet självt. Det alstras av en tunn, cirkulär metallskiva med diameter 3,5 cm (figur 3). På metallskivan är en piezoelektrisk keram med något mindre diameter limmad. Ett piezoelektriskt material ändrar form om en spänning läggs över och omvänt uppstår en spänning när materialets form ändras. Tre spiralfjädrar i den optiska och tre fjädrande metallkontakter i den joniserande syns i figur 1 och en av dessa ligger an mot metallen som jord och de två andra ligger an mot den piezoelektriska keramen. Detta ger en återkopplingssignal som driver en oscillator där keramen ingår.



Figur 3: En tunn metallskiva med 3,5 cm diameter och likaledes tunn piezoelektrisk (brun) keram. Skivan ligger an mot de tre fjädrande kontakter som i figur 1 syns ovanför respektive mätkammare.

Radioaktiv strålning

Det ymniga neutronflödet i en kärnreaktor orsakar både kärnklyvning och neutroninfångning. Exempelvis leder den senare till att U-238 övergår i U-239, som efter två betasönderfall bildar Pu-239. Den kärnan kan också klyvas eller fånga in neutroner enligt



där sedan Pu-241 betasönderfaller till Am-241 med en halveringstid på ca 14 år. När Pu-241 kemiskt separerats ut får man därför tålmodigt vänta till dess önskad mängd Am-241 bildats. Am-241 har i sin tur en halveringstid på 432 år, vilket är längre än både vår egen och brandvarnarens livslängd. Dessutom kan man glädja sig åt att långsamt kunna bygga upp sitt förråd av neptunium-237, som är en nästan stabil isotop.

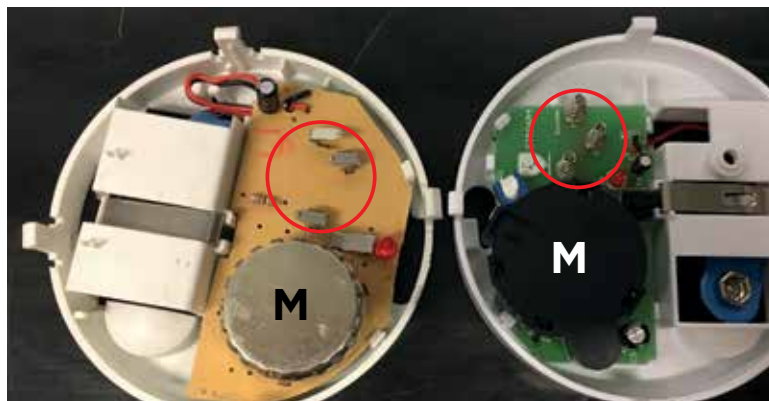
Utöver alfastrålning emitteras även

gammastrålning. Alfapartiklarna från brandvarnaren kommer inte ut ur mätkammaren, men det kan gammastrålningen göra. Jag mätte därför upp dess energier med en vanlig NaI-detektor (figur 4), och fann en topp vid cirka 60 keV. En sådan svag strålning stoppas av cirka 1 mm bly.

Årsdosen för den gammaenergin på 1 m avstånd är 1,1 mSv, och då vi typiskt vistas på betydligt större avstånd ligger dosen snarare på omkring 50–100 nSv per år. Det kan jämföras med att äta en banan som ger en dos på cirka 100 nSv från K-40. [En BED = Banana Equivalent Dose är av US Environmental Protection Agency beräknad till 0,08 µSv]. Årsdosen för en typisk person från K-40 i kroppen är 0,16 mSv och totalt för icke-rökare cirka 2,4 mSv per år. Medicinsk undersökning och behandling ger 0,9 mSv. Den som flyger mycket ofta får en årsdos på 2–3 mSv. Strålningen från joniserande rökdetektorer är uppenbarligen försumbar jämfört med andra strålningskällor. Enligt Strålsäkerhetsmyndigheten (2013) finns därför inga skäl att förbjuda användning av brandvarnare med joniserande strålning. Nyttan är större än riskerna. Dock ska den lämnas till kommunens återvinningscentral för utjänta brandvarnare.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM
STOCKHOLMS UNIVERSITET

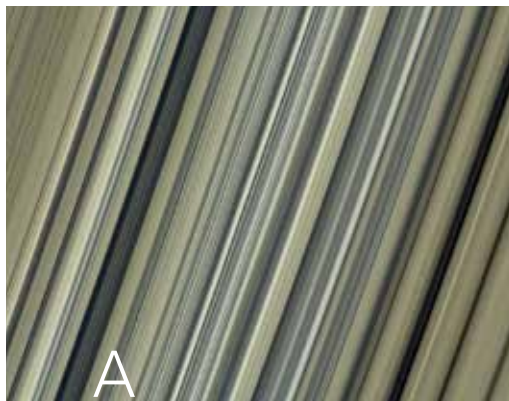
Figur 1: Till vänster den joniserande och till höger den optiska brandvarnaren. Mätkammarna är markerade med bokstaven M. I de röda cirkelarna syns kontakterna för larmsignalen.



Helgnötter

Även i år bjuds läsekretsen på ett quiz med fysikanknytning i sista FA-numret för året. Kan du lista ut vad nedanstående sju bilder föreställer?

Sänd in din lösning till fysikaktuellt@fysikersamfundet.se senast den 13 januari. Vi lottar ut *Den största berättelsen hittills* av Lawrence Krauss bland dem som tippat rätt. I nästa nummer av Fysikaktuellt publiceras den rätta lösningen.



- 1 Fourierrepresentation av fononspredning i kristallint järn (BCC) vid rumstemperatur.
- X Topografin hos skäregg av TiC, avbildad med svepelektronmikroskopi.
- 2 Högupplöst bild av Saturnus B-ring, foto taget från sonden Cassini.



- 1 Mikrofon (för ultraljud) med spole och elektronik.
- X Induktionshäll (utan häll) med spole och elektronik.
- 2 Gaussmeter (mätområde 5–500 mG) med spole och elektronik.



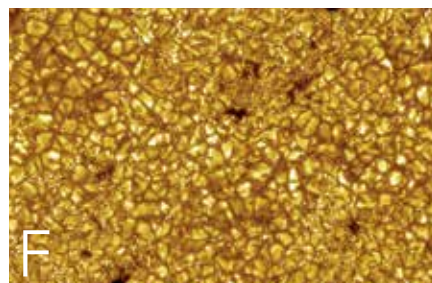
- 1 T-jererkovstrålning när laddade partiklar laserexciterats och rör sig genom vatten med högre fart än ljuset.
- X Insidan av en vakuumkammare där en högeffekt-laser är fokuserad för att generera koherent XUV-ljus.
- 2 Simultan två-foton-excitation av kvicksilver för korskorrelationsanalys med hjälp av fluorescens.



- 1 Selfie; Saturnus måne Titan fotograferad från sonden Cassini med del av antenn i förgrunden.
- X Bålgetinggadd med kanalöppningar där giftet (aminer och peptider) utsöndras.
- 2 Spetsen i ett Atomic Force Microscope, sönderskjuten av en högeffekt-laser.



- 1 Kiselsubstrat med kvicksilverkontakt redo för epitaxiell påväxt av antimon.
- X Proteinet bakterierodopsin preparerat för undersökning med hjälp av kryoelektronmikroskop.
- 2 Multikanalplatta, använd som spektralt filter och för att kunna hålla tryckgradient, där mitten smälts av en högeffekt-laser.



- 1 Solens fotosfär, bild från Svenska solteleskopet på La Palma.
- X Geckoödlas fotsulor, i mikroskop med 360 gångers förstoring.
- 2 Pestdrabbad tennytta (24 karät), elektronmikroskopbild.



- 1 Tartarus Dorsa-regionen på Pluto fotograferad från NASA:s rymdsond New Horizons.
- X Sommarens solförmörkelse sedd från rymden, fotograferad från den internationella rymdstationen ISS.
- 2 Skymning på Venus, foto från japanska rymdsonden Akatsuki.

Granulära material

skolan lärde vi oss att materia existerar i tre former: fast, flytande och gas. Ibland inkluderade man en fjärde form: plasma. Det finns emellertid material som inte direkt kan klassificeras på något av dessa fyra sätt. Dit hör bland annat granulära material som består av diskreta, makroskopiska partiklar ($\geq 1 \mu\text{m}$). Exempel på sådana material i vår vardag är snö, nötter, kol, sand, ris och kaffe.

På bild 1 visar jag ett experiment, där jag har stoppat ner en trästav i en kolv med ris. Staven rördes upp och ner tiotals gånger och flaskan skakades så att riset packades samman. Sedan lyfte jag staven och flaskan hängde med! Hur fungerar detta fenomen?

På grund av den oregelbundna geometriska strukturen är spänningen i materialet fördelad längs så kallade kraftkedjor, vilka bildar nätverk. För att

illustrera detta har jag på bild 2 använt spelet "Rättfällan", där cylindrar utsätts för ett tryck från en stav. Det är möjligt att plocka bort ett antal cylindrar utan att strukturen kollapsar. De kvarvarande cylindrarna illustrerar kraftkedjorna, som ibland formar bågar. På grund av denna struktur fastnar ett granulärt material ibland när det passerar genom en smal öppning, som till exempel en tratt. Det är den statiska friktionen mellan kornen och mellan korn och väggar som förhindrar en rörelse. Därför glider inte staven på bild 1.

Ett intressant och viktigt fenomen i granulära material är den så kallade paranöteffekten. Om Du öppnar en burk med blandade nötter finner Du att de största nöterna (paranötter) ligger uppe på ytan. Denna effekt är något renodlad på bild 3. I ett rör med sand ligger en metallkula på botten. När man skakar röret vertikalt upp och ned kryper kulan upp till ytan, till synes upphävande tyngdkraften. Minst tio olika mekanismer har föreslagits för detta fenomen. Några av dessa förklaringar faller under kategorin "hålfyllnad". I det ögonblick den oscillerade kulan är som längst upp finnes ett hål under den, vilket snabbt fylls med sandpartiklar. Kulan har därmed stigit upp

en smula. En mängd relaterade fenomen finns, som till exempel när stora stenblock i naturen under våren höjer sig upp ur marken. Den allmänna teorin för paranöteffekten inkluderar konvektion, bågbildning, tröghet, med mera. Dessa bidrag varierar med olika parametrar. Så kan vi till exempel för stora skakamplituder få en inverterad paranöteffekt, där istället de små partiklarna vandrar upp till ytan. Jag går inte här in på den komplexa, men ganska väl förstådda, teorin, utan hänvisar den intresserade till en översiktsartikel av James Kakalios i Am. J. Phys., volym 73, nummer 1, år 2005.

Granulära material tillhör en bredare materialgrupp av "kladiga material", som till exempel tandkräm och ketchup. Dessa material uppvisar en mängd udda fenomen som är mycket viktiga inom många teknologier. Jag hoppas att i denna serie kunna återkomma till i sammanhanget intressanta experiment.

PER-OLOF NILSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



Bild 3



Bild 1



Bild 2

Framtidens Laborativa Läromedel

Utbilda
morgondagens
ingenjörer och
forskare med ...



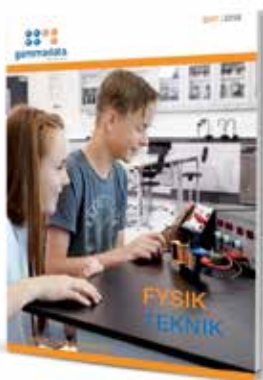
Gammapdata Education
exklusiv representant för
Frederiksen Scientific



FLIR | The World's Sixth Sense™



... Framtidens
Laborativa
Läromedel



Nya kompletta kataloger
hösten 2017 innehållande
spännande nyheter.

Kontakta oss så skickar vi
ut katalog till din skola.

Corporate Headquarters
Sweden
+46 18 56 68 00

Gammapdata Instrument AB
Box 2034
750 02 UPPSALA

www.gammapdata.se
info@gammapdata.se

Sweden
+46 18 56 68 00

Finland
+358 40 773 1100

Norway
+47 330 96 330

Webshop
www.gammapdata.net