

f Fysikaktuellt

NR 3 • SEPT 2015

Läs om Fysikolympiaden
i Mumbai 2015

sid 24-27

ISSN 0283-9148

Frielektron-
laser – FEL

sid 8-11

På spaning efter
en förenande
teori

sid 16-19

Bokrecension
"Mörkret vid
tidens ände"

sid 20-21

Svenska Fysikersamfundet

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

Ordförande: Anne-Sofie Mårtensson,
anne-sofie.martensson@hb.se
Sekreterare: Joakim Cederkäll,
joakim.cederkall@nuclear.lu.se
Skattmästare: Lage Hedin, lage.hedin@physics.uu.se
Adress: Svenska Fysikersamfundet,
Institutionen för fysik och astronomi,
Uppsala universitet,
Box 516, 751 20 Uppsala
Postgiro: 2683-1
E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

För medlemsfrågor, kontakta Lena Jirberg Jonsson, 08-411 52 80 eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Sektioner

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

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos. Redaktör för denna är Leif Karlsson, leif.karlsson@fysik.uu.se.

Fysikaktuellt

Fysikaktuellt utkommer med fyra nummer per år, och distribueras till samfundets medlemmar samt till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program. Redaktionen består av: Sören Holst, Margareta Kesselberg, Johan Mauritsson, Dan Kiselman och Elisabeth Rachlew.

Ansvarig utgivare är Anne-Sofie Mårtensson.
Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se
För insänt, ej beställt material ansvaras ej.

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 800 individuella medlemmar samt ett antal stödjande medlemmar (företag och organisationer) och ett antal stödjande institutioner.
Årsavgiften är 400 kr, dock 250 kr för pensionärer och forskarstuderande, samt 50 kr för grundutbildningsstudenter.
Stödjande medlemskap, vilket ger kraftigt rabatterat pris på annonser i Fysikaktuellt, kostar 4000 kr per år.
Bli medlem genom anmälan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html>

Omslagsbild: Heliga kor i Mumbai, juli 2015.

Foto: Max Kesselberg.

Tryck: Trydells, Laholm 2015

Utgivningsdatum för Fysikaktuellt

Nr 4 – 2015, manusstopp 25 okt. Hos läsaren 1 december.

Stödjande medlemmar

- ALEGA Skolmateriel AB
www.alega.se
- Gamdata Instrument AB
www.gamdata.net
- Glerups Utbildning AB
www.glerups.se
- Laser 2000
www.laser2000.se
- Myfab
www.myfab.se
- VWR International AB
www.vwr.com

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för fundamental fysik
- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för teknisk fysik
- Göteborgs universitet – Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad – IDE-sektionen
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Avdelningen för fysik och elektroteknik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för teoretisk 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
Elisabeth Rachlew
- 4 AKTUELLT/NOTISER
- 5 NEW HORIZONS NÅR PLUTO
Dan Kiselman
- 6 NORDISKA FYSIK-
DAGARNA 2015
Johan Mauritsson
- 7 ANNONS
Natur & Kultur
- 8 FRIELEKTRONLASER – FEL
Per Johnsson
- 12 NANOTRÅDLYSDIODER
B. Jonas Ohlsson
- 16 AVHANDLINGEN
Louise Anderson
- 18 INTERVJU
LOUISE ANDERSON
Margareta Kesselberg
- 20 BOKRECENSION
Lars Bergström
- 22 ANDREJ SACHAROV
Lennart Stenflo
- 24-27 FYSIKOLYMPIADEN 2015
- 24 NYA SVENSKA FRAMGÅNGAR
Bo Söderberg
Max Kesselberg
- 26 PÅ PLATS I MUMBAI
Margareta Kesselberg
- 28 VARDAGENS FYSIK
Max Kesselberg
- 30 ANNONS
Wallenbergs fysikpris 2016
- 31 FYSIKALISKA LEKSAKER
Per-Olof Nilsson

Nordiska fysiker möttes i Trondheim

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) välkomnade de nordiska fysikerna till den historiska staden Trondheim 9-12 juni och till ett möte med inspiration från fysikens alla delar.

För fysik handlar om mycket. Vi fick till exempel höra om forskning på Sydpolen, om Einstein och Bohr i Köpenhamn, om spännande forskning kring hur de gamla egypterna minimerade friktionen, om senaste nytt inom många av fysikens områden.

Mötet erbjöd en utmärkt chans att träffa nordiska kolleger för att diskutera fysik och situationen vid våra olika universitet. Nordiska fysikersamfundet har nu träffats vartannat år: I Köpenhamn (2009), i Helsingfors (2011), i Lund (2013) och nu senast i Trondheim.

Nu är det dags att förnya oss och bestämmer om nya spännande möten. Just att mötas över fysikens alla områden, det är som att ha en intensiv serie av spännande kollokvier under några dagar och samtidigt få träffa kolleger som vi sällan träffar. För inom våra specialområden har vi specialmöten och diskuterar våra specialproblem, men de breda vyerna måste vi få på andra möten. Och att träffa våra nordiska kolleger är ett utmärkt sätt att få bredare vyer. Vi träffas som kolleger från universitet och skolor och får nya idéer om hur engagemanget för fysik ska kunna öka.

Våra värdar gav oss en bok "Fysikk i Trondheim gjennom 100 år, 1910 – 2010". Spännande läsning om starten av den tekniska högskolan med teknisk fysik, följd av start av utbildning för fysiklä-



rare och till slut allt tillsammans sammanlagt till NTNU. Inte visste jag att här byggdes den första Tandem van de Graaff-acceleratorn (senare flyttad till Oslo), att här arbetade Njål Hole som flydde till Sverige 1941 och sedan forskade tillsammans med Lise Meitner i Stockholm, att Fred Kavli fick sin utbildning här. Och 2014 fick två forskare från NTNU Nobelpriset i medicin.

Vi fick känna på Trondheim i försommarblomning och ser nu fram mot 2017 då vi träffas i en annan nordisk stad, vilken? Var ska vi träffas närmast?

ELISABETH RACHLEW
PROFESSOR VID KTH



Ledermans andra pris?

Leon Lederman delade 1988 års Nobelpris i fysik med Melvin Schwartz och Jack Steinberger "för metoden med neutrinostrålar och påvisandet av leptonernas dubblettstruktur genom upptäckten av my-onneutrino".

Lederman, en sann humorist och som för en tid var chef för Fermilab utanför Chicago, berättar om Nobelpriset i boken "The God Particle" som kom ut 1993. På en fråga om vad han skall göra med peng-

arna säger han "But what I do intend is to use the Prize shamelessly to help advance science education in the United States. For this task a second Prize would be helpful".

Något andra Nobelpris har Lederman inte fått, men nästan. Hans Nobelmedalj såldes på en auktion i Los Angeles i maj 2015 för 765 000 dollar, motsvarande ca 7 miljoner kronor, väsentligt mer än vad han fick i prisbelopp 1988!

PER CARLSSON, KTH

Det händer i höst

Total månförmörkelse

28 sep 2015

Totaliteten varar 04:11-05:23.

Offentliggörande av nobelpriset i fysik

6 okt 2015

<http://kva.se>

Astronomins dag och natt

Hela landet 10 okt 2015

<http://astronominsdag.se>

"Light in the service of mankind- from the cosmic to the nanoscale"

Lund 22-23 okt 2015

<http://kva.se>

Astronomdagarna

Uppsala 22-24 okt 2015

<http://www.astro.uu.se/astro2015/>

Lise Meitner-dagarna Stockholm 23-24 okt 2015

<http://lisemeitnerdagarna.se>

(Anmälan har stängts)

Lärardag i fysik

Stockholm 28 okt 2015

<http://kva.se>

Seminarium: Strålningsriskerna för slutförvar för använt kärnbränsle

Stockholm 3 nov 2015

<http://www.karnavfallsradet.se>

Symposium "Light & Life"

Stockholm 12-13 nov 2015

<http://kva.se>

Nobelföreläsningar i fysik och kemi

Stockholm 8 dec 2015

<http://kva.se>

Anmäl till EUSO senast 29 oktober

EUSO (European Union Science Olympiad) är en europeisk olympiad i naturvetenskap. Olympiaden är uppbyggd som en lagtävling där tre elever samarbetar för att lösa praktiska, laborativa uppgifter som blandar biologi, fysik och kemi. I maj är det dags igen, denna gång i Tartu, Estland.

Den svenska uttagningsstävlingen sker individuellt och riktar sig till elever som går i åk 9 i grundskolan eller i åk 1 på gymnasiet. Läs mer om tävling och final på <http://euso.se>, där skolor också kan anmäla sig, detta senast den 29 oktober.



I maj i år fick de svenska lagen en brons- och en silvermedalj när EUSO arrangerades i Klagenfurt, Österrike: Miranda Carlsson (lag A), Alicia van Hees (lag B), Tobias Wallström (lag B) Nedre: Ludvig Forslund (lag A), Isak Prellner (lag B), Love Renström (lag A). Foto: Lars Gräsjo.

New Horizons når Pluto



Under några dagar i juli fångades världens uppmärksamhet av rymdsonden *New Horizons*. Efter närmare 10 år i rymden nådde den sitt mål, Pluto, den 14 juli.

Men den stannade inte där. Sonden svischade förbi i nära 14 km/s och det var bara under 40 h som avståndet till Pluto var mindre än en miljon kilometer. Att tillryggälägga avståndet motsvarande det mellan Pluto och dess måne Charon tog *New Horizons* mindre än 25 minuter. I samband med passagen motogs på jorden endast ett fåtal fantasiegående bilder av Pluto och dess månar tillsammans med vissa andra mätningar. Anledningen till det är att rymdfarkosten måste avbryta sina observationer när den riktar sin antenn mot jorden för att kommunicera. Det ville man förstås undvika så långt möjligt i samband med passagen. Å andra sidan fanns behovet att säkra ett minimum av data ifall något skulle gå fel och givetvis att ha något att visa genast i PR-syfte.

New Horizons är så avlägsen att data-

hastigheten endast är 1 Kilobit/s. Samtidigt finns det många andra rymduppdrag som konkurrerar om uppmärksamheten hos *Nasas Deep Space Network* som sköter kommunikationerna. Därför tar det lång tid att få hem data. Med början i september kommer hela datamängden att sändas hem i komprimerad form (vilket bland annat gör att bilderna inte har full upplösning) så de som längtar efter att få se mer av Pluto kommer att få det. Därefter börjar överföringen av den okomprimerade datamängden. Alla data från Pluto-passagen beräknas därför inte vara hemma förrän i slutet på 2016.

New Horizons far vidare och man hoppas att den ska kunna studera ytterligare ett objekt i Kuiper-bältet (som än så länge bara har den provisoriska beteckningen 2014 MU₆₉) i januari 2019. Kuiper-bältet är den mängd av små himlakroppar som rör sig i banor utanför Neptunus. Pluto, med en diameter på 2400 km, är en av de större medlemmarna i detta bälte. 2014 MU₆₉ uppskattas endast vara 30–45 km tvärsöver.

Ovan: Sammansatt bild av Pluto och dess största måne Charon. Bilderna från New Horizons motsäger återigen fördomen att så pass kalla himlakroppar skulle vara djupfrysta och döda. Deras varierade ytformationer vittnar om pågående geologiska processer.

Nedan: New Horizons tittar tillbaka på Pluto och ser dess tunna men utsträckta atmosfär lysa som en ring av spritt solljus.



DAN KISELMAN
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Dags att välja ny styrelse för Fysikersamfundet!

I höst är det val av styrelse och revisorer för perioden 2016 till och med 2018. Själva valet sker via post, och du som är medlem i Fysikersamfundet kommer att få ett brev från oss om detta i början av november.

Valberedningen har nu tagit fram sitt förslag till styrelse, se nedan, men det finns fortfarande utrymme för att inkomma med kompletterande förslag. Enligt våra stadgar ska förslagsställaren: "därvid förvisa sig om att föreslagen kandidat är villig åtaga sig uppdraget. Valbara är medlemmar i Samfundet." Valberedningens ordförande Gert Brodin tar emot dessa nya förslag t o m **19 okt 2015** via gert.brodin@physics.umu.se.

Så här ser valberedningens förslag till ny styrelse ut:

Ordförande: **Anne-Sofie Mårtensson**, Högskolan i Borås, **Svante Jonsell**, Stockholms universitet, **Martin Rosvall**, Umeå Universitet, **Leslie Pendrill**, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB, Borås, **Johanna Rosen**, Linköpings Universitet, **Jonathan Weidow**, Chalmers, **Johan Mauritsson**, Lunds Universitet, **Mattias Andersson**, St Petri skola, Malmö, **Carla Puglia**, Uppsala Universitet och **Carl Stigner**, Camatec Industriteknik AB, Karlstad

Inklusive ordförande utgörs styrelsen av 14 personer. Förutom de tio som samfundets medlemmar väljer tillsätter Kungliga vetenskapsakademien tre styrelseledamöter, och Ingenjörsvetenskapsakademien en styrelseledamot.

Valberedningen har utgjorts av Gert Brodin (sammankallande), Kerstin Ahlström, Ann-Marie Pendrill och Ellen Moons. I arbetet har gruppen, som stadgarna anger, försökt se till att förslaget på bredast möjliga sätt representerar fysikens olika områden och representerar olika institutioner i landet aktiva inom fysiken.



Nordiska fysikdagarna 2015

De Nordiska fysikdagarna är tänkta att vara ett spännande möte mellan fysiker inom olika specialområden från våra nordiska länder med ett tillskott av inbjudna talare av internationell toppklass.

Formatet lämpar sig särskilt väl för yngre forskare som här kan bilda sig en uppfattning om bredden på fysikforskningen i Norden och få en inblick i var forskningen bedrivs. Trots ett imponerande och ambitiöst program var deltagarantalet något lägre i år än tidigare, troligen beroende på att Trondheim inte ligger lika centralt placerat i Norden och inte är lika enkelt att resa till som tidigare orter.

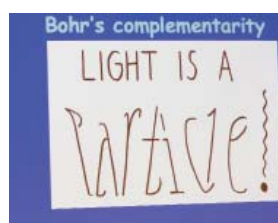
Konferensen huvudtalare var nobelpristagaren Serge Haroche från Paris som öppnade med föredraget: "Controlling photons in a box and raising Schrödinger cats of light: when thought experiments become real". Serge Haroche tar verkligen sitt ansvar som pristagare på stort allvar och reser världen runt för att på ett mycket trevligt sätt presentera sin forskning och den fascinerande värld som öppnas då man studerar kvantfysik. Ambiagrammet är ett exempel som Serge använde för att presentera den alltid lika fascinerande partikel – våg dualismen på ett underhållande sätt.

Det andra plenarföredraget om friktion var också mycket minnesvärt. Daniel Bonn från Am-

sterdam lyfte i sitt föredrag, "Granular friction: from building the pyramids to the anatomy of individual contacts at the nanoscale", fram flera spännande exempel på hur roligt det är att arbeta som forskare, men också utmanande. Daniel tog oss med på en spännande resa som tog avstamp vid några hieroglyfer för att kasta oss bakåt i tiden till Faraonernas tid och frågan om hur pyramiderna byggdes. Han nämnde också vikten av timing vad gäller publicering av data för att få största möjliga genomslag. Artikeln om optimal sandslottskonstruktion publicerades just i semestertider när många spenderar dagarna på stranden samtidigt som nyhetstorkan är som störst. Den kombinationen ledde till att resultaten plockades upp av alla de stora internationella tidskrifterna och fick en enorm spridning. Härifrån ledde Daniel oss vidare ner på nanoskalan för att visa att det även inom ett område som friktion som har studerats väldigt länge fortfarande finns obesvarade fundamentala frågor.

De två ovan nämnda talarna lyckades båda verkligen hitta rätt format på sina föredrag för målgruppen och resten av konferensen fortsatte på samma sätt att erbjuda både bredd och djup och visa på hur mycket fascinerande fysikforskning som bedrivs i Norden.

JOHAN MAURITSSON
LUNDS UNIVERSITET



Heureka!

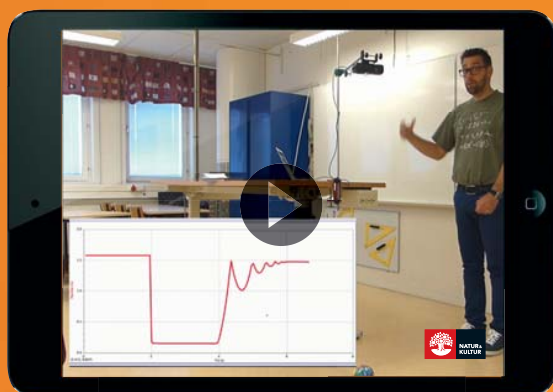
INTERAKTIV FYSIK

Interaktiv fysik!

Heureka Interaktiv bok ger dig:

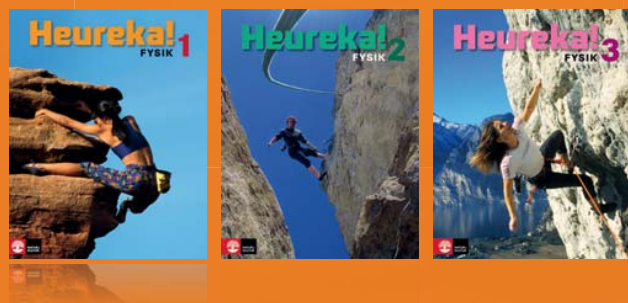
- **Filmer** med teorigenomgångar och lab-demonstrationer
- **Ledtrådar** och **lösningar** i direkt anslutning till elevbokens övningar
- **Självvärtande tester** av två slag: Förkunskapstest och Koll på kapitlet
- **Interaktiva simuleringar**
- Boken i digital form med **inläst ljud**

Testa på nok.se/provainteraktiv



Gratis fysikhjälp på Facebook!

Visste du att vi nu erbjuder gratis fysikhjälp på Facebook till alla Heurekaelever?! facebook.com/HeurekaLaxhjalp





Röntgenfrielektronlasrar – att fånga rörelser

Säkert har du någon gång som barn gjort din egen film genom att rita bilder på sidorna i ett blädderblock, för att sedan snabbt bläddra igenom dem och se hur bilderna kommer till liv.

På samma sätt har nog de flesta lite senare i livet inte kunnat undgå att imponeras av de tidiga handtecknade animerade filmer som föregick dagens avancerade datoranimationer. Trots att tekniken har förbättrats så har inte idén med ”stop motion” eller ”fångad rörelse” (se Bild 1) på något sätt fallit i glömska, utan används i allra högsta grad inom dagens forskning för att filma allt från enkla kemiska reaktioner till komplicerad dynamik i biomolekyler.

När det man vill studera blir allt mindre och snabbare ställs allt högre krav på den ”kamera” man använder, och ett av de senaste tillskotten till teknikparken är de röntgenfrielektronlasrar (X-ray free-electron laser, XFEL) som i allt snabbare takt byggs runt om i världen. I denna artikel diskuteras först olika tids- och längdskalor, vad som krävs för att kunna studera dessa, samt varför vi behöver en XFEL för sådana mätningar. Sedan presenteras hur en XFEL fungerar tillsammans med en översikt av existerande och planerade XFEL-anläggningar. Som avslutning ges en liten glimt av den forskning som hittills gjorts vid dessa.

Hur snabbt är snabbt, ...

Saker som händer i och omkring oss sker på väldigt varierande tidsskalor. Medan en människas hjärtslag varar ungefär en sekund, tar det en vanlig mygga ungefär en tusendels så lång tid, en millisekund, att slå med sina vingar. En miljondels sekund, en mikrosekund, är den tid det tar för ett konventionellt stroboskop att blinka en gång medan en miljarddels sekund, en nanosekund, räcker för att en modern dator ska hinna med ett tiotal flyttalsberäkningar. En miljondels miljondels sekund, eller en pikosekund, är omslagstiden hos världens snabbaste transistorer. För att hitta saker som sker på ännu kortare tidsskalor, femtosekunder eller till och med attosekunder, måste vi gå ner på atom- och molekylnivå, där en vätgasmolekyl i sitt lägsta vibrations-tillstånd behöver 8 femtosekunder för att fullfölja en vibrationscykel och en elektron i väteatomens lägsta energitillstånd hinner ett varv runt protonen på 24 attosekunder i Bohrs atommodell.

För att få en uppfattning om vilka enorma tidsspänn det rör sig om brukar man säga att en attosekund förhåller sig till en sekund på samma sätt som en sekund förhåller sig till universums ålder!

...hur litet är litet, ...

De minsta föremål som vi alla dagligen stöter på är vanligtvis någon eller några millimeter stora. Typiska bakterier är

mikrometerstora och diametern hos de DNA-molekyler som innehåller vår genetiska information är ytterligare tusen gånger mindre, några nanometer eller miljarddels meter. En väteatom har i Bohrs atommodell en radie på 25 pikometer, och femtometerskalan når vi när vi betraktar väteatomens kärna, protonen, som har en diameter på lite mer än en femtometer.

För att göra en liknande jämförelse som den för tidsskalor ovan så förhåller sig en proton storleksmässigt till en ärtä på samma sätt som en ärtä förhåller sig till solen!

...och hur mäter vi det?

Det minsta objekt som det mänskliga ögat kan urskilja utan hjälpmedel är några tiondels millimeter. Med optiska mikroskop har man traditionellt kunnat studera strukturer ner till en storlek av några tiondels mikrometer, begränsat av ljusvåglängden på grund av ljusets diffraction. Med hjälp av så kallad superupplöst fluorescens-mikroskopi, som belönades med Nobelpriset i kemi 2014, kan man dock komma längre ner på nanometerskalan genom att bygga upp bilden av en mängd enskilda bilder där man mäter fluorescensen från enskilda molekyler. Om man vill studera nanometerstora objekt men inte har möjlighet att utnyttja fluorescens, sätter dock ljusets våglängd fortfarande gränsen. Man får då övergå till att använda ljus med kortare våg-



Bild 1: En ung regissör upptäcker "stop motion"-tekniken.

Foto: Hannes Johnson, 2014.

längd, exempelvis från synkrotronljusanläggningar, eller till och med elektroner vars våglängd är kortare ju större rörelsemängd de har enligt deBroglies relation.

Vill man ta en bild av något som rör sig mycket snabbt, krävs det att man använder en kort exponeringstid. Om kamerans slutare är öppen under för lång tid, hinner det man vill fotografera röra sig under tiden filmen exponeras med resultatet att bilden blir suddig, vilket illustreras i Bild 2. Med en konventionell kamera med mekanisk slutare kan man komma ner i exponeringstider på någon tusendels sekund medan höghastighetskameror med elektroniska slutare kan komma ner i slutartider på några mikrosekunder. Ett sätt att "simulera" riktigt korta slutartider är att man, i kombination med en längre slutartid, bara belyser objektet under en väldigt kort tid, exempelvis med en stroboskopblix som nämnts ovan. Eftersom objektet då bara reflekterar ljus till kameran under den tid som blixten varar kommer kameran bara att se objektet under detta korta tidsintervall. Med ett vanligt stroboskop begränsas då exponeringstiden till någon mik-

rosekund, medan man om man använder laserpulser kan komma ned i betydligt kortare exponeringstider, till och med ända ned på attosekundtidsskalan.

Varför behöver vi XFELs?

Sedan slutet av 1900-talet har man använt laserpulser med en varaktighet i femtosekundsområdet till att studera kemiska processer, vilket också resulterade i ett Nobelpris i kemi år 1999. Ofta används så kallad pump-probteknik där man använder en puls till att starta en kemisk reaktion och en annan fördröjd puls till att ta en bild. Genom att göra om mätningen flera gånger med varierande fördröjning kan man genom att kombinera bilderna från de olika mätningarna göra en "film" av reaktionen, på samma sätt som med "stop motion"-tekniken som nämnts tidigare. Traditionella femtosekunds-lasrar ger dock laserpulser i det synliga och infraröda våglängdsområdet, vilket gör att den spatiella upplösningen är begränsad på grund av diffraktion. Parallellt med utvecklingen av femtosekunds-lasrar har tekniken för produktion



Bild 2: En exponeringstid på 1/8 sekund räcker inte långt om man vill fånga en fysikdotorand på väg till labbet. Foto: Per Johnson, 2015

av synkrotronljus från lagringsringar gått framåt, och idag erbjuder synkrotronljusanläggningar runt om i världen röntgenljus till ett stort antal användare. Medan dessa källor erbjuder just de höga ljusflöden och de korta våglängder som krävs för att avbilda de allra minsta objekten, är dock pulslängderna i pikosekundsområdet, vilket omöjliggör studier av de allra snabbaste förloppen i vår omgivning.

Under senare år har den snabba utvecklingen av röntgenfrielektronlasrar, XFELs, som kombinerar fördelarna med femtosekunds-lasrar och synkrotronljus, börjat tillgodose behoven av samtidig hög upplösning både spatiellt och i tiden.

Hur fungerar en XFEL?

Ordet laser är en akronym för *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, dvs. dess funktion bygger på förstärkning av stimulerad emission. I en traditionell laser i det synliga eller infraröda våglängdsområdet skapar man så kallad inverterad population mellan två energinivåer i en atom eller molekyl, dvs.



Bild 3: Del av den 1,7 km långa accelerator-tunneln vid European XFEL.

© European XFEL

LJUSGLIMTAR – FEL

man ser till att fler atomer befinner sig i ett övre energitillstånd så att den stimulerade emissionen dominerar över den spontana emissionen och på så vis kan förstärkning av det redan utsända ljuset fås. Man placerar sedan sitt lasermedium i en resonator mellan två speglar så att den effektiva längden på lasermediet blir längre och man kopplar endast ut en liten del av ljuset i resonatorn vid en av speglarna. Denna princip är svår att realisera i röntgenområdet, dels för att livstiderna hos de högt exciterade energinivåer som krävs är mycket korta, vilket gör det svårt att uppnå inverterad population, och dels då det är väldigt svårt att bygga effektiva resonatorer i röntgenområdet på grund av bristen på speglar som reflekterar i röntgenområdet.

Principen för en XFEL bygger istället på utsändning av röntgenljus från högenergetiska elektroner som böjs av i magnetfält, på samma vis som i en synkrotron. Korta elektronpulser skapas i en elektronkanon och accelereras sedan till nära ljushastigheten i en linjäraccelerator med hjälp av starka oscillerande elektriska fält (se Bild 3). För att elektronpulserna ska vara användbara i en frielektronlaser krävs att de har mycket bra egenskaper (liten spridning i position och hastighet) samt en kort pulslängd, och därför innehåller acceleratoren dessutom en hel del elektrooptik för att hålla ihop elektronerna i tid och rum. Precis som vid en synkrotron så skickas elektronpulserna sedan in i en så kallad undulator som består av en serie magneter med alternerande fältriktning, i vilken elektronerna oscillerar fram och tillbaka och därmed sänder ut ljus i framåtriktningen. Skillnaden mellan de undulatorer som används för synkrotronljus och de som används för frielektronlaser är att de senare är mycket längre, över 100 m, för att uppnå den större längd på mediet som i en konventionell laser fås med hjälp av speglarna i resonatorn. I en sådan lång undulator kan de fotoner som spontant emitteras i början av undulatorn påverka elektronpulserna med sitt elektriska fält och därmed, för rätt våglängd, förstärka sig själv och nå mättnad innan undulatorn är slut. Laserverkan startar alltså i princip från bris i denna process

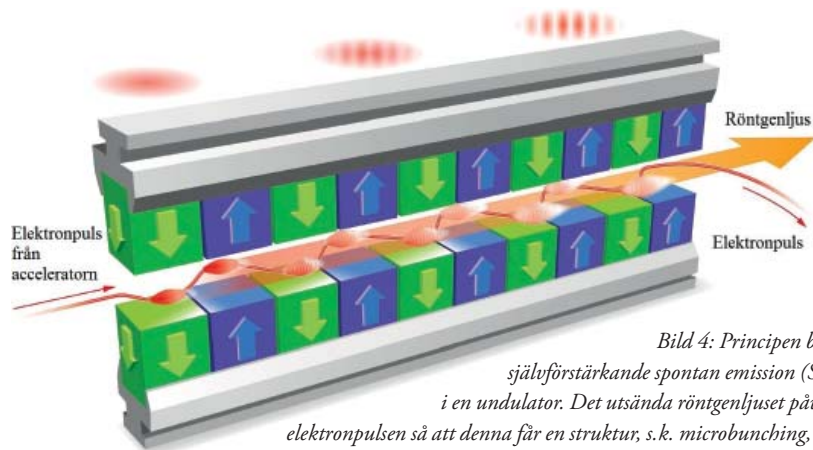


Bild 4: Principen bakom självförstärkande spontan emission (SASE) i en undulator. Det utsända röntgenljuset påverkar elektronpulsen så att denna får en struktur, s.k. microbunching, vilket illustreras av elektronpulserna ovanför undulatorn. Det är denna struktur som gör att alla elektroner sänder ut ljusvågor med samma fas så att ljuset blir koherent. (c) European XFEL

som kallas för *Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE)*, eller självförstärkande spontan emission, vilket illustreras i Bild 4. Till skillnad från den spontana ljusutsändning som sker i en synkrotron, där intensiteten är proportionell mot antalet elektroner som sänder ut ljus, är intensiteten från en frielektronlaser proportionell mot antalet elektroner i kvadrat, eftersom ljuset är koherent, dvs. alla elektroner sänder ut ljusvågor med samma fas.

XFELs i världen

Världens första XFEL, FLASH (Free electron Laser in Hamburg), öppnade upp för användare år 2005. Vid FLASH är den kortaste våglängden i mjukröntgenområdet (våglängder större än 2,5 Å) och det tog ytterligare fyra år innan den första hårdröntgenlasern (våglängder mindre än 2,5 Å), LCLS (Linac Coherent Light Source), togs i bruk i Stanford, USA. Eftersom det för frielektronlaser som bygger på SASE-principen är svårt att få riktigt stabil intensitet och våglängd, har man vid senare faciliteter börjat utnyttja så kallad *seeding*, vilket innebär att man

redan från början skickar in ljuspulser med rätt våglängd i undulatorn, som därmed förstärks. Det första exemplet på en *seedad* XFEL är FERMI i mjukröntgenområdet, men på senare tid har man också framgångsrikt implementerat liknande tekniker i hårdröntgenområdet. I tabellen nedan visas en översikt över existerande och planerade XFELs.

XFEL-forskning

XFELs används idag för experiment inom ett stort antal forskningsfält, och här kan vi bara ta upp några få exempel. En av de ursprungliga drivkrafterna bakom utvecklingen och byggandet av röntgenfrielektronlaser var viljan att inom *livsvetenskaperna* avbilda enskilda biomolekyler, exempelvis proteiner, med hjälp av fotondiffraktion. Medan synkrotronljus med framgång kan användas för proteiner som går att kristallisera, krävs betydligt fler fotoner för att kunna avbilda enskilda proteinmolekyler. Problemet är att stora biomolekyler skadas om de utsätts för höga fotonflöden (se Bild 6), vilket gör att väldigt korta pulser, i femtosekunderområdet, krävs för att hinna få en bild av

XFEL	Plats	Startår	Våglängd
FLASH	Hamburg, Tyskland	2005	41-496 Å
LCLS	Stanford, USA	2009	1,2-15 Å
SACLA	Hyogo, Japan	2012	0,63-3 Å
FERMI	Trieste, Italien	2012	40-1000 Å
PAL-XFEL	Pohang, Sydkorea	2016	1-30 Å
European XFEL	Hamburg, Tyskland	2017	0,5-60 Å
SwissFEL	Villigen, Schweiz	2017	1-70 Å



Bild 5, ovan: Röntgenfielektronlasern SACLA vid Spring-8 i Japan. Den 700 m långa byggnaden som innehåller acceleratoren och undulatorerna sträcker sig från elektronkanonen i byggnaden längst ner till vänster till experimenthallen närmast den stora lagringsringen som är byggd kring Mt. Miharakuriyama. © Riken Spring-8 Center



Bild 7: Rekonstruktion av elektrontätheten i ett Mimivirus skapad från 198 diffraktionsmönster från enskilda virus. Med tillstånd av T. Ekeberg.

objektet innan det förstörs. Sedan LCLS startades 2009 har mycket arbete lagts ned på att ta fram tekniker för avbildning och rekonstruktion av biologiska strukturer, och i Bild 7 visas ett av de allra senaste resultaten från ett experiment lett av forskare från Uppsala Universitet, där man studerat *Mimivirus*, som är ett av de största kända virusen. Inom **atom- och molekyelfysik** har XFELs bland annat gjort det möjligt att studera vad som händer då man samtidigt absorberar mer än en röntgenfoton och exempelvis skapar atomer och molekyler med två eller flera hål i sina inre skal. Detta leder till mycket snabba och kraftfulla relaxationsprocesser som man tidigare inte kunnat observera, men som man nu har möjlighet att studera tidsupplöst med den typ av pump-probteknik som beskrevs tidigare. Inom **kemi** använder man fielektronlasrar bland annat för att studera fotosyntesen och framför allt katalytiska system av

intresse för framtida utveckling av solbränsleceller. För den **kondenserade materiens fysik** och **materialvetenskaperna** möjliggör röntgenfielektronlasrar studier av ultrasnabba materialegenskaper av betydelse för solcellsteknologi och halvledarkomponenter för framtidens elektronik. Även i gränslandet mellan kemi och fysik, **ytkemi**, har man framgångsrikt börjat studera kortlivade tillstånd i exempelvis katalytiska reaktioner på ytor.

Det är bara tio år sedan världens första röntgenfielektronlaser blev tillgänglig för användare och forskningen vid dessa faciliteter befinner sig ännu i sin linda. Vi kan nog vara ganska säkra på att det i framtiden kommer att dyka upp en mängd intressanta resultat från dessa gigantiska blädderblock.

PER JOHANSSON
ATOMFYSIK
LUNDS UNIVERSITET

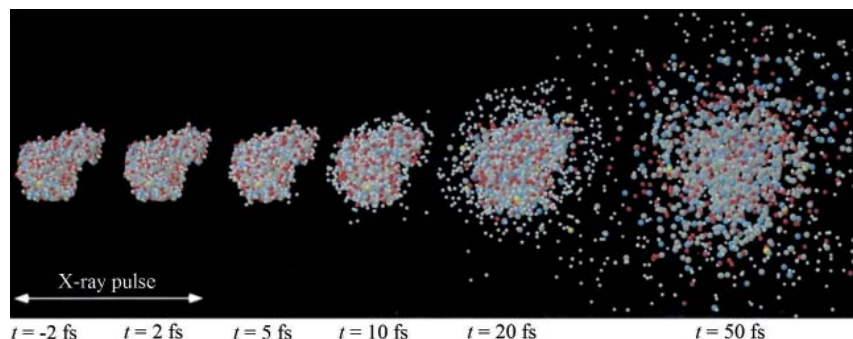


Bild 6: Modellering av vad som händer då ett enzym (Lysozyme) utsätts för en 2 femtosekunder lång röntgenpuls med en fotonenergi på 12 keV. Från Neutze et al.

Läs mer om...

Extremt korta laserpulser:

- Fysikaktuellt Nr 1, Feb 2015, sid 16-17

Synkrotronljus:

- Fysikaktuellt Nr 1, Feb 2015, sid. 26-28

Fielektronlasrar:

- B. W. J. McNeil & N. R. Thompson, *Nature Photonics* **4**, 814 (2010)

Fielektronlaserforskning:

- P. R. Ribic & G. Margaritondo, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **45**, 213001 (2012)
- R. Neutze, et al., *Nature* **406**, 752 (2000)
- T. Ekeberg, et al., *Phys. Rev. Lett.* **114**, 098102 (2015)

Nanotrådslysdioder från Skåne

Lysdioden har rönt extra stor uppmärksamhet på senare år – inte minst på grund av att nobelpriset i fysik 2014 tilldelades skaparna av den blå lysdioden. 2016 innebär dessutom 10-årsjubileum sedan den första nanotråds-lysdioden lyste upp i Lund. Vi tar tillfället i akt att berätta lite om historien kring nanotrådslysdioden i Lund – ett projekt som präglar vår vardag men som vi också hoppas lämnar positiva spår i svensk fysikforskning och dess ansikte utåt.

Inledning

I vardagsspråk känns den engelska förkortningen, LED (light emitting diode) ofta bättre, och mer bekant, än den svenska benämningen – lysdiod. Lysdioder som omvandlar elektrisk ström direkt till ljus har funnits i ungefär ett halvt sekel. De framställs med planarteknologi och tillverkas via kristallin tillväxt (epitaxi), eller via implantering (efterdopning) av kristallina halvledarsubstrat. En lysdiod är, i enklaste utförande, en halvledare med pn-övergång (diod) som avger ljus via rekombination av elektron-hål par vid framspänning av pn-övergången. Våglängden på ljuset ges av bandgapet i halvledarmaterialet i området mellan n- och p-volymerna (Schubert, 2006).

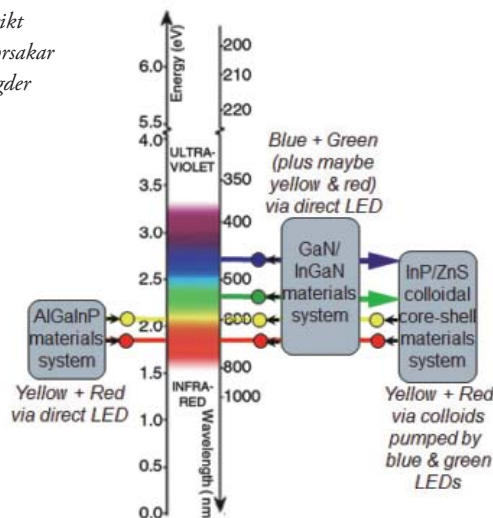
Arbetet med att förverkliga användbara lysdioder för synligt ljus startade för mer än 50 år sedan. De första försöken kom i Europa och använde GaP (Galliumfosfid). Historien berättar att redan 1961 fanns en julgran i SERLs laboratorier i England, upplyst av GaP gröna och röda lysdioder (Allen och Grimmeiss, 2008).

Miljöhänsyn har ökat avsevärt i betydelse de senaste årtiondena. Strävan efter energieffektivare elanvändning har gjort strömsnål lysdiodsteknologi till en hjärtefråga eftersom allmänbelysningen är en av de riktigt stora energislukarna. Detta omfattar inomhusbelysning i bostäder och kontor samt utomhusbelysning på

vägar och i bebodda områden. Omkring 20% av all el i i-länderna konsumeras av belysning. En dubbling av effektiviteten på våra lampor skulle således sänka i-ländernas totala elförbrukning med 10%. Det mest effektiva alternativet på marknaden idag är lysrör, med ca 25% omvandlingseffektivitet från elkraft till synligt ljus. Det finns dessutom andra betydelsefulla användningsområden utanför allmänbelysning. Byte till lysdiodsbaserade trafikljus utförs redan i många städer. Ett skäl är den avsevärt högre livslängden av lysdioder jämfört med andra lösningar. Strålkastare för fordon är ett annat område där lysdioder är på fram-marsch.

De tekniska utmaningarna för lysdiodsteknologin slutar inte med förbättring av energieffektiviteten, utvidgning och komplettering av de våglängdsområden som täcks av lysdioder är också av betydelse. I Fig. 1 visas en översikt över de vanligaste lysdiodsmaterialen och de färger de täcker. För rött ljus finns, sedan ca ett årtionde tillbaka, ganska effektiva lysdioder (>50%) i legeringar som här-rör från GaP och GaAsP. Effektiviteten hos blåviolettera lysdioder, i InGaN/GaN nitridmaterialsystemet har under det senaste årtiondet skjutit i höjden. Det går emellertid fortfarande inte att tillverka effektiva lysdioder i det gröna området, vilket är aningen snopet eftersom det faktiskt var grönt som allt började med för 54 år sedan.

Fig. 1. Färgerna som lysdioderna ger är strikt materialberoende. De områden som idag orsakar störst utmaning är grönt och UV, i våglängder kortare än 360nm.



Varför nanotrådslysdioder?

Nanotrådar ger en annorlunda tillverkningsprocess och komponentstruktur än plana halvledare. En sådan fördel är att komponenterna tillverkas med "botten upp" teknik, vilket kan ge komplexa strukturer med relativt enkel bearbetning.

Den tredimensionella geometrin hos nanotråden, med begränsade sidoytor och radie, tillåter friare tillväxt av olika materialkombinationer (heteroepitaxi), med olika bandgap och kristallparametrar, men med bibehållen enkristallin integritet. Detta innebär att villkoren för materialkombinationerna i Fig. 1 ges större frihet med nanotrådar än de ges i den planära teknologin, vilket är viktigt i synnerhet för InGaN- och AlInGaN-baserade lysdioder. Nitridmaterialen är nämligen generellt begränsade av inbyggande kristalldefekter på grund av avsaknad av kompatibla substrat med passande kristalldimensioner. Defekter uppstår också på grund av den stora skillnaden i kristallgitter, mellan GaN-skikten och kvantbrunnar av InGaN i de blandningar som krävs för att åstadkomma gröna och röda lysdioder. Denna typ av problem har hittills uteslutit kisel som ett möjligt och billigt substrat för vita, plana lysdioder. Kristallmaterialet blir helt enkelt för dåligt.

Nanotrådslysdiodeforskningen i Lund

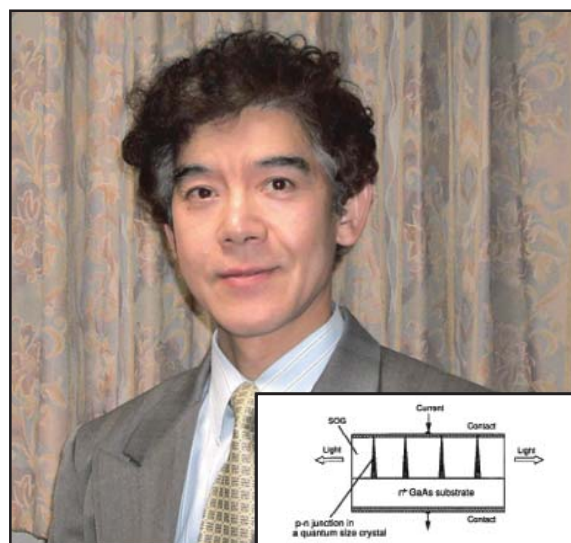
Idag växer flera grupper runt om i världen nanotrådar och nanotrådslysdioder, i början var det dock bara en grupp: Forskningen kring nanotrådsväxt av halvledarmaterial startade med ett härligt kreativt stim hos en relativt liten forskargrupp vid Hitachi, ledda av Dr Kenji Hiruma. Hiruma, se Fig. 2, som var kristallväxare vid Hitachi upptäckte fenomenet av en slump, härledde korrekt det till en trådväxtmekanism, döpt till VLS (Vapor Liquid Solid) 30 år tidigare av R. S. Wagner R and W. C. Ellis. Mekanismen innebär att en metalldroppe, vanligtvis av guld, accentuerar växt i trådriktningen. Hita-

chi-gruppen tog skeden i vacker hand och gav sig ut på en resa fylld av högklassig materialfabrikation och karakterisering, resulterande i en ikonisk ström av publikationer under åren 1989-1996. Bland annat tillverkade de världens första nanotrådslysdiode 1991. Komponenten var så enkel som bara möjligt; nanotrådar med en axiell pn-övergång växta på ett halvledarsubstrat, inbäddade i spin-on-glas med en platt kontakt på toppen och en kontakt till halvledarsubstratet under nanotrådarna.

Forskningen vid Hitachi ledde till en världsomspännande trend av forskningsinsatser på nanotrådar, framför allt exemplifierade av grupper vid Harvard (Charles Lieber), Berkeley (Peydong Yang) och Lund (Lars Samuelson), nu med modernare fabrikationsteknologi och karakteriseringsteknologi till förfogande. I Lund fokuserades mycket av det tidiga arbetet på utveckling av en överbryggande nanotråds-teknologi, som var kompatibel med traditionell planär halvledartillverkning. Detta ledde till forskningsinriktningar i litografisk design av nanotrådsmonster, III-V nanotrådsväxt direkt på kiselsubstrat, kontaktprocesser, men även forskning på avancerad heterostrukturtillverkning, heterostrukturstukomponenter och fördjupning av fysiken bakom de epitaxiella tillväxtvillkoren.

Hitachis nanotrådslysdiode bestod av axiella nanotrådsstrukturer, med pn-övergången i nanotrådens riktning. Ko-

Fig. 2. Dr Kenji Hiruma. Bilden är tagen vid ett besök i Lund 2012, då han utnämndes till hedersdoktor vid Lunds universitet. Bilden i högra hörnet visar en principskiss av den nanotrådslysdiodegruppen tillverkad 1991



LJUSGLIMTAR — NANOTRÅDAR

axiella nanostrukturer, har flera fördelar över axiella strukturer, varav en är att det radiella lagret täcker in det ljusemitterande aktiva området, se Fig. 3. De första radiella, substratväxta lysdioderna tillverkades i Lund 2006 i ett samarbete mellan QuNano AB och nm-konsortiet i Lund (Svensson et al., 2008). Lysdioderna var nätt och jämnt infraröda och tillverkades både på dyrare GaP substrat och vanliga kiselsubstrat.

QuNano AB är ett företag som startades för att förvalta, utveckla och kommersialisera nanotrådsteknologi. Företaget startades av tre vetenskapliga grundare, Lars Samuelson, Jonas Ohlsson och Knut Deppert, tillsammans med norska finansärer (Teknoinvest A/S). De infraröda nanotrådslysdiöden gav tro på framtida nanotrådsteknologi, men kommersialiseringen var problematisk. Infraröda lysdioder direkt på kisel har uppenbara användningsområden i intrakrets-kommunikation som t.ex. klocksynkronisering. Dock är processkompatibiliteten mellan III-V material som GaAs och InGaP men i synnerhet guld problematisk i kiselteknologi. En större och öppnare marknad erbjöds i blåa GaN-baserade lysdioder som riktar sig mot allmän belysning. GaN-epitaxi är inte kompatibel med traditionell III-V epitaxi. Den kräver dessutom avsevärt högre tillväxt-

temperaturer. GaN-nanotrådar hade inte växt tidigare i Lund och det fanns inte heller någon utrustning för det. En grupp med expertis från LU och QuNano AB bildades för att utveckla VLS-växt av GaN nanotrådar. Reaktorn var ett hemmabygge och hade tidigare använts för försök med kiselnanotrådar. VLS-experimenten gav begränsade resultat men en

ny nanotrådsteknik baserad på selektiv tillväxt av GaN-trådar från litografiska öppningar i en växt-mask utvecklades. En omedelbar fördel med denna metod var att ingen förorenande guldpartikel krävdes för att växa nanotrådar. En typisk matris av GaN nanotrådar visas i Fig. 4 I den hembyggda försöksreaktorn utvecklades den tillväxt-metod som fortfarande

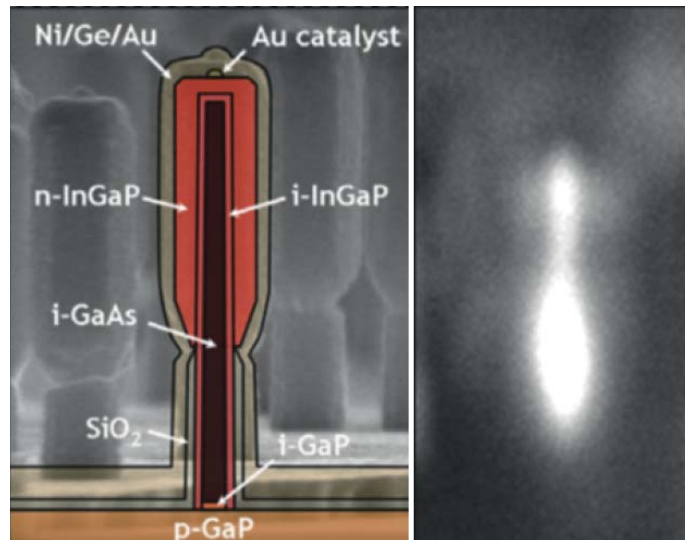
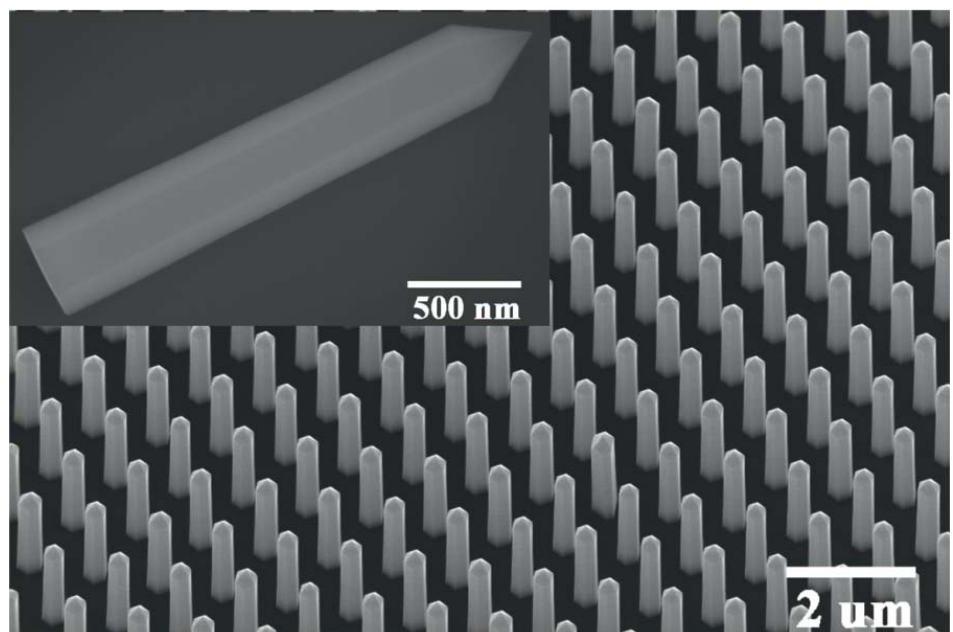


Fig. 3. Elektronmikroskopbild av en radiell, infraröd GaAs-baserad nanotrådslysdiö. Skallstreckat är 1 μm långt. Bilden till vänster visar komponentstrukturen, med den lilla (VLS) guldpartikeln högst upp. Högra bilden visar ljusemissionen från en nanotråd, fotograferad i ett optiskt mikroskop.

Fig. 4. Elektronmikroskopbild av GaN trådar med ett radiellt lager n-GaN. Vid tillverkning av blåa lysdioder växer InGaN-quantbrunnar på denna yta, i vilka ljuset bildas, följt av ett antal p-dopade lager.



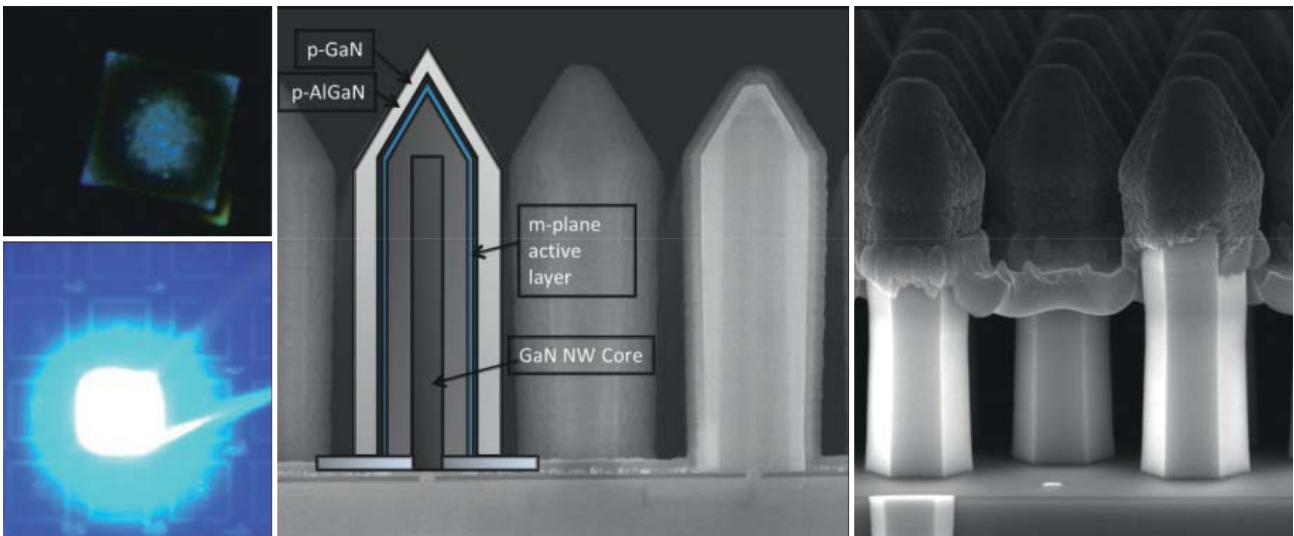


Fig. 5. Vänster ovan: Ljus från den första blå nanotrådslysdioden gjord av Glo AB Lund, april 2007. Vänster nedan: Blå nanotrådslysdiod tillverkad i Lund 2011. Mitten: elektronmikroskopbild som visar nanotrådslysdioder från sidan, med komponentlager markerade. Höger: processade nanotrådslysdioder (Glo Lund 2011).

används idag. Den tidigare användningen av reaktor-boxen (kiselnanotrådar) ledde till en okontrollerat hög kiselbakgrund och elektrondopning i de epitaxiella lagren. De första lysdioderna som tillverkades av QuNano var därför inte rena nanotrådslysdioder utan hybrider av en nanotrådsdel och ett planärt hål-dopat substrat. Resultaten var tillräckligt lovande för att grunda företaget Glo AB i december 2007, och att köpa in en begagnad forskningsreaktor, som än idag används för intensiv GaN-forskning i Lund. I denna reaktor utfördes all kommersiell utveckling fram till 2011. I april 2007 tillverkades den första blå lysdioden. Under 2011 flyttades den kommersiella utvecklingen till Sunnyvale i Kalifornien och forskargruppen där har sedan dess fortsatt arbetet med att förverkliga NW-LEDs för kommersiella tillämpningar.

Vitt ljus och den blå lysdioden

Satsningen på blå GaN lysdioder i Lund var främst motiverad för att skapa vitt ljus för allmänbelysning. Vitt ljus från lysdioder kan erhållas på två sätt. Ett sätt liknar den vi ser i våra välkända lysrör: lysdioder med emission i UV-blått plus fosfor. De första primitiva vita lamporna använde primärt en blå (violett) lysdiod täckt med ett lager av en fosfor med gul emission. Blandningen av den primära blå lysdiodemissionen och den gula emissionen från fosfor ger intrycket av vitt

ljus, dock sk kallt ljus med lågt CRI (color rendering index). För att få en mera naturlig färgåtergivning måste man också blanda in en rödlysande fosfor. Det samlade arbetet med utvecklingen av den blå lysdioden, och dess användning för vitt ljus, ledde 2014 till nobelpriset i fysik för Isamu Akasaki, Hiroshi Amano och Shuji Nakamura (www.Nobelprize.org).

RGB – Gröna dalar och röda berg

Ett annat sätt att uppnå vitt ljus är att blanda ljus från tre specifika färger (blått, grönt, rött) i lämpliga proportioner, varvid ögat uppfattar resultatet som vitt ljus. Detta förutsätter att lika starka lysdioder används för alla tre färgerna, vilket inte går att realisera optimalt för närvarande eftersom gröna lysdioder inte är tillräckligt starka. I lysdiodsteknologin är "the green gap" ett vedertaget begrepp, vilket kan översättas till den gröna dalen (eller snarare avgrunden). Nitridmaterialen är speciellt attraktiva för den här typen av lysdiodsteknologi eftersom de, teoretiskt, kan täcka hela det synliga området och mer, från infrarött till en bra bit in i UV. Problemen ligger återigen i avsaknad av kompatibla InAlGaIn-substrat av olika komposition. Forskningen för synliga lysdioder i Lund fokuserar idag på att utveckla nanotrådsbaserade mikrosubstrat av InGaIn materialblandningar som är speciellt anpassade för gröna lysdioder

Detta för att undersöka om bättre materialkombinationer kan leda till gröna dioder med liknande energieffektivitet som de blå uppvisar. Därefter återstår en ännu större utmaning – att framställa InGaIn mikrosubstrat för röda lysdioder.

B. JONAS OHLSSON
LUNDS UNIVERSITET
QUANANO AB OCH GLO AB

Vidare läsning

- Allen, J.W., and Grimmeiss, H.G., "Visible Light-Emitting Diodes – The Formative Years", (2008). *Materials Science Forum*. **590**, 1-16.
- Schubert, E.F. (2006). *Light Emitting Diodes*, Book. Cambridge University Press.
- Haraguchi, K., Katsuyama, T., Hiruma, K., and Ogawa, K. (1992). "GaAs p-n junction formed in quantum wire crystals" *Appl. Phys. Lett.* **60**, 745-747.
- Svensson, C. P. T., Mårtensson, T., Trägårdh, J., Larsson, C., Rask, M., Hessman, D., Samuelson, L. and Ohlsson, J. (2008). "Monolithic GaAs/InGaP nanowire light emitting diodes on silicon" *Nanotechnology* **19**, 305201.
- www.Nobelprize.org.

På spaning efter en förenande teori

Elementarpartiklar – materiens minsta beståndsdelar. Tre generationer kvarkar (upp och ner, charm och sär, topp och botten), tre generationer leptoner (elektronen, muonen och tauonen samt deras motsvarande neutrinos) och deras antipartiklar bygger upp allt vi ser omkring oss. Dessa materiepartiklar, eller *fermioner* som de vanligtvis kallas, växelverkar med varandra genom att utbyta kraftpartiklar, så kallade *bosoner*. Gravitoner, fotoner, W- och Z-bosoner som förmedlar den svaga kärnkraften samt gluoner som förmedlar den starka. Och slutligen kanske den mest kända bosonen av dem alla: Higgspartikeln, genom vilken alla andra partiklar förvärvar sin massa. Det är vad vi har att leka med.

Dessa få ingredienser – kvarkarna, leptonerna och bosonerna – är ansvariga för allt vi ser omkring oss. Men vi förstår fortfarande inte fullt ut hur de växelverkar med varandra. Uppenbara frågor kvarstår, såsom vad mörk materia egentligen är, eller hur svarta hål fungerar. Vi vet att de har både entropi och temperatur, men varför? Finns det någon underliggande intern struktur?

Min avhandling handlar om en liten pusselbit i allt detta. Om hur vi kan räkna ut saker inom något som kallas för supersymmetriska gaugeteorier. Men först, låt oss backa bandet lite, och försöka reda ut vad en supersymmetrisk gaugeteori är, och varför vi behöver bry oss om sådana överhuvudtaget.

Standardmodellen och andra kvantfältteorier

Om vi för tillfället bortser från gravitationen (vilket är en mycket bra approximation vid de energier som exempelvis

studeras vid acceleratorer som LHC; gravitationen är cirka 10^{32} gånger svagare än den svaga kärnkraften) beskrivs de andra krafterna av den så kallade standardmodellen för partikelfysik. Det är en kvant-

- Respondent: Louise Anderson
- Doktorsavhandling inom matematisk fysik
- Titel: LOST IN LOCALISATION – searching for exact results in supersymmetric gauge theories
- ISBN: 978-91-7597-231-2
- ISSN 036-718X.
- Avhandlingen framlagd vid Chalmers tekniska högskola, Institutionen för fundamental fysik den 25 september 2015, Opponent: Professor Nikita Nekrasov, SCGP, Stony Brook University, USA
- Handledare: Måns Henningson, professor vid Chalmers
- Länk till avhandlingen: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/221042/221042.pdf>

fältteori, där vi som i all kvantmekanik måste överge deterministiska förutsägelser och istället är begränsade till att ange sannolikheter för ett visst utfall. Dessa sannolikheter ges av oändligtdimensionella integraler – så kallade *vågintegraler*.

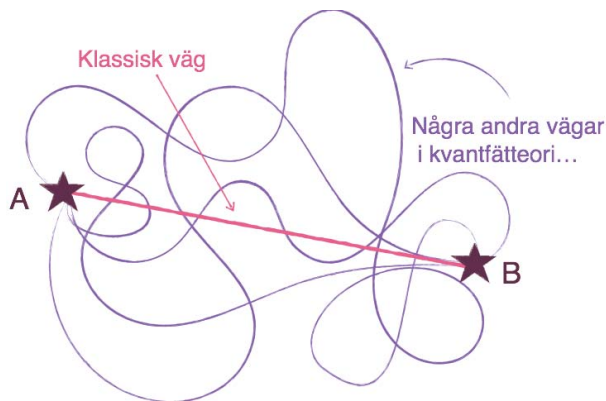
Istället för att bara ta hänsyn till den kortaste vägen mellan två punkter – eller snarare den som minimerar den så kallade verkan – måste vi inom kvantfältteorin summra över alla möjliga vägar mellan dessa punkter, viktade med denna verkansfunktion. Dessutom: istället för partiklar som vi är vana vid i klassisk fysik är de grundläggande ingredienserna i kvantfältteori just fält, och partiklar kan ses som excitationer i dessa underliggande fält. Så vad vi än vill beräkna i en kvantfältteori måste vi beräkna en oändligtdimensionell integral, vilket är ungefär lika svårt som det låter.

Symmetrier och gaugeteorier

Att fysiker gillar symmetrier kan väl knappast ha undgått någon, och skälet är förstås att de gör problem enklare. Men symmetrier har mycket djupare konsekvenser än så. Om vi kräver att våra teorier skall vara translationsinvarianta i exempelvis tid och rum får vi direkt de välbekanta bevarandelagarna för energi respektive rörelsemängd. På samma vis följer bevarande av rörelsemängdsmoment från rotationssymmetri.

I en *gaugeteori* har vi ytterligare en typ av symmetri – en lokal symmetri. Man kan visa att en sådan måste finnas så snart en teori innehåller en masslös kraftpartikel, vilket innebär att standardmodellen hör till denna klass. Den är en ganska avancerad gaugeteori, men det finns ett enklare exempel.

Fotonen, som förmedlar den elektromagnetiska växelverkan, är masslös, vilket innebär att en sådan lokal symmetri måste finnas redan i teorin för elektromagnetism. Denna symmetri är inte något kvantmekaniskt fenomen, utan syns redan i Maxwells ekvationer: Vektorpotentialen kan skiftas med en derivata utan att det påverkar fältstyrkan. Detta innebär att två olika fältkonfigurationer, två olika vektorpotentialer A_μ samt $A_\mu +$



$\partial_\mu \Theta(x)$, båda beskriver samma fysikaliska tillstånd. Ekvationerna ser likadana ut vare sig vi betraktar A_μ eller $A_\mu + \partial_\mu \Theta(x)$. Detta är alltså en symmetri hos teorin, och eftersom parametern $\Theta(x)$ är en funktion av läget x är den även lokal – en gaugesymmetri.

Supersymmetri

Så varför är vi inte nöjda? Varför envisas fysiker med att introducera fler komplicerade begrepp såsom ”supersymmetri”? Även om standardmodellen är fantastiskt bra på att beskriva de processer vi ser vid exempelvis LHC saknas fortfarande ingredienser. Den synliga materian i universum utgör endast cirka 15% av all materia. Resterande 85% är känd som mörk materia, och vi vet faktiskt inte vilka elementarpartiklar den består av. Därför behövs antagligen fler bygstenar.

Dessutom, för att vi exempelvis ska kunna förstå vad som döljer sig inuti ett svart hål, behövs en teori som även inkluderar gravitation. I dagsläget är den bästa kandidaten för en sådan teori – en teori för alla fyra krafter – strängteorin. Det är en enormt komplicerad teori, som kräver

minst nio rumsdimensioner istället för tre, och som innehåller en symmetri som relaterar bosoner till fermioner och vice versa: *supersymmetri*.

De teorier jag betraktat i min avhandling kan ses som lågenergigränser av strängteori. Där finns visserligen inga strängar, utan fält precis som i standardmodellen, men liksom strängteorin är dessa modeller supersymmetriska. Det innebär att vi har dubbelt så många partiklar att leka med – fermioner och bosoner förekommer i par. Förutom de partiklar vi är vana vid, såsom elektroner, gluoner och kvarkar, har vi dessutom deras *superpartners*. Dessa har, så som fysiker så karakteristiskt gör, getts de fantastiskt tråkiga namnen selektroner, gluinos, skvarkar och så vidare.

I en teori med obruten supersymmetri har partiklarna och deras superpartners samma laddning och massa, men tyvärr ser vi ingen boson med samma massa som elektronen i naturen. Så om supersymmetri finns i vår värld måste den vara spontant bruten vid de energinivåer vi når i dagsläget. Det vore inte det första spontana symmetribrott vi känner till – den världskända Higgsbosonen är ett re-

sultat av ett spontant symmetribrott. Vi tror att om supersymmetri finns i naturen så närmar vi oss de energier som krävs för att upptäcka de lättaste superpartiklarna. Det närmaste året kommer således att vara oerhört spännande för teoretiska fysiker. Min gissning – eller kanske snarare förhoppning – är att vi redan innan nästa sommar kommer ha observerat supersymmetri vid LHC.

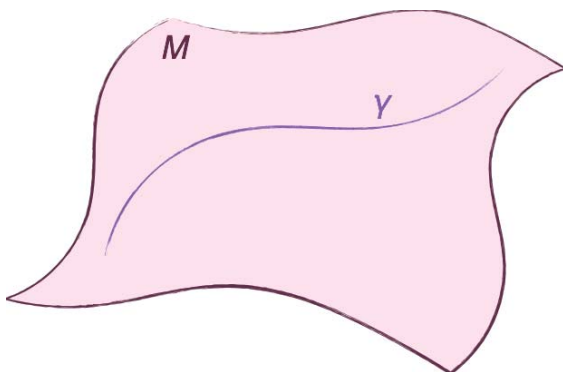
Supersymmetriska gauge-teorier – kan vi beräkna något?

Så supersymmetriska gauge-teorier är en liten ö av pusselbitar som behöver läggas för att vi slutligen ska kunna förstå hur alla de fyra krafterna fungerar, men de är även intressanta i sin egen rätt då de bland annat har många matematiska tillämpningar. Det är här – mitt i detta pussel – jag tillbringat min doktorandtid.

Att explicit göra beräkningar i dessa teorier är – trots att de är matematiskt eleganta och har mycket symmetri – minst sagt svårt. Men det finns vissa tekniker för att förenkla det hela. Genom att utnyttja symmetrierna, och då speciellt supersymmetrin, på ett smart sätt, kan man reducera den oändligtdimensionella vägintegralen till en ändligtdimensionell. Det visar sig nämligen att bara de fältkonfigurationer som löser en viss uppsättning ekvationer kommer ge något bidrag till vägintegralen. Så från att ha behövt göra integralen över alla fältkonfigurationer – schematiskt illustrerat här intill som rummet M – behöver vi nu bara beräkna en integral längs en kurva genom M .

Denna teknik för att explicit kunna utföra beräkningar kallas *lokalisering* av vägintegralen, och det är stjärnan i min avhandling. För att räkna ut saker är ju ändå vad teoretisk fysik till sist handlar om. Vi vill kunna säga ”Hej kära experimentalistvänner, kan ni mäta detta åt oss? Vår teori säger att värdet skall bli 42” eller något i den stilen. Att bara säga ”Vår teori säger oss att värdet skall bli denna oändligtdimensionella integral.” känns inte helt tillfredställande.

LOUISE ANDERSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



Fysiker med många strängar på sin lyra och som älskar att upptäcka världen

Louise är uppvuxen på Öckerö i den bohuslänska skärgården, och redan i förskolan berättade hon för fröknarna att hon skulle bli fysiker. Intresset för fysik redan i förskolan var något udda och det var få jämnåriga tjejer med på tåget. SVTs vetenskapliga barnprogram "Hjärnkontoret" var en av mina favoriter, avslöjar Louise. När "Hjärnkontoret" tog upp möjligheten att vara på flera ställen samtidigt blev hon så fascinerad att hon då beslutade sig för att bli kvantfysiker.

Louise Anderson håller ett högt tempo, men verkar inte stressad. Hon ger intryck av att vara en välplanerad person med fokus framåt. Hemligheten är nog att hon varierar sina uppgifter över dagen på ett bra sätt som passar henne.

Under vårt trevliga möte så hinner vi ta upp både stora och små saker. Just nu vill hon fokusera på att samla erfarenheter och kunskaper för att utveckla sitt kunnande, att lägga saker och ting tillrätta, förstå och se samband samt anta nya utmaningar.

Redan i oktober börjar Louise sin postdoc-tjänst vid Imperial College i London, något som hon ser fram emot med både spänning och glädje. Det känns alltid positivt att jobba ihop med duktiga forskare på en internationell arena.

Just nu råder flyttfeber. Det väntar en lägenhet i London på 30 kvm. Den införskaffade bostaden är minimal och behöver renoveras.

– Men inredning och renovering är ett av mina intressen, utöver fysiken, så det kommer inte att finnas några fritidsproblem, konstaterar Louise som de tre senaste månaderna bott i kappsäck sedan lägenheten i närheten av Chalmers lämnades.

– Ibland har jag bott hemma hos mina föräldrar i den bohuslänska skärgården och ibland hos min pojkvän Erik som bor och arbetar i Stockholm, berättar Louise vid vårt möte.



Hur startade ditt stora fysikintresse?

– Redan tidigt fanns nyfikenheten på hur saker och ting fungerade, anförtror Louise.

– Ljudet från kylskåpskompressorerna

hemma i köket lockade att ta reda på mer, berättar hon. Åtskilliga gånger som liten monterade jag bort kylskåpsgallret vid golvet för att studera hur en kompressor såg ut och fungerade.

– Mamma hade alltid sagt att hon inte kunde vara på två ställen samtidigt, avslöjar Louise. Det var något som hon ville kunna som vuxen och när "Hjärnkontoret" berättade om möjligheten så tog intresset för fysik i all dess former över.

Dessutom under min tonårstid fanns en annan TV-serie, "Star Trek", vars karaktärer blev lite av idoler för mig under en period, berättar Louise. Serien var lagom fantasifull och kreativ för en tonåring och gav ibland lösningar på fysikens utmaningar genom de olika rymdävenstyren. Många år senare, efter gymnasietiden, deltog Louise i en sommarskola för unga fysiker, där just teorin bakom kvantteleportering ingick.

Var fysiken ditt enda intresse?

– Konstakning var ett stort intresse också under uppväxten, fortsätter Louise.

Hon tränade yngre barn i konstakning och femåringarna fick parallellt lära sig "fysik i praktik", som rörelsemängdsmoment när de tränade. Barnen blev medvetna om fysikens lagar och hur man på bästa sätt kunde utnyttja dessa när man åkte konstakning med olika piruetter mm.

Hur blev din skolgång eftersom du bodde ute på en skärgårdsö?

– Jag började skolan ett år tidigare och slapp då bli ensam kvar i min årskull, berättar hon. Ett klokt val, även om hon kanske var i yngsta laget så fick hon lagom med utmaningar.

– Dessutom fick jag en fantastisk lärare i åk 4 som gjorde att jag växte som individ, berättar Louise.

– Jag hade också turen att ha bra fysiklärare både på högstadiet och senare i gymnasiet inne i Göteborg. Under gymnasietiden blev det mycket fysik som jag valde att fördjupa mig i.

Hur gick det att pendla från Öckerö till gymnasiet i Göteborg?

– Det är både fördelar och nackdelar med att bo på en skärgårdsö, konstaterar Louise.

Under lång tid har man möjlighet att hålla fokus och man blir inte lika splittrad av olika saker som lockar i stan. Samtidigt så blir det sociala umgänget begränsat av naturliga skäl.

– Min pappa och mamma arbetspendlade till Göteborg så det var oftast ganska smidigt med resorna.

Hur har dina föräldrar hanterat ditt stora fysikintresse?

– Min pappa har utmanat med olika svåra böcker som jag fått och dessutom har nog mina föräldrar alltid behandlat mig som vuxen och jag har alltid fått ansvar och lagom utmaningar, berättar Louise.

Är dina föräldrar naturvetare?

– Ja, båda mina föräldrar är naturvetare och akademiker. Pappa är kemist och mamma är utbildad inom miljökunskap.

Hur kommer det sig att du deltagit i kunskapstävlingar?

– Det var slumpen, berättar Louise. Jag råkte se ett anslag på skolan om en lagtävling i naturvetenskap, främst för åk 9 elever, EUSO 2004. Jag anmälde mitt intresse och blev en av de svenska deltagarna, konstaterar hon.

– Eftersom det var jätteroligt så fick jag blodad tand, berättar Louise. Under

gymnasietiden blev det sedan fysikolympiaden i Singapore 2006.

Louise insåg så småningom, främst under gymnasietiden i Göteborg, att hon levde ett ganska socialt isolerat liv, något som hon ville ta igen och utveckla sitt sociala umgänge med jämnåriga.

När Louise sedan kommer till Chalmers börjar det sociala livet snurra på och plötsligt är hon engagerad även i studentkåren. Parallellt med studierna har hon haft flera uppdrag.

Louise noterar också att man behöver erfarenheter som är svåra att läsa sig till. De egna internationella kontakterna ger perspektiv på världen och Erasmus-tiden i Aberdeen är ett exempel.

Varför blev det Chalmers efter gymnasiet?

– Det fanns inget annat alternativ, säger Louise utan att fundera. Pappa arbetade vid Göteborgs universitet och jag ville stå på egna ben. Gå min egen väg.

Vilka personliga egenskaper tror du är viktiga för ditt yrkesval?

Man behöver både mod och styrka för att bryta ny mark inom forskningen.

– Viljan att inte ge upp och att stå upp för saker och ting. Jag är orädd för utmaningar, konstaterar Louise med viss eftertänksamhet.

Betyder lärarna något för yrkesvalet?

– Duktiga lärare generellt är viktiga för att inte tappa intresset som elev, menar Louise. På högstadiet hade jag turen att ha en mycket bra fysiklärare som det gick att fråga. Kunde läraren inte så tog han reda på svaret åt mig och återkom. Min nyfikenhet för fysiken hölls vid liv.

Vad vill du göra efter din postdoc?

– Jag gillar att jobba med människor i projekt och drömmer om att få vara en del av en framgångsrik forskargrupp. Även en fast tjänst som forskare är viktig, säger Louise innan vi skiljs åt efter en fika på ett av Stockholms ineställen.

FA önskar lycka till i London och i framtiden!

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT



Louise Anderson

- Ålder: 26 år (30/9). Uppvuxen på Öckerö i Göteborgs skärgård.
- Familj: pojkvän, föräldrar och yngre syster
- Utbildning: Grundskola åk1-9 på Öckerö samt en grannö, därefter på fastlandet. Gymnasium: Sigrid Rudebecks Gymnasieskola i Göteborg. Chalmers (2007-2015)
- Examina: Master vid Chalmers, Institutionen för fundamental fysik (2011)
Licentiatexamen vid Chalmers, Institutionen för fundamental fysik (januari 2014)
Doktorsexamen vid Chalmers, Institutionen för fundamental fysik (sept 2015)
- Svensk deltagare:
EUSO 2004 (<http://euso.se/>)
IPhO 2006, Fysikolympiaden i Singapore
- Stipendier: ERASMUS-student, Aberdeen, (2009-2010)
Besökte Nordita (våren 2014)
Doktorand vid Chalmers (nov 2011-sept 2015)
- Nuvarande jobb: Postdoc vid Imperial College, London (okt 2015)
- Fritidsintressen: Inredning och renovering, sömnad, träning, mode, design, shopping och lite av all-ätare. Nybliven båtägare.

Mörkret vid tidens ände. En bok om universums mörka sida.

Ulf Danielsson

Förlag: Fri Tanke

Utgivningsår: 2015

ISBN-13: 9789187513459

Utgivning: april 2015

Antal sidor: 187



Universums mörker eggar fantasin

Ulf Danielsson, professor i teoretisk fysik vid Uppsala universitet, är troligen känd för de flesta av Fysikaktuelltts läsare. Han är flitigt anlitad för populärvetenskapliga föreläsningar och i olika media för sina oftast kloka och genomtänkta kommentarer. Han har också genom böckerna "Stjärnor och äpplen som faller" (2003) och "Den bästa av alla världar" (2008) gjort sig ett namn som en av våra bästa populärvetenskapliga författare. Det är alltså med viss spänning jag börjar läsa hans nya bok "Mörkret vid tidens ände".

Prologen i boken introducerar läsaren till begreppet mörker – den motsats till ljus som fått så stor plats i den moderna kosmologin, med mörk materia och mörk energi som centrala begrepp. Författaren introducerar Olbers paradox – varför natthimlen är mörk. Om universum är oändligt stort och oändligt gam-

malt så borde det finnas oändligt många stjärnor, och i vilken riktning vi än tittar borde vår siktlinje träffa en stjärna. Alltså borde hela himlen vara lika ljus som ytan på vår närmaste stjärna, solen!

Som Danielsson påpekar är detta inte en paradox längre, eftersom förutsättningarna inte stämmer. Idag vet vi att det universum vi kan se inte är oändligt gammalt, utan har en ålder av 13,7 miljarder år (egentligen 13,8 enligt de senaste mätningarna). Vi kan då inte ta emot ljus som kommer längre bort ifrån än den sträcka ljuset har färdats sedan dess. I själva verket kan vi inte se hur universum såg ut de första 380 000 åren eftersom det då inte var genomskinligt, och det tog någon miljard år innan de första stjärnorna bildades. Det äldsta ljus som når oss är dessutom rödförskjutet till 1100 gånger längre våglängd än när det skickades ut, vilket gör det osynligt för våra ögon.

Danielsson tar oss med på en his-

nande resa ut i rymden där speciellt hans inledande upplevelse av att stirra ner i ett stort mörker i stället för upp när han ligger och betraktar stjärnhimlen en mörk augustinatt, eggar fantasin. Att inse att det inte finns något självklart "upp" eller "ner" i rymden gör oss mottagliga för det faktum att kosmologin kan innehålla saker som skenbart strider mot vårt vardagliga sätt att tänka.

I en genomgång av partikelfysikens standardmodell går det rasande fort när alla materiepartiklar, kraftförmedlare och subtila symmetrier går igenom. Ett intressant stopp blir det dock när Higgs-upptäckten beskrivs och när ett vad mellan Nobelpristagaren Frank Wilczek och neutrinofysikern Janet Conrad, i Uppsala 2005 presenteras – ett vad som involverade Nobelmedaljer i choklad och som Wilczek vann. Danielsson lättar också lite (men inte för mycket) på förlåten när Nobelpriset 2013 till Englert och Higgs kom till – han är ju ledamot av Kungliga Vetenskapsakademien och vet ju, men får behålla det hemligt i 50 år enligt Akademiens regler.

Det sägs att en bild säger mer än tusen ord, och boken illustreras av ett stort antal illustrationer. Det blir i och för sig lite knepigt att från bilderna förstå hur universums expansion fungerar, men med lite eftertanke fungerar det. Det sägs också att varje populärvetenskaplig bok tappar hälften av läsarna för varje matematisk formel. Och ibland anar man att författaren längtar efter att få ge formler när något beskrivs, som är lätt att formulera matematiskt men blir lite omständligt och faktiskt mer svårbegripligt med både vardagsord och bilder (t.ex. de "gauge-symmetrier" som ligger till grund för standardmodellen).

De stora okända bidragen till universums energitäthet, mörk materia och mörk energi, är förstås huvudaktörer i slutdelen av boken, där också de fascinerande svarta hålen berörs. Danielsson lyckas väl beskriva skillnaderna mellan mörk materia och mörk energi – den mörka materian skulle kunna vara okända, elektriskt neutrala, partiklar. Hypotetiska, supersymmetriska partiklar och de oerhört lätta axionerna är de två

slag som har dominerat forskningen under senare år. Den mörka energin däremot tycks inte kunna förklaras av någon enkel partikelegenskap, eftersom den dominerar i tomrummet mellan galaxer där ingen materia finns, och den ger ett negativt tryck – det enklaste exemplet är den kosmologiska konstant, "vakuumenergi", som Einstein införde (men sedan sägs ha ångrat). Den tycks faktiskt fungera, i och med att den får universums expansion att accelerera. Den har dock ett gigantiskt teoretiskt problem – det uppmätta värdet på konstanten är triljoner triljoner gånger mindre än vad som är "naturligt".

Detta är ett av fysikens största olösta mysterier. Den traditionella metoden att söka svar på frågan om det oerhört lilla värdet på vakuumenergin, är att säga att teorin inte är fullständig. När vi har hittat den "rätta" teorin – t.ex. någon variant av strängteorin som Danielssons mentor Héctor Rubinstein (som avled 2009) föreslog, kommer forskarna kanske säga "aha – så enkelt var det alltså!". Ett nytt,

omstritt, förhållningssätt är i stället att "ge upp" efter alla misslyckade försök att hitta denna nya fysik och hänvisa till en helt annan typ av förklaring – den antropiska principen: Om värdet vore mycket större än det uppmätta skulle universums expansion accelerera så snabbt att inga strukturer (galaxer, stjärnor och planeter) skulle ha hunnit bildas – och då skulle vi människor inte finnas till. Resonemanget fungerar visserligen, men saknar förstås förutsägelsekraft.

Varför finns överhuvudtaget ett universum med "lagom" värde på den kosmologiska konstanten? I sista kapitlet tar författaren ut svängarna med spekulationer om multiversum (som läsare av Max Tegmark känner igen). Vissa idéer om kosmologisk inflation säger nämligen att hela "universa" kan knoppas av från ett givet universum (t.ex. genom kvantmekaniska fluktuationer) och det skulle då inte bara finnas ett universum utan ett i praktiken oräkneligt antal, med olika värden på den kosmologiska konstanten. Då är det inte så orimligt att åtminstone

ett universum lämpligt för mänskligt liv finns. Danielssons kollega Tegmark laborerar med universa av olika nivåer: I, II, III och IV, där nivå IV består av matematiska strukturer. Danielsson lyckas t.o.m. bräcka detta, genom att införa en "nivå V" – världar som går utöver matematiken och är "otänkbart otänkbara". Jag tycker mig ana att Héctor Rubinstein vrider sig i sin himmel (kanske på nivå V, eller varför inte på en hittills okänd nivå VI? :-)).

Dessa spekulationer, gränsande till metafysik, har förstås en given plats vid middagsdiskussioner och liknande och kan därför försvaras i en bok för den naturvetenskapligt intresserade allmänheten.

Det är sammanfattningsvis en mycket intressant och faktafylld, om än bitvis lite krävande – och ibland spekulativ – bok Danielsson skrivit. Den kan varmt rekommenderas till Fysikaktuelltts läsare.

LARS BERGSTRÖM
PROFESSOR I TEORETISK FYSIK,
STOCKHOLMS UNIVERSITET



Fysik i Kungsan 2015

Här kommer fysiken till Kungsträdgården i Stockholm och många intresserade flanörer och spontanbesökare syntes under eftermiddagen i det vackra vädret. "Ljuset" var tema för årets "Fysik i Kungsan", som genomfördes den 5 september. Både små och stora barn hade roligt med spännande experiment och demonstra-



tioner. De riktigt små nöjde sig med att jaga såpbubblor.

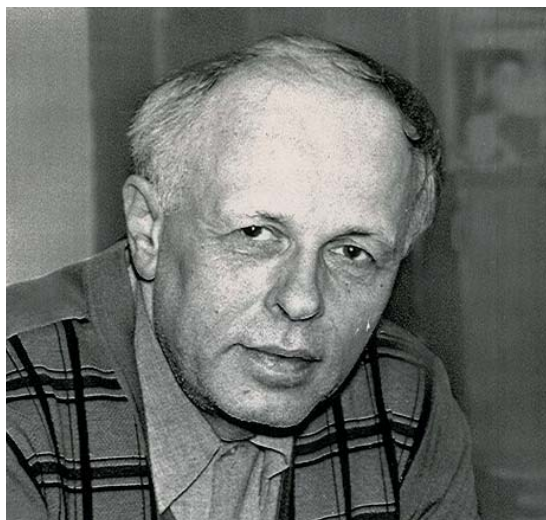
Arrangörer i samarbete: SU, KTH,

Nordita, Vetenskapens Hus, Oscar Klein Centrum, Albanova universitetscentrum och Rymdstyrelsen.

Andrej Sacharov

– fysiker och medmänniska

Andrej Sacharov (1921–1989) verkade under en turbulent period i forna Sovjetunionen. Här tecknar Lennart Stenflo ett personligt porträtt av en av 1900-talets mest framstående fysiker – en person som inte drog sig för att utmana makten.



När jag första gången träffade Andrej Sacharov – det var i samband med en plasmafysik-konferens år 1968 i Akademgorodok strax utanför Novosibirsk – var han mest känd bland allmänheten i Sovjetunionen som ”vätebombens fader”; för övrigt samma epitets som i USA också tillskrivs Edward Teller.

Det hade visat sig utomordentligt svårt att efterlikna solens energiproduktion där väteatomer slås samman för att bilda helium. Sacharov löste problemet genom att använda en vanlig atombomb (fissionsbomb) som ”tändare” i vätebomben (fusionsbomben) – en uppfinning som dock naturligtvis aldrig kunde belönas med nobelpriset eftersom Nobels testamente rekommenderar belöning till de upptäckter eller uppfinningar som ”...

hafva gjort menskligheten den största nytta”.

Sacharov insåg dock att en fungerande fusionsprocess också kunde utnyttjas för fredliga ändamål. Han föreslog (tillsammans med 1958 års nobelpristagare Igor Tamm) att plasmat skulle stängas in i en torusformad magnetfältsflaska – den så kallade Tokamaken. Under 1960-talet trodde vi plasmafysiker att denna konfigurations stabilitetsproblem borde kunna vara lösta inom ett par decennier. Men svårigheterna visade sig vara betydligt större än så. Idag riktas förhoppningarna främst mot den stora tokamak-anläggningen ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) i Frankrike. Lyckas man lösa problemen skulle detta förstås ha stor betydelse för framtidens

energiförsörjning – det skulle vara ”av största nytta för mänskligheten”. Sacharov – om han inte varit avliden – skulle då vara en given nobelpristagare.

Andrej Dmitrijevitj Sacharov föddes i Moskva år 1921. Hans far var fysiklärare och gav sonen en tidig studiestart. Sacharov hade en speciell egenhet: när han skrev komplicerade formler med höger hand på svarta tavlan kunde han samtidigt skriva andra formler med vänster hand. Under ledning av Igor Tamm skrev han tidigt många vetenskapliga artiklar. Men 1949 upphörde plötsligt all offentlig vetenskaplig produktion. Sacharov hade då förflyttats till den superhemliga forskningsanläggningen Arzamas-16 öster om Moskva.

Arbetet där stördes dock av vissa ideo-

logiska diskussioner. En medlem av vetenskapsakademien, A. A. Maximov, publicerade 1952 en artikel som med stöd av Lenins skrifter var starkt kritisk till relativitetsteorin och kvantmekaniken. Maximov anklagade Einstein, Bohr och Heisenberg för att ha "förstört fysiken". Redan då visade den unge Sacharov prov på stort mod. Tillsammans med bland andra Lev Landau och Igor Tamm skrev han ett brev till den oberäknelige och tyranniske NKVD-chefen Lavrentij Beria, som i detta fall dock tycks ha insett att han måste ställa sig på brevskrivarnas sida. Den ideologiska kampen avbröts.

Sacharovs regimmotstånd och engagemang för mänskliga rättigheter blev allt starkare med tiden. År 1968 publicerade han artikeln "Reflections on progress, peaceful coexistence and intellectual freedom". Därmed ansåg KGB att han var olämplig vid Arzamas-16. Sacharov förflyttades sålunda till Lebedev-institutet i Moskva där han i stället kunde ägna sig åt partikelfysik och kosmologi.

Det var i det sammanhanget jag träffade honom igen. Kungliga vetenskapsakademien hade slutit ett samarbetsavtal med Sovjetunionens vetenskapsakademi, och genom detta blev jag 1974 placerad som gästforskare vid just Lebedev-institutet. Jag tillhörde avdelningen för teoretisk fysik vars chef var Vitaly Ginzburg (som betydligt senare, år 2003, utsågs till nobelpristagare med motiveringen "för banbrytande insatser inom teorin för supraleddare och supravätskor"). Ginzburg intresserade sig, liksom jag själv, för jonosfärsplasmats egenskaper. Jag blev väl omhändertagen och via Ginzburg fick jag kontakt med flera regimkritiska fysiker i Sovjetunionen, bland dem alltså Andrej Sacharov.

År 1975 tilldelades Sacharov Nobels Fredspris för sina insatser för mänskliga rättigheter, något som gjorde Jurij Andropov, chef för KGB, utomordentlig upprörd. Redan året innan hade Andropov i ett brev till politbyrån skrivit (i engelsk översättning) "because Sakharov is in constant contact with foreigners we deem it useful to create a special commission to determine whether the information he

has obtained constitutes state secrets". En förtalskampanj mot Sacharov inleddes. KGB:s institutionsrepresentant försökte, utan större framgång, tvinga mina kolleger att skriva på en protestlista mot nobelpriset. Han antydde också sin oro över att Sacharov i framtiden även skulle kunna få Nobels fysikpris. (Jag satt ju inte i nobelkommitten på den tiden och kunde därför inte anklagas, och när jag långt senare (1999) blev invald hade Sacharov redan varit död under nästan tio år.)

I ett tidigare hemligstämplat brev till kommunistpartiets centralkommitté angav Andropov i oktober 1975 följande direktiv: "Direct the Central Committee's Department of science and educational institutions and Department of propaganda, in cooperation with the Presidium of the USSR Academy of sciences and prominent Soviet scientists, to prepare an open letter to be published in Izvestia condemning the action of the Nobel Committee in awarding the Peace Prize to a person who has embarked on the path of anticonstitutional and antisocial activity [...] The editorial board of the newspaper Trud should publish a satire portraying the award of the Nobel Peace Prize as reward from western reactionary circles for his continual slandering of the Soviet social and state order."

År 1976 slog Andropov slutligen i ett tal fast att Sacharov var "Sovjetunionens fiende nummer ett" och i januari 1980 förvisades han till staden Gorkij (nu Nizhny Novgorod).

I november 1982 dog Leonid Breznev, och Andropov tog genom en statskupp makten i hela Sovjetunionen. Nu kunde Andropov förfölja sina ideologiska motståndare på ett ännu effektivare sätt. Den kände psykiatriprofessorn Andrej Snezhnevsky hade uppfunnit den nya diagnosen "sluggish schizophrenia". De som led av denna åkomma hade ett onormalt stort intresse av att kämpa för sanning och rättvisa. Diagnosen var mycket användbar eftersom Andropov då inte behövde sätta sina politiska motståndare i fängelse. I stället kunde han med hjälp av "medicinsk expertis" placera de som

inte förstod kommunismens fördelar på sinnessjukhus. I ett annat tidigare hemligstämplat dokument fastslog Andropov att "Sacharov har patologiska drag som är vanligt i familjer med 'hereditary schizophrenia'".

Utvecklingen vände lyckligtvis i början av 1984 då Andropov dog och först ersattes av Tjernenko och ett år senare av Gorbatjov. Sacharov tilläts sålunda återvända till Moskva i december 1986. Hans behandling i Gorkij och hans hungerstrejker där hade tagit hårt på hans hälsa och han såg nu märkbart åldrad ut. Trots att han föreföll vara mycket trött, fortsatte han sitt arbete både vid Lebedev-institutet och i parlamentet. År 1989 dog han av en hjärtattack, endast 68 år gammal.

Sacharovs betydelse kan inte nog över-skattas. Vi minns honom som en av 1900-talets främsta fysiker. När tidningen Time år 1999 skulle utse århundradets viktigaste person nominerades huvudsakligen de mest välkända (inklusive de mest ökända) politikerna. Rysslands president Boris Jeltsin nominerade däremot Andrej Sacharov. Omröstningen slutade dock med att en annan vetenskapsman utsågs: Albert Einstein.

Jämförelser av detta slag är dock tämligen meningslösa. Jag tror att varje fysiker till slut inte först och främst vill bli ihågkommen för sina upptäckter eller uppfinningar, utan istället för hur hon eller han har uppskattats som människa. Låt mig avsluta med att citera en av mina ryska kolleger, som efter Sacharovs död karakteriserade honom med minnesorden:

*The majesty of his spirit
the power of his intellect
and the purity of his soul,
his chivalrous courage
and selfless kindness
feed my faith in the future
of Russia and mankind.*

LENNART STENFLO
PROFESSOR EM. I PLASMAFYSIK
UMEÅ UNIVERSITET OCH
LINKÖPINGS UNIVERSITET

BRONZE MEDAL

- Oliver Jin Wang (CAN)
- Stephen Liu (CAN)
- Bianca Ana-Maria Andrei (GBR)
- Ashot Artur Matevosyan (ARM)
- Tuomas Petteri Oikarinen (FIN)
- Martin Bajzek (HR)
- José Luis Gómez (ESP)
- Jesús Alejandro González Sánchez (MEX)
- Åke Andersson (SWE)
- Václav Mírsky (CZE)
- Mark Yuhai (UKR)
- Ali Veli (TUR)
- Artsiom Maksimovich Pivavarchyk (BLR)
- Jakub Dolný (CZE)
- Gleb Izitov (MDA)

Nya svenska framgångar i fysikolympiaden 2015

Den svenska utdelningen vid årets fysikolympiad blev en bronsmedalj genom Åke Andersson, Hvitfeldska gymnasiet i Göteborg och två hedersomnämnananden genom Peter Hallstadius och Ida Svenningson båda Katedralskolan i Lund. Detta är det bästa resultatet på många år. Dessutom var laget mycket jämnt, en trend som grundlagts med införandet av en finalvecka och träningshelger, något som blev möjligt tack vare sponsring av stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond.

Som vanligt var Finland bäst bland de nordiska länderna med fyra brons och ett hedersomnämnanande. Sverige var glädjande nog näst bäst eftersom Danmark fick nöja sig med ett brons och bara ett hedersomnämnanande. Estland tog hem en guldmedalj och en bronsmedalj och två hedersomnämnananden, som vanligt imponerande med tanke på folkmängden.

Segrade gjorde Taehyoung Kim från

Korea följt av två kineser. Bästa icke-asiatier var en ryss på 8:de och en rumän på 18:de plats. Kina blev bästa nation med fem guldmedaljer, följt utav Korea, Taiwan, Ryssland och USA alla med fyra guldmedaljer och en silvermedalj.

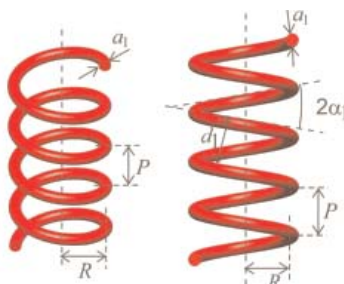
Årets fysikolympiad genomfördes i Mumbai 5–12 juni. Ett mycket väl planerat och väl genomfört arrangemang. Det enda som störde var den stundtals bristande respekten för klockslag. Bland de 84 länderna fanns glädjande nog representation från Egypten, Israel, Jordanien, Syrien, Turkiet, Saudiarabien och Iran, samt från Indiens ärkefiende Pakistan.

Runt omkring

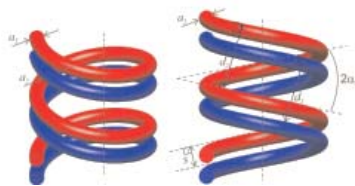
Indien har omkring 1,2 miljarder invånare varav drygt 20 miljoner i Mumbai med förstäder. Med tanke på alla kåkstäder och andra oordnade boendeformer är det sannolikt lättare att bestämma neutronmassan än att med hyfsad precision bestämma antalet invånare i Mumbai. Hyrorna är oväntat nära dubbelt så höga som i Stockholm för en motsvarande lägenhet. Det finns cirka 300 olika språk i Indien; hindi räknas som statsspråk, men även 21 andra språk (främst majoritetsspråken i delstaterna) har officiell status. I Mumbai är mycket skyltat på engelska, hindi och marathi.

Trafiken i Mumbai är ljudlig och smått kaotisk och nästan varje tom kvadratmeter fylls snabbt (horror vacui), speciellt av motordrivna rikshor (rickshaws). Dessa trehjulingar tar sig genom köerna oerhört smidigt och verkar ha en träffyta i klass med neutroner. De många invånarna lever tätt inpå varandra. Beteckningen bosoner, efter den indiske nobelpristagaren Satyendra Bose (uttalas bås) är därför mycket passande både på elementarpartiklar och på Mumbai-bornar. I Sverige håller vi gärna lite distans till våra medmänniskor och beter oss mer som fermioner, vilket tydligt märks i t.ex. en halvtom buss.

Utflykter erbjöds ledarna varje tävlingsdag (om de orkade upp efter den nattliga översättningen). Ena dagen en stadsrundtur med bl.a. heliga kor och i Sanjay Gandhis stadsnationalpark fanns gamla grottor och (påstods det) leopard. Den andra dagen fick vi besöka den mer än 100 år gamla Godrejs låsfabrik. Där gjordes mycket moderna elektroniska lås, men även traditionella låstyper, oftast hantverksmässigt, och fabriken kryllade därför av personal. Godrej värnade om sina anställdas hälsa och sociala villkor. Men hur ska de klara den annalkande automatiseringen? Vi lärde oss också att nycklarna görs först och därefter anpassas låsen.



Figur 1: Modell av den lilla (ca 2 mm diameter) spiralfjädern och dess projektion.



Figur 2: Modell av DNA-spiralen och dess projektion.



Figur 3: Den nära 3 m långa experimentuppställningen där den vita delen användes för diffraktionsmätningarna. Närmast syns det svarta vattentråget för vågalstring.

Uppgifterna

Uppgifterna var som vanligt krävande, om än inte fullt så svåra som de senaste åren. Dock lika omfattande och många tävlande hann inte färdigt.

I teoriuppgift 1 kallad "Partiklar från solen" användes en solcell för detektion, och med diverse data om sol och solcell efterfrågades siffrvärden på bland annat temperaturen på solens yta, totala effekten och antal fotoner som når solcellen, solcellens användbara effekt och verkningsgrad samt den längsta möjliga tid, som solen kan ha lyst om solstrålningen vore ett resultat av frigörandet av gravitationell (potentiell) energi under solens långsamma krympande.

Vidare behandlades solneutrinounderskottet, något som har gäckat forskarna sedan slutet av 1960-talet och som fick sin förklaring först 30 år senare. Fusion av fyra vätekärnor till helium står för neutrinoproduktionen och flödet av neutriner som når jorden söktes, och med kännedom om detektorns känslighet för solneutriner begärdes beräkningar av hur stor andel av det totala neutrinoflödet som kan detekteras. Likaså söktes den energi som neutrino överfört till elektronen som därvid bildar Čerenkovstrålning i kylvattnet, vilket krävde kunskaper om relativistisk mekanik.

I teoriuppgift 2 berördes extremprinciper och begreppet verkan introducerades. Sedan gavs uppgifter på minsta verkan inom mekanik, optik (Fermats princip) samt skulle de tävlande undersöka om Newtons andra lag och minsta verkans princip kan kombineras genom att identifiera vågnaturen hos partiklar i

rörelse med de Broglie-vågor.

Den tredje teoriuppgiften handlade om kärnkraftverk. Data hämtades från de två tungvattenmodererade tryckvattenreaktorerna i Tarapur på 540 MW. Först skulle den utvunna energin (Q-värdet) vid en fission beräknas och, givet neutronflux och träffyta, även den värme (Wm^{-3}) som frigörs. Likaså söktes bland annat styrtavarnas antal och temperatur, och slutligen skulle beräkningar göras för en kollision mellan en neutron och en deuteriumkärna, såväl i i lab-systemet som i masscentrumsystemet.

I den experimentella uppgiftens första del uppmärksammades strukturbestämningen av en DNA-dubbelspiral med hjälp av röntgendiffraktion. Den gjordes 1952 av Francis Crick och James Watson med hjälp diffraktionsdata från Rosalind Franklin. I sann dåtidsanda belönades endast de två herrarna med nobelpris.

Uppgiften var mycket intressant och innovativ och som uppvärmning skulle godstjocklek (a_2), radie (R), stigning (P) och stigningsvinkel (α_2) på en liten spiralfjäder bestämmas (se figur 1), och då räcker det med våglängder typ peklaser. Till hjälp gavs information om diffraktion och interferens i enkel- och dubbelspalt och att delarna i en projektion kan uppfattas som spalter (Babinets princip).

Dubbelspiralen representerades av en tvådimensionell projektion på en plastfilm. Här skulle strängarnas tjocklek (a_2), spiralens stigning (d_2) och stigningsvinkel (α_2) bestämmas samt strängarnas avstånd (s), se figur 2.

I den andra delen alstrade en vibrator

små vågor (kapillärsvågor) i ett vattentråg. Genom att belysa vågorna med laserljus med stor infallsvinkel fungerade dessa som ett reflexionsgitter, och resultatet registrerades med en fotodetektor. Ur diffraktionsmönstret skulle vattnets ytspänning och viskositet bestämmas. Lasern var fast monterad för att ge en lämplig infallsvinkel, och precis 500 ml vatten ur en plastflaska skulle hållas upp i vattentråget för att ge ett bra diffraktionsmönster. Det ryktades att en törstig tävlande drack upp vattnet istället för att hålla upp det i träget.

Allt detta krävde en stor uppställning (se figur 3) i 382 exemplar. Varje uppställning testades flera gånger och det tog hela tre dagar att montera alltihop. Många arbetstimmar torde det ha blivit.

Framtiden

Nästa års fysikolympiad anordnas 10 – 18 juli i Zürich och Schweizarna gjorde direkt succé när de efter prisceremonin sedvanligt presenterade nästkommande olympiad i en promotion-video, och top-pade med att bjuda alla dvs. tävlande, ledare, observatörer, guider, arrangörer samt några potentater på varsin chokladbit som de släpat med sig hemifrån.

BO SÖDERBERG,
LUNDS UNIVERSITET

MAX KESSELBERG,
STOCKHOLMS UNIVERSITET



På plats i Mumbai

Årets fysikolympiad i Mumbai, Indien blev en oförglömlig upplevelse för deltagarna. Kontrasten mellan människors levnadsvillkor och de stora välbevakade lyxhotellen var omöjlig att inte notera.

När vi besöker Mumbai har just monsunen tagit fart och temperaturen är mellan 30-35 grader dygnet runt och den rätt kraftiga blåsten känns varm och luftfuktigheten är nära 100 procent.

Trafiken i Mumbai är inte att leka med och måste upplevas på plats. När du skall transporteras bara några kilometer kan det ta en timme. Små trehjuliga rikshaws är populära. Det är vänstertrafik i Indien, ett arv från den engelska kolonialtiden, men det känns som att många tummar på detta. Det är ett ständigt tutande, man verkade ge olika signaler beroende av vad man planerade att göra.

En av våra svenska tävlande Ida Svenningsson från Lund berättar om trafiken.

”Det gällde att norpa platsen längst fram i bussen, spanna fast sig noga och

med tefatsögon bevittna Mumbais kaosartade trafik. Vi trängdes på gator som uppenbarligen fanns där men som sällan syntes på grund av trängsel. Alltihop i ett ständigt virrvarr där alla skulle åt olika håll men ingen tycktes krocka. Det var med skräckblandad fascination som vi såg det rörliga tetrismönstret slingra sig omkring oss”

Indierna är vänliga och mycket tillmötesgående och arrangemanget IPhO och alla volontärer som deltagit i genomförandet och förberedelserna är värda en stor olog.

Det sägs att alla blir magsjuka i Indien, men de svenska deltagare klarade sig bra. Tvärtom blev vi lite imponerade av att se den höga kompetensen som faktiskt fanns att tillgå av både kokkonst





och läkarkompetens. Dock räcker inte resurserna till alla och det stora antalet av människor som skall samsas på en liten yta ger samhället stora utmaningar.

När människor tvingas att bo tätt så kan det alltid bli konflikter och Mumbai var inget undantag. Vi hade ständiga säkerhetskontroller in och ut ur byggnader oavsett om det var lyxhotell eller en offentlig byggnad.

I årets fysikolympiad kunde man se att arrangörerna hade bjudit till för att det skulle bli det gränslösa arrangemang för fysikintresserade gymnasister som man önskade.

Ida berättar om tävlingen.

”Själva proven utfördes i små bås ca 4 kvm, där vi tillbringade totalt 10 timmar med att räkna, mäta och grubbla. Båsen

hade byggts upp i en stor gymnastikhall och förutom toalettvakten var det enda sällskapet under provtiden några fåglar som förde vilda diskussioner uppe vid takbjälkarna. Två femtimmarspass på olika dagar ägnades åt praktik respektive teori. Stämningen innan vi blev insläppta i båsen var på de flesta håll tryckt och nervös”.

”Lagen satt samlade i små öar. Vissa stressade sig igenom den sista repetitionen medan andra sov eller provade lite indisk meditation för att lugna sina nerver. När tävlingen väl hade börjat var det fullt fokus som gällde. Fem timmar låter som mycket tid men uppgifterna var många och kluriga, vilket medförde att få delta-gare hann med allt.”

Bilden ovan till vänster: Det svenska fysiklaget.

Fr. v: Christian Le, Axel Sundkvist, Ida Svenningsson, Åke Andersson och Peter Hallstadius.



Lux flux...

...förbjöds glödlampan. Denna fantastiska uppfinning som fick lysa upp vår tillvaro i drygt 130 år är nu utkonkurrerad av effektivare ljuskällor.

Glödlampan använder onödigt mycket energi, bara fem procent blir ljus, resten blir värme, (något vi dock har glädje av på vintern). EU-länderna beslutade gemensamt att stegvis fasa ut glödlampor via ekodesigndirektivet och energimärkningsdirektivet. Glödlampan började avvecklas i september 2009, då matta glödlampor och klara 100-wattslampor förbjöds och den 1 september 2012 förbjöds alla glödlampor (ej ugnslampor) i EU. Innan utfasningen av glödlampan började svarade belysningen för cirka 20 procent av hushållselen i Sverige, och hushållens elnota beräknades kunna minska med tio procent när utfasningen är helt genomförd 2020.



Vad ser vi egentligen?

Eftersom ögat inte uppfattar all strålning, dvs. strålningsflödet eller strålningsfluxen, inför man istället storheten ljusflöde eller ljusflux för den strålning som ögat uppfattar. Strålningsflödet mäts i watt (W) och ljusflödet i lumen (lm) och kvoten mellan dem blir ett mått på verkningsgraden (lm/W), som för glödlampan alltså är cirka fem procent.

I figur 1 visas känsligheten för ett standardöga. Den fotopiska kurvan (dagsseende) har maximum på 683 lm/W vid 555 nm och skotopiska kurvan (nattseende) har maximum på 1700 lm/W vid 507 nm. De två maximivärdena är valda för att jämk ihop de "objektiva" SI-enheterna med de gamla "ögonmätta" enheterna.

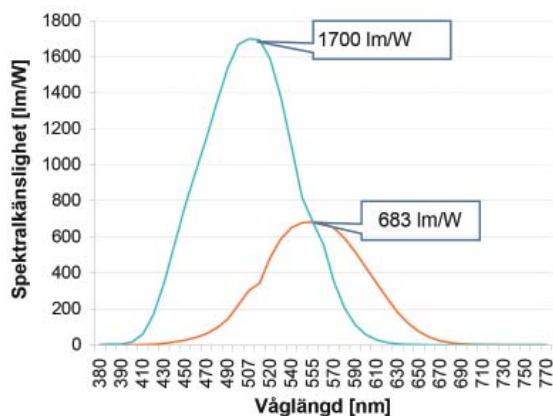
Storheter och enheter inom fotometrin

Styrkan hos en ljuskälla mäts i SI-enheten candela (cd). Historiskt härstammar en candela från ljusstyrkan hos ett stearinljus, som namnet antyder. Numera definieras 1 candela som *ljusstyrkan* i en given riktning från en källa som utsänder monokromatisk strålning med frekvensen $540 \cdot 10^{12}$ Hz (≈ 555 nm) och vars strålningsstyrka i denna riktning är 1/683 watt per rymdvinkelenhet (steradian).

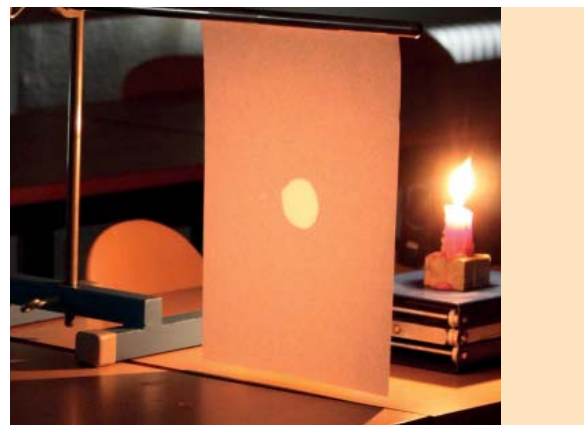
Lumen (lm) är enheten för *ljusflöde* och 1 lumen definieras som ljusflödet inom rymdvinkeln 1 steradian (sr) från en isotrop ljuskälla på 1 cd. Enheten lumen är alltså $\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$. Ljusflödet är konstant och oberoende av vinkeln på ljuskägla.

Belysningen, dvs. hur mycket en yta belyses, är ljusflöde per areaenhet. Enheten lux (lx) är således lm/m^2 . Belysningen beror på avstånd från ljuskällan och ljus-

Figur 1: Den fotopiska (röda) dagseendekurvan för ett standardöga som antogs av **Internationella belysningskommissionen**, CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) 1931 och den skotopiska (blå) nattseendekurvan som antogs 1951.



Figur 2: Till vänster är belysningen bakifrån störst och i mitten tvärtom. Till höger har avstånden anpassats så att belysningen från lampan och stearinljuset är lika och fettfläcken syns då inte.



käglans vinkel. Solljus kan ge flera 10 000 lx, medan månljus ger omkring 1 lx. Belysningen på ett skrivbord bör enligt Arbetsmiljöverket ligga på 500 lx.

Prova själv

Med hjälp av en enkel fettfläcksfotometer à la Bunsen kan belysningen från två ljuskällor jämföras. Hämta lite matolja och gör en cirka 5 cm fettfläck på ett vanligt A4-papper. Häng upp papperet vertikalt. Se figur 2. Prova sedan att variera avståndet mellan papperet, ett stearinljus och en lampa. Belysningen avtar med kvadraten på avståndet och med rätta avstånd tycks fettfläcken försvinna. Välj en lokal med liten allmänbelysning.

Det ljus som strålar ut eller reflekteras från en yta kallas *luminans* och mäts i candela per kvadratmeter (cd/m^2). Bildskärmar, TV-apparater, smarta mobiler strålar ut ljus och exempelvis en TV har en luminans på 300 – 500 cd/m^2 .

I affären

Förr valde man lampa efter antalet watt, dvs. måttet på energiförbrukningen. För de nya ljuskällorna anges istället det man har glädje av, nämligen ljusflödet uttryckt i lumen. I tabellen från Energimyndigheten listas ljusflödet i lumen som halogen-, lågenergi- och LED-lampor ska ge för att ge lika mycket ljus som glödlampor med olika märkeffekt gav. Halogenlamporna ligger i lägre delen av intervallen, lågenergi i mitten och LED i övre delen av intervallen.

Det är ändå belysningen (illuminan-

Glödlampans märkeffekt (W)	Ljusflöde (lm)
25	220 – 250
40	410 – 470
60	700 – 805
74	920 – 1055

Tabell: Energimyndigheten

sen) på det man vill se som avgör. 250 lumen, koncentrerade på en kvadratmeter, ger belysningen 250 lux. Samma 250 lumen, utspridda över 5 kvadratmeter, ger en belysning på 50 lux. För att få mer glädje av ljusflödet kan det riktas med lämplig armatur som har reflektor och/eller försättslins, typ bilstrålkastare, pannlampa, ficklampa etc. Man bör dock tänka på att ojämn belysning kan skapa stora kontraster mellan ljust och mörkt.

Färgtemperaturen, som brukar anges i kelvin (K), bestämmer ljusets karaktär och en låg färgtemperatur förknippas ofta med hög mysfaktor. En glödlampa har färgtemperaturen 2700 K, och dess ljus kallas varmvitt. En klädbutik bör nog välja minst 3500 K för god färgåtergivning och över 5300 K benämns dagsljus. Måttet på färgåtergivningen kallas *Ra*-värdet (*rendering average*) och anges på en skala 0 – 100. Glödlampan har 100, men de nya ljuskällorna hade förr ett spektrum som gjorde att färgerna inte återgavs särskilt bra. Numera är färgåtergivningen bättre, och sedan 2013 finns ett krav på minst *Ra* 80, ett värde som brukar anges på förpackningen.

I ögat

I ögat finns två typer av ljuskänsliga re-

ceptorer för seendet, tappar och stavar. Totalt finns omkring 130 miljoner receptorer varav omkring 7 miljoner är tappar. För att stimulera tapparna krävs luminanser över 3 cd/m^2 och tapparna återger både färger och detaljer. Stavarna uppfattar luminanser under 0,3 cd/m^2 , reagerar därför bra på små variationer i luminansen, men uppfattar färger och detaljer dåligt. Luminansintervallet 0,3 – 3 cd/m^2 kallas mesopiskt (skymningsseende) och då stimuleras både tappar och stavar. Purkinjeeffekten, att röda färger syns sämre i svag belysning, kan förstås med hjälp av figur 1, som visar att ögats känslighet går mot kortare våglängder när stavarna stimuleras. Detta tas hänsyn till exempelvis i flygplan och ubåtar, där displayer ofta har rött ljus för att inte påverka stavarna och därmed nattseendet.

Mesopisk belysning

Gatu- och vägbelysning ligger ofta inom det mesopiska området, men luxmetrar är normalt kalibrerade enligt dagseendekurvan i figur 1. Här finns potential att anpassa ljuskällornas karaktär för att även utnyttja stavarnas ljuskänslighet. Kan färgåtergivningen klaras med lägre luminanser fås en energibesparing. Extremfallet var det gula Na-ljuset för vägbelysning. Med sina 590 nm låg ljuset nära ögats känslighetsmaximum, och gav upp till 200 lm/W , men till priset av dålig färgåtergivning.

MAX KESSELBERG
 FYSIKUM
 STOCKHOLMS UNIVERSITET



JON



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2016

KVALIFICERINGSTÄVLING

28 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 $3 \times 5\,000$ kr	4:e pris $3 \times 2\,000$ kr
2:a pris $3 \times 4\,000$ kr	5:e pris $3 \times 1\,500$ kr
3:e pris $3 \times 3\,000$ kr	6:e – 10:e pris $3 \times 1\,000$ kr

Anmäl dig till din fysiklärare!

FYSIKVECKA OCH FINALTÄVLING

De 12–15 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och experimentell final under våren 2016 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Priser till alla finalister, från 1 000 kr till 7 000 kr!

Läs mer på www.fysikersamfundet.se/fysiktavlingen

Arrangör: Svenska Fysikersamfundet

Sponsor: Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

10–18 juli i Zürich, Schweiz

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!



Drickande fågel

När Albert Einstein besökte Shanghai 1922 fascinerades han av den "omätliga kinesiska pippin", men förstod inte riktigt hur den fungerade. Denna leksak, vanligen benämnd "drickande fågel", uppvisar en mängd intressanta fysikaliska fenomen. I figur 1 ser vi att fågeln huvudsakligen består av två kulor förenade med ett rör. Fågeln är vanligtvis delvis fylld med en vätska med låg kokpunkt, t ex fluortriklorometan (CCl_3F , även kallad freon 11) som har en kokpunkt på 24°C . Luften har evakuerats ur fågeln, så det finns endast ånga ovanför vätskan.

Fågeln är en värmemaskin som genomgår en termodynamisk cykel enligt figur 2. Betrakta fågeln upprätt med en våt näbb. Vatten förångas från näbben varför temperaturen sänks där och vätska kondenserar i den övre kulan. Detta leder till en trycksänkning i huvudet och vätska sugas därför upp i röret. Tyngdpunkten höjs och fågeln tipsar och väter sin näbb i vattenglasen. Den nedre rörmyningen kommer ovanför vätskeytan varför vätskan rinner tillbaka. Tryck och temperatur utjämnas genom röret. Fågeln återgår till vertikalläge och cykeln upprepas.

Det är möjligt att experimentellt bestämma fågelns effektivitet. Fågelns uträttade arbete kan fås från vätskehöjningen i röret och blir för 450 cykler 1,05 J. Den tillförda energin kommer från att ungefär 2 ml vatten förångas från näbben under de 450 cyklerna, vilket svarar mot 4572 J. Effektiviteten blir alltså:

$$\eta_{\text{fågel}} = 1,05/4572 = 0,00023$$

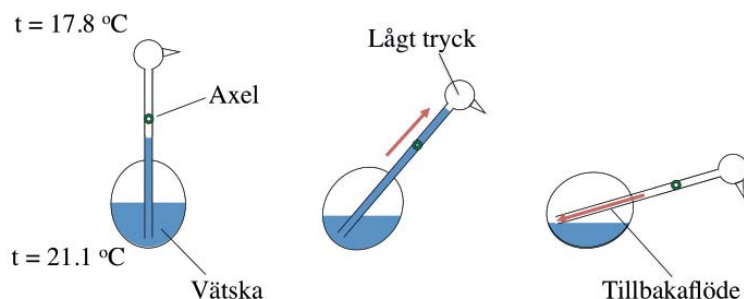
För en ideal värmemaskin (Carnot) fås effektiviteten från den relativa temperaturskillnaden på $3,3^\circ\text{C}$:

$$\eta_{\text{max}} = \Delta T/T = 3,3/294 = 0,011$$

Vi finner således att fågeln endast presterar: $\eta_{\text{fågel}}/\eta_{\text{max}} = 0,00023/0,011 \approx 2\%$ av vad som är teoretiskt möjligt.



Figur 1.



Figur 2: Termodynamisk cykel

Varför är fågeln en så ineffektiv maskin? För det första är den maximala temperaturskillnaden ΔT endast några få grader. För det andra strömmar varm luft upp genom röret i slutet av den beskrivna cykeln och därför utjämnas temperaturskillnaden. Nu kan Du fundera över hur Du enkelt (utan några ändringar på fågeln!) kan öka, respektive minska, effektiviteten. Pris väntar för bästa svar.

Fågeln kan användas för att studera termodynamik i undervisningen. Det kan ske genom kvalitativa diskussioner

av cykeln i figur 2 och experimentella ändringar i den omgivande miljön. Alternativt kan man utföra kvantitativa mätningar och räkningar enligt ovan. En omfattande teoretisk utredning finner Du i bland annat J. Güémez et al: Am. J. Phys., Vol. 71, No. 12, December 2003. Fågeln köper Du på nätet hos t ex CoolStuff.se under namnet "Drickande fågel".

PER-OLOF NILSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

AKUSTIK / VÅGRÖRELSELÄRA

Vågrörelseapparat - komplett

Från Lascelles kan vi nu erbjuda en ny, komplett och prisvärd vågtank MkIII för elevexperiment! Med denna kompakta enhet, kan eleverna enkelt ställa upp och göra experiment med vågfenomen såsom reflektion, diffraction, refraction och interferens.



PRIS: 2 535 kr art nr: XWV590012

Funktionsgenerator / Tongenerator 0–10 MHz

Kvalitetsinstrument från Frederiksens som är utvecklat för undervisning och har en mängd avancerade funktioner som underlättar användandet.



PRIS: 5 750 kr art nr: 250350

PASCO INTERFACE

Universal Interface 550

NYHET

- Uppkoppling trådlöst eller med USB.
- 1 MHz mätfrekvens.
- 2 st höghastighets analoga ingångar.
- 2 st digitala ingångar för fotodetektorer och andra tidmätningssensorer.
- 2 st PASCO PASPORT sensoringångar.
- Funktionsgenerator med inbyggda



KAMPANJPRIS: 5 995 kr art nr: UI-5001

PASCO Universal Interface 850

Det mest kraftfulla trådlösa interfacet för fysik! För gymnasiet och universitet. Med PASCO Capstone och Universal 850 interface är fysiklabbet utrustat med möjlighet för höghastighets mätdatainsamling, funktionsgenerator och spänningsaggregat, oscilloskop och FFT display, timers och mycket mer...



PRIS: 13 554 kr art nr: UI-5000

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

www.gamdata.se
info@gamdata.se

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

Webshop
www.gamdata.net