

# f Fysikaktuellt

NR 3 • SEPT 2018



ISSN 0283-9148

Nytt fönster mot  
universum

Sid 12

Vikten av ett  
nytt kilogram

Sid 16–17

Fysikolympiaden  
IPhO 2018  
i Lissabon

Sid 28–30

# 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](http://www.fysikersamfundet.se) för mer information.

## Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos. Redaktör är Sören Holst, [holst@fysik.su.se](mailto:holst@fysik.su.se).

## Fysikaktuellt

Fysikaktuellt utkommer med fyra nummer per år, och distribueras till samfundets medlemmar samt till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.

Redaktion: Margareta Kesselberg, samordning, Dan Kiselman, Johan Mauritsson och Elisabeth Rachlew. Ansvarig utgivare är Anne-Sofie Mårtensson.

Kontakta redaktionen via: [fysikaktuellt@fysikersamfundet.se](mailto:fysikaktuellt@fysikersamfundet.se)

För insänt, ej beställt material ansvaras ej.

Nästa nummer utkommer den 14/12.

## Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 800 individuella medlemmar samt stödjande medlemmar (företag och organisationer) och stödjande institutioner. Årsavgiften är 400 kr, dock 250 kr för pensionärer och forskarstuderande, samt 100 kr för grundutbildningsstudenter.

Stödjande medlemskap kostar 4000 kr per år.

Bli medlem genom ansökan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html> eller med qr-koden.



## Medlemsförmåner

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

**Omslag:** I världsarvsstaden Sintra i Portugal finns ett parkområde, Quinta da Regaleira. Bland alla märkliga byggnationer där finns "Initiation well", en plats för hemliga invigningsriter med två vattenkällor på botten. Den är drygt 25 m djup och ingångar finns längst ner via en tunnel, på mitten och högst upp.

Foto: Max Kesselberg

**Layout:** Göran Durgé

**Tryck:** Trydells, Laholm 2018

## Stödjande medlemmar

- Gammadata Instrument AB  
[www.gammadata.net](http://www.gammadata.net)
- Gleerups Utbildning AB  
[www.gleerups.se](http://www.gleerups.se)
- Laser 2000  
[www.laser2000.se](http://www.laser2000.se)
- Myfab  
[www.myfab.se](http://www.myfab.se)
- Scanditronix Magnet AB  
[www.scanditronix-magnet.se](http://www.scanditronix-magnet.se)

## Stödjande institutioner

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

Glöm inte att anmäla adressändring till [medlemsregistret@fysikersamfundet.se](mailto:medlemsregistret@fysikersamfundet.se)

## Innehåll

- 3 SIGNERAT  
*Johan Mauritsson*
- 4-5 AKTUELLT/NOTISER
- 6-7 NEUTRONSTJÄRNOR  
"NEUTRONSTJÄRNAN I SUPERNOVA 1987A"  
*Dennis Alp*
- 8-9 AVHANDLINGEN  
"PÅ JAKT EFTER HIGGSBOSONER"  
*Edvin Sidebo*
- 10-11 INTERVJU MED EDVIN SIDEBO  
*Margareta Kesselberg*
- 11 ANNONS  
*Natur&Kultur*
- 12-14 STUDIER AV RÖNTGENKÄLLOR I UNIVERSUM  
*Mark Pearce*
- 15 SI OCH SVERIGE  
*Göran Grimvall*
- 16-17 SI REVIDERING  
"VIKTEN AV ETT KILOGRAM"  
*Leslie Pendrill och Martin Zelan*
- 18-19 PROVA PÅ FORSKNING I PARTIKELFYSIK  
*Sektionen för partikelfysik*
- IYPT, LAGTÄVLING I FYSIK  
*Jakob Lavröd*
- 20-22 UNGA FYSIKER – MASTERSTUDENTER  
*Margareta Kesselberg*
- 23 SPELRECENSION  
"TANGLE MATH"  
*Johan Mauritsson och Ellen Mauritsson*
- 24-25 BOKRECENSION  
"KOSMOS 2017"  
*Ulf Danielsson*
- 26-27 VARDAGENS FYSIK  
"AC I SOMMARVÄRMEN"  
*Max Kesselberg*
- 28-30 FYSIKOLYMPIADEN 2018  
*Max Kesselberg och Bo Söderberg*
- 31 FYSIKALISKA LEKSAKER  
"ETT TIMGLAS TYNGD"  
*Per-Olof Nilsson*
- 32 ANNONS  
*Gammadata*



## Välkomna tillbaka efter en rekordvarm sommar

gemensamma klot och inse att det inte är ett problem som vi kan fortsätta att skjuta på framtiden.

Grillningsförbudet drabbade många semesterfirare, men ledde också till en ökad förståelse för de akuta brandproblemen på flera håll i Sverige (och även resten av norra halvklotet). Förhoppningsvis ledde det också till en önskan att långsiktigt tackla de problem som vi redan nu möter. Med nästa nummer av Fysikaktuellt medföljer årets upplaga av Kosmos, som passande nog handlar om just planeten Jorden och tar upp flera olika aspekter, som kan intressera en fysiker, av de utmaningar vi står inför.

Om den varma sommaren gjorde mig lite nedstämd och grubblande så har tillströmningen av nya studenter gett mig hoppet åter och gör att jag är optimistisk för framtiden. Fysiker och ingenjörer är fantastiska problemlösare som med rätt motivation och finansiering kan lösa vilka problem som helst! Jag är övertygad om att våra nya svenska fysiker och ingenjörer kommer att vara en betydande del av lösningen på världens problem – välkomna!

Vilken härlig sommar! Jag hoppas att ni har haft tid att njuta av solen och välförtjänt kopplat av och laddat batterierna. Efter ett händelserikt och för många omtumlande år kan det vara skönt att ägna sig åt andra saker några veckor för att pigga och utvilad komma tillbaka och ta nya tag. För några av er är det här det första numret av Fysikaktuellt som ni håller i er hand, ni har kanske nyligen börjat på någon av våra fysikutbildningar eller ingenjörsutbildningarna med inriktning mot fysik. I så fall vill jag hälsa er extra välkomna och lyckönska er till ett mycket bra val!

Ni är verkligen varmt välkomna – vi behöver er! Dels som medlemmar i Svenska Fysikersamfundet, men framförallt som nyfikna fysiker med en framtidstro och vilja att lösa några av alla de utmaningar vi nu står inför. För nog är det så att jag, blandat med eufori över en riktigt varm och solig sommar i Sverige, inte är ensam om att någonstans känna en liten, gnagande oro – en oro över att något håller på att gå väldigt fel och att vi inte gör tillräckligt för att undvika katastrofen. Den onormalt höga sommarvärmerna och torkan har fått många av oss att fundera på vad vi egentligen gör med vårt

JOHAN MAURITSSON  
VICE ORDFÖRANDE

## Välkommen till Svenska fysikersamfundets årsmöte!

Även i år har vi årsmöte i Svenska Fysikersamfundet under Lise Meitnerdagarna. Välkommen till sal FA32 på Albanova i Stockholm fredagen den 16 november kl 12.00. Vi bjuder på enkla lunch om du anmäler deltagande till vår sekreterare Joakim Cederkäll (joakim.cederkall@nuclear.lu.se) senast den 12 november.

Dagordningsförslag och verksamhetsberättelse läggs ut på <http://www.fysikersamfundet.se/arsmote/>

Observera att val av styrelse och revisorer för mandatperioden 2019-21 är frikopplat från årsmötet och sker genom poströstning.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON,  
ORDFÖRANDE

## Valberedningens förslag

till ny styrelse finns på sidan: <http://www.fysikersamfundet.se/valberedningens-forslag-for-perioden-2019-21/>

Samfundets medlemmar kan enligt stadgarna ”inkomma med kompletterande förslag”. Förslagsställarna skall därvid förvissa sig om att föreslagen kandidat är villig att åta sig uppdraget. Valbara är medlemmar i Samfundet.



Hans Jordens Rajdeep Singh Rawat

## Ny IPhO-president vald

Hans Jordens, professor från Nederländerna och IPhO-president under maximala två valperioder, avgick under den 49:e internationella fysikolympiaden i Lissabon och ny president valdes. Hans

## Mot laserkyld antimateria

I en artikel i Nature rapporterar ALPHA experimentet på CERN att de har lyckats excitera 1s-2p övergången i antiväte. Tidigare har även energin hos 1s-2s övergången uppmätts, en mätning som används till att testa materia-antimateria symmetrier genom att jämföra med resultat för vanligt väte. En relativ precision på  $2 \cdot 10^{-12}$  har uppnåtts i antiväte (vanligt väte är känt ungefär 500 gånger mer noggrant).

Den övergång som nu studerats har en liknande excitationenergi (10,2 eV), men mätningen är betydligt mer komplicerad på grund av att en foton måste bära med sig hela energin (då 1s-2s övergången exciteras tar två fotoner med sig halva energin var). Då det är mycket svårt

att konstruera en laser med tillräckligt hög frekvens är 1s-2p övergången svår att studera även i vanligt väte. Den har heller inte förutsättningar att ge lika noggranna resultat. Däremot kan denna övergång användas till att laserkyla antiatomerna. Kallare atomer kommer att ge mer precisa 1s-2s mätningar. Bakom framstegen ligger nya tekniker som gör att 100-tals antiväte-atomer kan fångas samtidigt, och hållas kvar under flera timmar. Mer detaljer från CERNs hemsida (med länkar till artiklar): <https://home.cern/about/updates/2018/08/alpha-experiment-takes-antimatter-new-level>

SVANTE JONSELL

## Nordic Network for Diversity in Physics

Med finansiering från Nordforsk har nätverket Nordic Network for Diversity in Physics, NORNDIP, bildats bestående av kvinnliga fysiker från Danmark, Finland, Norge och Sverige. Syftet med nätverket är att skapa kontakter med kvinnliga fysiker i våra grannländer, öka synligheten av dessa kvinnliga fysiker och att visa att fysikens forskningsområden tyvärr ännu inte är könsneutralt. Nätverket hade en första träff i Stockholm under april 2018. I detta nätverk deltog styrelsen för sektionen Kvinnor i fysik. Den 24-25 oktober 2018 kommer NORNDIP arrangera en tvådagars konferens i Stockholm på Albanova universitetscentrum. Konferensen riktar sig till nordiska fysiker som vill diskutera spännande fysik och kvinnors situation inom fysiken. Representanter

från nordiska forskningsråd är inbjudna för att diskutera dessa aspekter liksom representanter från projekten JUNO och Athena SWAN. Dessa projekt verkar i Storbritannien för att granska och belöna de institutioner och organisationer som eftersträvar lika villkor inom fysik och vetenskap. Dessutom är framstående kvinnliga fysiker inbjudna för att berätta om sin forskning. Mer information om NORNDIP-nätverket liksom program för konferensen och länk till anmälan finns här: <https://norndip.com>

Styrelsen för Sektion Kvinnor i fysik består av Jenny Lundén (ordförande), Carol Norberg (ordförande), Donatella Puglisi, Barbro Åsman och Åsa Larson.

SEKTIONEN KVINNOR FÖR FYSIK

Jordens har varit speciellt framgångsrik på att bygga broar mellan länder och folk.

Det var dock med en viss lättnad som han lämnade över till professor Rajdeep Singh Rawat från Nanyang Technological University (NTU) Singapore, som valdes med stor majoritet till ny president. Det fanns fem personer nominerade, alla med

mycket bred kompetens och erfarenhet.

Rawat har sin akademiska utbildning från Indien och även undervisat vid University of Delhi. Det som troligen avgjorde att Rajdeep Singh Rawat blev vald i slutomröstningen var hans framtidsvisioner och brinnande intresse att utveckla verksamheten.

## Dubbelt svenskt silver på Europeiska fysikolympiaden



Adam Warnerbring från S:t Petri i Malmö och Björn Magnusson från Katedralskolan i Lund kom båda på silverplats när Europeiska fysikolympiaden (EuPhO) avgjordes på Moscow Institute of Physics and Technology i Dolgoprudny utanför Moskva i början av juni. Dessutom fick David Hambraeus från Lugnetgymnasiet i Falun en bronsmedalj och Teodor Bucht från Malmö Borgarskola ett hedersomnämmande i den mycket tuffa konkurrensen.

Trots att det i år bara är andra gången som en särskild europeisk fysikolympiad arrangeras så har tävlingen hunnit växa till sig ordentligt: 23 länder och 115 tävlande deltog i årets olympiad. Precis som på Internationella fysikolympiaden (IPhO) gäller det att lösa experimentella uppgifter under en tävlingsdag, och teoretiska under en annan. Totalsegraren Richard Luhtaru från Estland, nådde bara upp till 31,1 poäng av 50 möjliga, men så låg också svårighetsnivån ett snäpp högre upp än vad tävlingskommittén hade förutspått. Prova gärna själv att ta itu med den av de tre teoriuppgifterna som var tänkt att vara enklast att lösa:

*Tre identiska små bollar (kallade A, B och C) med massan m är förbundna med två masslösa stänger med längden l på så sätt att en av dem binder samman A och B, medan den andra binder samman B och C. Stängerna kan vridas friktionsfritt vid B så att vinkeln mellan stängerna kan ha vilket värde som helst. Från början är systemet i vila i tyngdlöst tillstånd med alla bollarna på en rät linje. Bollen A ges sedan en knuff så att den omedelbart får en hastighet vin-*

*Hela svenska laget på plats i Dolgoprudny. Från vänster: Adam Warnerbring, David Hambraeus, Teodor Bucht, Björn Magnusson och Samuel Andersson. Foto Max Kesselberg.*

*kelrät mot stängerna. Bestäm det minsta avståndet d mellan A och C efter det att A satts i rörelse. Bortse från friktion.*

I den andra teoriuppgiften gällde det att beräkna hur stor strömmen genom en termiskt isolerad spole behöver vara för att vattnet i ett inneslutet provrör ska börja koka (över 4 000 ampere...), medan man i den tredje skulle undersöka facetformen hos kristaller. I den experimentella uppgiften fick de tävlande använda listig, specialbyggd utrustning för att bland annat undersöka diffusion via kanaler i ett aluminiumoxidmembran. Tävlingsuppgifterna i sin helhet, liksom lösningsförslag och resultatlista, finns här: <http://eupho2018.mipt.ru>.

Nästa års EuPhO arrangeras i Riga i Lettland, och det är då, precis som i år, de fem elever som placerar sig bäst i uttagningstävlingen till Wallenbergs fysikpris som erbjuds att representera Sverige.

Stort grattis till de fina placeringarna och ett stort och varmt tack till alla som hjälpt till på vägen: Fysiklärare, organisatörer och finansierare av Wallenbergs fysikpris, samt fysikinstitutionerna vid Chalmers och Göteborgs universitet som arrangerar träningen under Fysikveckan.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON  
OCH MAX KESSELBERG,  
LAGLEDARE UNDER EUPHO

## Kalendarium

Lise Meitnerdagarna  
16-18 november 2018  
Albanova, Stockholm. Läs mer:  
[www.lisemeitnerdagarna.se](http://www.lisemeitnerdagarna.se)

Julföreläsning 5 dec  
<https://www.fysik.su.se/julforelasning>

## Höstmöte

I samband med Lise Meitnerdagarna håller undervisningssektionen Höstmöte

Fredag 16/11 kl 9.45 –  
lördag 17/11 13.00  
Albanova Stockholm

### Preliminärt program:

Fredagen fram till kl 15 ämnesföreläsningar och därefter workshops. På lördagen blir det fysikdidaktik och workshops.

### Pris:

Gratis för medlemmar, övriga 200 kr

Precis som förra året finns det möjlighet att söka rese- och boendebidrag för att kunna vara med på dagarna.

Mötet möjliggörs med hjälp av medel från stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond.

Boka in dagarna i almanackan!  
Se vidare på [www.fysikersamfundet.se](http://www.fysikersamfundet.se)

Varmt välkomna önskar  
Svenska Fysikersamfundet  
Undervisningssektionens styrelse

# Sökandet efter neutronstjärnan i Supernova 1987A

Stjärnor som har massor åtta gånger större än solen eller mer avslutar sina liv i form av kolossala explosioner som kallas supernovor. Detta inträffar då fusionsbränslet i stjärnans kärna tar slut, vilket leder till att kärnan kollapsar samtidigt som manteln slungas iväg i tusentals kilometer per sekund. Det som blir kvar av den kollapsade kärnan är antingen en neutronstjärna eller ett svart hål. Materialet som slungas iväg innehåller förhållandevis höga halter av tyngre grundämnen och utgör byggstenarna för nästa generations stjärnor och planeter.

## SN 1987A

Den 23:e februari 1987 observerades en supernova i det Stora Magellanska Molnet. Eftersom det var den första supernovan som observerades det året kallas den SN 1987A. Det är den närmsta observerade supernovan på över 300 år och då den var som ljusstarkast kunde den ses med blotta ögat trots att den är belägen mer än 160 000 ljusår från jorden. Astronomer har studerat SN 1987A i över 30 år och gjort många spännande upptäckter. Neutriner detekterades från själva explosionen flera timmar innan ljuset nådde jorden eftersom ljuset först måste tränga igenom stjärnans täta material, vilket tar längre tid än för neutrinerna. Man har skapat 3D-bilder av materialet som kastats ut av explosionen där man kan se att explosionen var kraftigt asymmetrisk. Observationer har också visat att upp till en solmassa av stoft kan ha bildats i resterna av supernovan vilket innebär att supernovor skulle vara en av de dominerande källorna till stoft i universum. Stoft är det man ofta ser i form av mörka filament i armarna av spiralgalaxer.

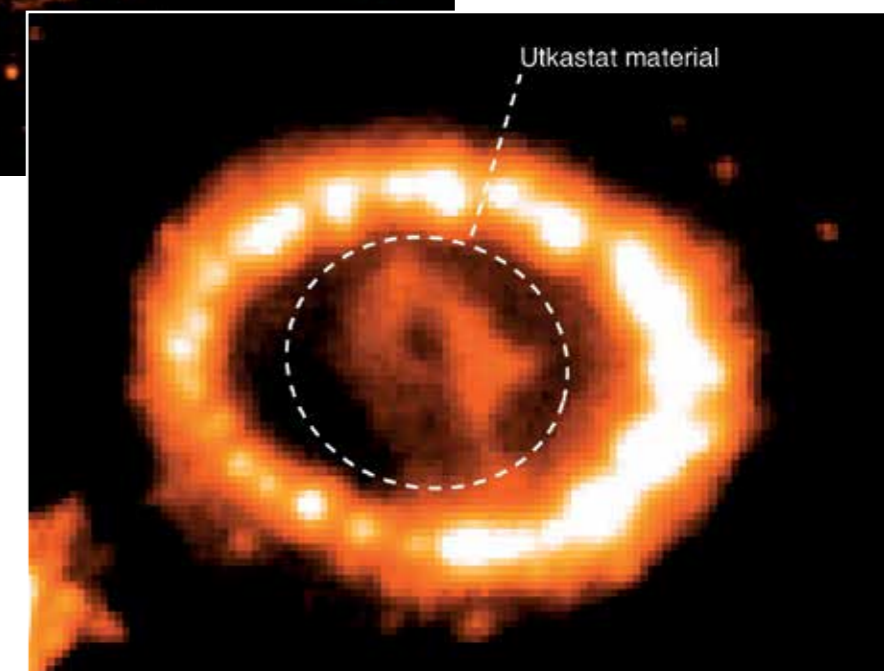
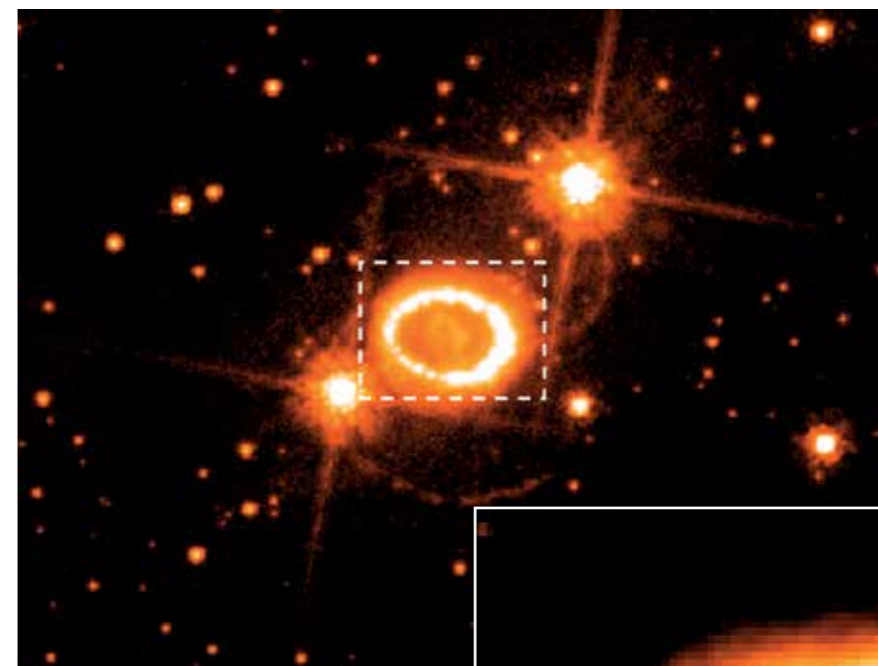
## Neutronstjärnor

Om de ledande teorierna stämmer så ska det finnas en neutronstjärna i mitten av SN 1987A. En neutronstjärna är det sista steget innan fullständig kollaps till ett svart hål. Den är ungefär 20 km i diameter men har en massa som är mellan en och två gånger solens massa. Om man komprimerade hela Mount Everest till samma densitet så skulle allt få plats i en sockerbit. Trots neutronstjärnors storlek så är det inte ovanligt att de roterar med en hastighet av flera varv per sekund och de kan ha magnetfält som är betydligt mer än en miljard gånger starkare än jordens. Temperaturer på ytan av unga neutronstjärnor förväntas vara några miljoner grader Celsius. En så extrem temperatur resulterar i att den termiska strålningen emitteras i form av röntgenstrålning. Det kan jämföras med temperaturen på solens yta som är ungefär 5500 grader Celsius och ett spektrum som toppar i den synliga delen av spektrumet. Att kunna observera neutronstjärnan i SN 1987A och mäta dess egenskaper skulle vara mycket värdefullt för forskningen om både supernovor och neutronstjärnor.

## Vad vet vi om neutronstjärnan?

Problemet är att neutronstjärnan i SN 1987A inte har observerats, men även utan att ha direkt detekterat neutronstjärnan finns det mycket vi kan säga om den. Med hjälp av observationer från några av de mest avancerade teleskopen har vi arbetat för att få en så fullständig bild som möjligt av SN 1987A och neutronstjärnans egenskaper. De mest relevanta observationerna kommer från radioteleskopet ALMA i chilenska höglandet som är känsligt för fotoner med en våglängd på ungefär 1 mm, rymdteleskopet Hubble som tar bilder i synligt ljus, och röntgenteleskopet Chandra. Med hjälp av de nya observationerna har vi kunnat sätta begränsningar på olika egenskaper av neutronstjärnan.

Det mest intressanta resultatet får man då man kombinerar informationen från samtliga observationer. Vi förväntar oss att den primära strålningen från neutronstjärnans yta ska domineras av röntgen. Att vi inte ser några spår av neutronstjärnan i röntgenobservationerna är inte oväntat eftersom absorptionen vid dessa energier är väldigt hög. Det som absorbe-



Bilder: NASA/ESA/HST

rar röntgenstrålningen är materialet som slungats ut av supernovan. Energierna hos röntgenfotonerna är tillräckliga för att fotojonisera gasen, vilket gör att de snabbt absorberas. Noggranna uppskattningar av absorptionen har gjorts med hjälp av 3D datorsimuleringar av supernova explosioner och efterföljande expansion av materialet.

Energien från röntgenfotonerna som absorberas av gasen måste på något sätt processeras till någon annan form av energi. En del av den energin kommer att emitteras i form av synligt ljus. Det material som slungats ut av supernovan i form av gas är förhållandevis transparent för synligt ljus, men det stoft som bildats i supernovaresterna absorberar effektivt synligt ljus. Observera skillnaden mellan gas och stoft. Stoftabsorptionen kan liknas vid siktösmörningen då en bil river upp damm längs en grusväg. I vanliga fall kan man se tiotals kilometer genom luft (gas), men så fort dammpartiklar (stoft) från en grusväg blandats med luften försmöras sikten kraftigt.

Det innebär att röntgenstrålningen från supernovan först absorberas av gasen, återemitteras i optiskt, och sedan absorberas igen av stoftet. Återigen kan man då konstatera att den energin som absorberas av stoftet måste lämna sys-

temet på något sätt. Det som händer är att fotonerna som absorberas av stoftet värmer stoftet, som i sin tur förlorar energin i form av värmestrålning. Värmestrålningen från stoftet har en våglängd på knappt en millimeter eftersom temperaturen är ett tiotal till hundra kelvin. Dessa fotoner lämnar slutligen systemet och kan observeras på jorden.

Den bild som beskrivits ovan är bara en av många hypoteser om neutronstjärnan i SN 1987A. Om den stämmer så är det möjligt att man indirekt kan observera neutronstjärnans existens genom att studera stoftemissionen med radiotele-

Bild av SN 1987A tagen av Hubble Space Telescope från 2016. Den vänstra panelen visar supernovan och de tre ringarna som omger supernovan (två är mycket ljussvagare). Ringarna består främst av material som slungats ut av stjärnan innan den exploderade. Alla andra prickar i bilden är stjärnor som projiceras intill SN 1987A. Den vita rektangeln visar förstora panelen nere till höger. Precis i mitten förväntar man sig att neutronstjärnan ska finnas.

DENNIS ALP  
INSTITUTIONEN  
FÖR FYSIK, KTH

# På jakt efter Higgsbosoner

Tänk dig att du är en proton i en väteatom. Du och din elektronpartner lever ett stillsamt liv och trivs bra med det. Men plötsligt upplöses förhållandet, din elektron slits ifrån dig. Du slungas iväg, accelererar på raksträckor och håller på att kråkas i skarpa kurvor. Vad sker? Du färdas i ett litet moln med 100 miljarder andra protoner. Tillsammans väger ni mindre än en bakterie men har en energi motsvarande en person som färdas på Autobahn. Likadana moln färdas tätt framför och bakom er – på denna motorväg är avståndet till närmsta fordon bara 7,5 meter trots att hastigheten är nära ljusets. Vart är ni på väg? Du märker att ni var 90:e mikrosekund passerar en enorm detektor – ni färdas tydligen i en cirkel. Vid varje passage hörs 40 vrål, och ni blir några färre. Paniken tar vid när det blir uppenbart vilket som blir ditt öde. Du drar ditt sista andetag innan frontalkrocken med en annan proton är ett faktum.

Dessa kollisioner utgör stoffet till min avhandling, där jag med hjälp av dem studerar Higgspartikeln. Kollisionerna skapas av Large Hadron Collider, världens kraftfullaste partikelaccelerator belägen 100 m under jord, vid partikelfysiklaboratoriet CERN utanför Geneve. Protoner accelereras genom en 27 km lång tunnel och kollideras 40 miljoner gånger per sekund. Detta är ett, till synes infantilt

## Edvin Sidebo

- Disputation: 2018-09-28
- Titel: Measurements of the Standard Model Higgs boson cross sections in the  $WW^*$  decay mode with the ATLAS experiment ISBN 978-91-7729-923-3 TRITA-SCI-FOU 2018:35
- Länk till avhandlingen: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1244395/FULLTEXT01.pdf>
- Opponent: Markus Klute, Associate Professor, Department of Physics, MIT, USA
- Handledare: Jonas Strandberg, KTH, Skolan för teknikvetenskap (SCI), Fysik, Partikel- och astro-partikelfysik.

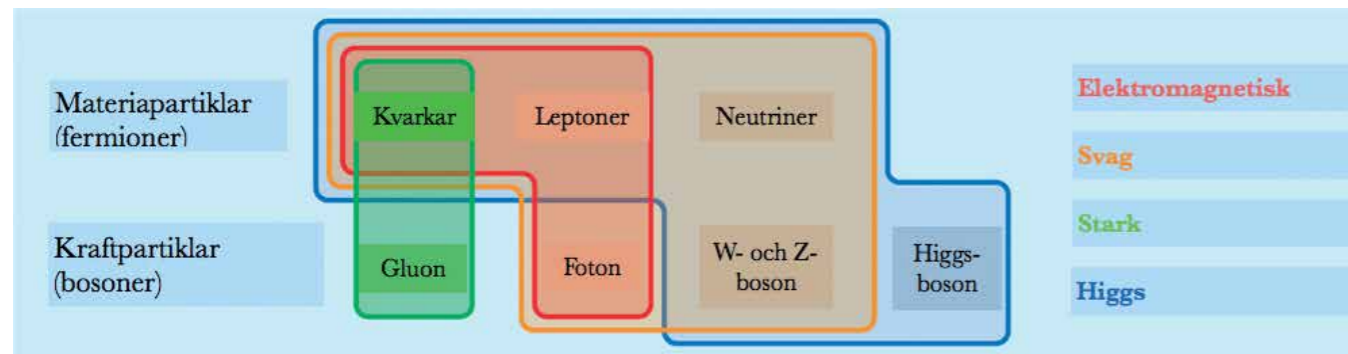
men samtidigt självklart, sätt att studera materians innersta – slå sönder den i dess beståndsdelar. Men vad sker egentligen i en protonkollision? Klassisk fysik antyder som sagt att protonen går i bitar. Gott så – protonerna är inte elementära och kommer således att slitas sönder. Klassisk fysik duger dock inte till att beskriva verkligheten när avstånden är för små eller hastigheterna för höga. Kvantfältteorin beskriver istället hur nya partiklar, som inte är beståndsdelar i protonen, kan skapas ur energin i kollisionen. Magiskt, inte sant?

En möjlighet är skapandet av en Higgspartikel. Denna boson upp-

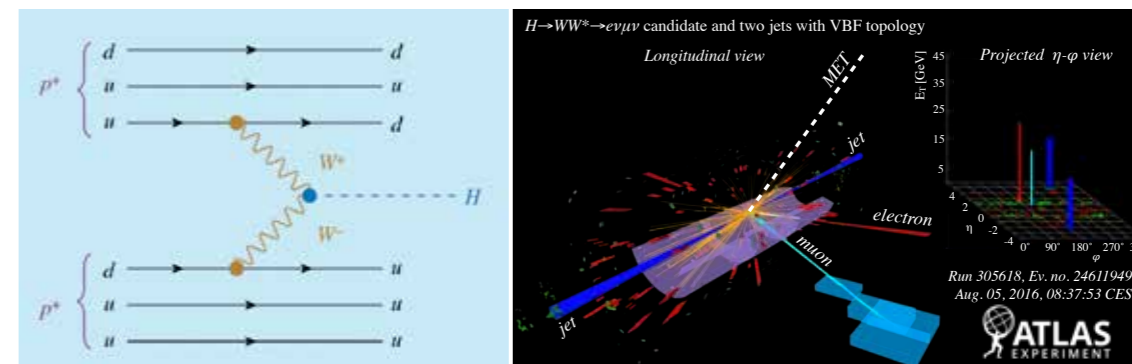
täcktes 2012 och teorin bakom belönades med Nobelpris året efter (se FA 2013 nr 4). Partikeln är det senaste tillskottet till Standardmodellen, ramverket som formaliserar partikelfysiken, se figur 1. I denna teori finns fyra sorters växelverkan mellan partiklar, dessa har markerats med olika färger. Tre av dessa är den elektromagnetiska kraften och den svaga och starka kärnkraften. Den fjärde är växelverkan med Higgspartikeln, markerad med blått, som ger upphov till partiklars massa.

Sannolikheten att producera en Higgsboson i protonkollisionerna är dock låg, drygt en på tio miljarder. Detta är en av förklaringarna till att det tog lång tid att hitta denna partikel, det behövs många kollisioner för att ha tillräckligt många Higgsbosoner i sin datamängd. Man måste också ha tillräckligt hög kollisionens energi – i krocken omvandlas kinetisk energi till massa enligt Einsteins formel  $E=mc^2$ . Om en så ung partikel vet vi ännu inte mycket. Hittills betar den sig så som teorin förutsäger, men precisionen är ännu låg. Kanske kan mer noggranna mätningar visa på små avvikelser från vad teorin förutspår, något som i sin tur skulle kunna betyda att Standardmodellen måste utökas med ytterligare nya partiklar.

Higgspartiklar kan alltså skapas, men de är instabila och kommer omedelbart



Figur 1. De olika partiklarna och deras växelverkan (markerad med olika färger) i Standardmodellen.



Figur 2. Vänster: Diagram för produktion av en Higgsboson ( $H$ ) via två  $W$ -bosoner, som strålar från varsin kvark i de kolliderande protonerna. Höger: detektorvy av en händelse som kan innehålla en Higgsboson som producerats enligt vänstra figuren, och sönderfallit till ett par av  $W$ -bosoner.

att sönderfalla. Så hur kan de mätas? Det handlar om att mäta deras sönderfallsprodukter, något ATLAS-detektorn är konstruerad för att göra. Den omsluter kollisionspunkten och mäter noggrant de hundratals partiklar som skapas i protonkollisionerna. Detektorn tar en högupplöst bild varje gång två protonmoln passerar igenom varandra (var 25:e nanosekund!), och denna bild kallas för en "händelse". Ett triggersystem tar ett snabbt beslut om händelsen är intressant, och är den det sparas den på disk. Sedan tar dataanalysen vid. Det gäller att zooma in på det hörn av datamängden där koncentrationen av händelser med Higgsbosoner är som högst. Var detta hörn finns, bestäms av hur Higgsbosonen sönderfaller (se tabell 1). I min avhandling studerar jag sönderfallet till ett par av  $W$ -bosoner, vilket sker i 21 % av fallen. Dessa  $W$ -bosoner sönderfaller också, och genom att fokusera på deras leptoniska sönderfall, närmare bestämt till elektroner, myoner och neutriner, fås en speciell signatur att filtrera på i data. Att just kräva elektroner och myoner i händelserna är ett bra sätt att filtrera bort bakgrundsprocesser, och denna teknik används flitigt i olika ATLAS-analyser.

Sönderfallskanal	Frekvens [%]
Higgs $\rightarrow$ bottenkvark-par	58
Higgs $\rightarrow$ charmkvark-par	3
Higgs $\rightarrow W^*W$	21
Higgs $\rightarrow$ tau-leptoner	6
Higgs $\rightarrow$ gluoner	8
Higgs $\rightarrow$ myoner	0,02
Higgs $\rightarrow$ annat	3

Tabell 1. Relativ frekvens av Higgsbosonens olika sönderfall.

Den filtrerade datamängden innehåller dock inte bara Higgs  $\rightarrow W^*W$ -händelser. Dessvärre finns det andra processer som har en likadan signatur. Därför måste man uppskatta hur många händelser man förväntar sig från dessa s.k. bakgrunder, för att slutligen jämföra detta med det observerade antalet händelser. Om dessa två tal är kompatibla, inom osäkerhetsmarginaler, kan data förklaras med enbart bidrag från bakgrundsprocesser. Om antalet observerade händelser däremot är fler, finns bevis för att Higgsbosoner är närvarande i data. Starkare bevis för att partikeln existerar får man genom att mäta även de andra sönderfallen i tabell 1, och sedan kombinera resultaten. Man kvantifierar signifikansen för Higgsbosonsignalen genom att räkna ut sannolikheten att bakgrunden fluktuerat till det observerade antalet (eller fler) händelser, desto lägre sannolikhet desto större signifikans för att Higgsbosonen existerar. Denna sannolikhet ökar om osäkerheten på bakgrunds uppskattningarna ökar – mycket tid ägnas därför åt att förbättra precisionen på dessa uppskattningar.

Precis som Higgsbosonen kan sönderfalla på olika sätt, kan den även produceras på olika sätt, vilket också påverkar detektorsignaturen. Ett sätt, som står för 7 % av totala produktionen, är via  $W$ - eller  $Z$ -bosoner, som representeras av diagrammet i figur 2. En uppkvark ( $u$ ) och en bottenkvark ( $d$ ) från varsin kolliderande proton strålar in  $W$ -boson vardera, som sedan går ihop till en Higgsboson. I figur 2, höger, visas hur en händelse med sådan Higgsproduktion kan se ut i detektorn, om bosonen samtidigt sönderfaller till ett  $W$ -bosonpar som beskrivits ovan.

Vi ser en elektron och en myon, "MET" som exemplifieras i neutriner som inte detekteras, samt två skurar av hadroniska partiklar ("jets") som kommer från upp- och bottenkvarken som strålade  $W$ -bosonerna initialt. Observera dock att vi aldrig kan veta om en enskild händelse som denna innehåller en Higgsboson eller är en bakgrundsprocess. I mätningen som presenteras i avhandlingen med data från 2015 samt 2016, och vi observerade ca 30 händelser med en Higgsboson producerad på detta sätt.

Översta raden i tabell 1 visar det vanligaste sönderfallet, till ett par av bottenkvarkar. Nyligen rapporterade ATLAS- och CMS-experimenten att detta sönderfall observerats. Detta är en särskilt utmanande mätning då det finns många bakgrunder som också producerar bottenkvark-par. Upptäckten är en viktig milstolpe i utforskandet av Higgspartikeln – nu vet vi att de tyngsta leptonerna och kvarkarna alla får massa via växelverkan med Higgs. Nästa stora utmaning blir att upptäcka sönderfallet till myoner, som är särskilt ovanligt på grund av myonens relativt låga massa. Kanske kan detta sönderfall vara den portal till fysiken bortom Standardmodellen som vi så desperat vill hitta?

EDVIN SIDEBO  
INSTITUTIONEN FÖR FYSIK, KTH

# Edvin Sidebo är ständigt hungrig, men håller en låg profil

Edvin beskriver sig själv som en ganska vanlig kille. Äldst av tre syskon och båda föräldrarna är lärare. Trots att han inte fyllt 30 så har han erfarenheter av andra kulturer och livsvillkor. Något som både direkt och indirekt har påverkat honom



Under vintern 2010 var han matematiklärare i Nepal i ett volontärprojekt under tre månader vid en internatskola för 5-15 åringar. Det går inte att beskriva förhållandena, de måste upplevas berättar han. Edvin har även bott i Thoiry, en liten fransk by, under knappt ett år i samband med sitt doktorandarbete vid CERN.

– Jag försökte att lära mig franska och bli en del av bygemenskapen, men det var inte helt lätt. Nästan allt fokus blev på ATLAS projektet och jobbet på CERN, berättar Edvin.

Dessutom hade mina föräldrar öppnat vårt hem för utbytesstudenter från olika delar av världen under min uppväxt.

## Har erfarenheterna i Nepal påverkat dig?

Man får ett annat perspektiv på tillvaron efter en sådan resa, berättar Edvin. Under vårt samtal så kommer kloka kommentarer och synpunkter.

– Självkänslan har vuxit och man känner att man duger som man är, säger han.

## Du var trots allt lärare i Nepal. Vad tycker du om att förmedla kunskaper?

– Jag gillar att undervisa, säger Edvin. Det är kanske något man skulle ägna sig åt. Jag har haft hand om laborationer och varit handledare, något jag trivs med.

Det är inte självklart för Edvin vad

han skall göra efter doktorsexamen.

– Jag har inga direkta karriärplaner, och funderar fortfarande på vad jag skall bli när jag blir stor, säger Edvin något skämtsamt till FA.

– Troligen kommer jag att söka mig till Göteborg, eftersom jag har min flickvän där. Men jag vet inte vad jag kommer att göra. Det finns många spännande alternativ, både Chalmers och näringslivet lockar mig, berättar Edvin.

## Hur kommer det sig att det blev teknisk fysik på KTH efter gymnasiet?

– Ja, det var inte alls självklart, berättar han. Det var nog slumpen, dessutom planerade tre av mina gymnasiekompisar från Timrå läsa på KTH. Jag var nog ganska känslig för vad kompisar gjorde och inte gjorde, vid den här tiden i livet.

## Edvin berättar att han under KTH åren vuxit som människa.

– Jag bryr mig inte längre så mycket om vad andra tycker som tidigare. Edvin låter livet som det är ta mer plats. Det är inte lätt att vara tonåring, med alla måsten som man kan uppfatta under den perioden, konstaterar han.

– Tankar om karriär finns just nu inte i min värld, men det betyder inte att jag saknar ambitioner och vill göra ett bra jobb. Tvärtom, jag vill vara en del av ett

större sammanhang, men helst utan prestige och revirtänkande.

## Vilka kunskaper utöver fysik känns viktiga i din del av ATLAS projektet?

– Ja, att kommunicera med andra med olika bakgrund och från andra kulturer och dessutom måste du definitivt behärska programmering, berättar Edvin.

Jag tror också att nyttan av ett vetenskapligt förhållningssätt och olika metoder för att arbeta effektivt är viktiga kunskaper.

## Några egenskaper som du tror har hjälpt dig att lyckas?

– Ja, att alltid försöka förstå, lyssna in andra och vara tålmodig, tror jag är viktiga delar, som har varit till nytta i arbetet, berättar Edvin. Du måste vara öppen för synpunkter, omvärdera och kanske ompröva för att lyckas.

## Hur skulle du beskriva dig om person?

Jag tycker det är jobbigt att vara i centrum själv, men jag har lärt mig att hantera den känslan. Redan som liten fanns den känslan där. Helst ville jag inte ha blickarna på mig, utan föredrog att någon annan fick ta uppmärksamheten.

Edvin fortsätter. En av utbytesstudenterna från New York spelade i ett punkband. Vi startade ett ska-punkband

där jag spelade basgitarr, det var under mitt första år på gymnasiet. Gillar musik! Numera föredrar jag dock akustisk gitarr på hobbynivå.

Edvin berättar med stor inlevelse om sommarjobbet på Tynnderö, utanför Alnön vid Höga kusten.

– Jag jobbade vid Oscars surströmmingsfabrik och där vi förvarade arbetskläderna luktade det surströmming minst 10 upphöjt till 10, utbrister Edvin, som berättar livfullt och FA känner nästan surströmmingsdoften. Edvin fortsätter, det luktade till och med surströmming när man var nyduschat och började att svettas lite. Två somrar stod han ut, men hans förhållande till surströmming förändrades och han äter inte surströmming mer.

Edvin gillar ändå att äta mat, vilket inte syns, och låter sig gärna bjudas på kulinariska resor. Edvin ger tips på flera restauranger i Stockholm och FA kan konstatera att det är övervägande olika asiatiska kök som favoritmat. Men samtidigt är han noga med att det är högtidsstunder att åka hem till Sundsvall och få äta mammas mat som är himmelsk!

– Det måste vara min mammas matlagning som initierat och utvecklat mitt matintresse, konstaterar han.

När vi avslutar vårt intressanta och trevliga samtal så känns det tydligt att en ny fas i livet väntar för Edvin och det är med stor tillförsikt han ser fram mot troligt flytt till Göteborg och nya utmaningar i arbetslivet.

Lycka till från FA!

MARGARETA KESSELBERG  
FYSIKAKTUELLT



**Edvin Sidebo, 29 år**  
Utbildning:  
Timrå gymnasieskola, naturvetenskaplig linje (2007)  
KTH, Teknisk fysik (2013)  
Doktorsexamen (sept.2018)  
Familj: Föräldrar i Sundsvall, bror och syster i Uppsala/Stockholm samt flickvän i Göteborg  
Bor: Lägenhet i Stocksund  
Intressen: Mat, idrott, regelbunden träning, musik i olika former.  
Tidigare arbeten: Olika sommarjobb, från surströmmingsproduktion till truckförare.  
Sundsvalls Elnät, optimeringsanalyser (under studietiden vid KTH)

# Heureka! Fysik på riktigt

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

Dessutom finns...

- Lärarhandledningar
- Läxhjälp på Facebook
- Digitalböcker med interaktivt material



Läs mer och prova de interaktiva böckerna med filmer och simuleringar på [nok.se/heureka](http://nok.se/heureka)



# Ett nytt sätt att studera röntgenkällor i universum – med Sveriges största ballong

Den 12:e juli 2016, kl. 5 på morgonen lättade en 1 miljon kubikmeter stor heliumfylld ballong från marken vid Esrange rymdbas nära Kiruna. Väderförhållandena var perfekta – en klar blå himmel med nästan ingen vind vare sig på marken eller flera hundra meter upp i luften, den höjd som ballongen når innan den släpps iväg. Under ballongen hänger ett röntgenteleskop konstruerat på KTH och döpt till PoGO+. Några timmar senare har ballongen nått sin marschhöjd på 40 km, dvs 4 gånger högre än ett kommersiellt flygplan, och börjar driva i en västlig riktning buren av de stratosfäriska vindarna. Att nå denna höjd var mycket viktigt för uppdraget, att fånga röntgen-

strålning från kosmos. Detta eftersom atmosfären är ett effektivt skydd mot röntgenstrålning från rymden. På 40 km höjd återstår bara ca. 0,5% av atmosfärens täthet jämfört med vad som finns på marken. Det lägre atmosfäriska trycket syns även genom att formen på den 1 miljon kubik meter stora ballongen utvecklar sig från att vara droppformad på marken till nästan sfärisk.

Röntgenstrålning är ett elektromagnetiskt vågfenomen precis som synligt ljus men har mycket kortare våglängd. Medan exempelvis grönt ljus har våglängd ~550 nm (ca. storleken av bakterier) med energi motsvarande 2,3 eV, har det röntgenljus som PoGO+ mäter en

våglängd på ~0,025 nm (ca. atomens diameter) med energi motsvarande 50 keV.

Några av de kanske mest spännande objekt på himmeln, såsom roterande neutronstjärnor (s.k. pulsarer) och binärsystem med svarta hål, strålar starkt i röntgenvåglängder. Källorna karakteriseras av höga temperaturer och därmed processer med hög energi. Ett sådant exempel är synkrotronljus från elektroner som vrider sig i magnetiska fält.

Möjligheten att se himlen genom röntgen visades av Riccardo Giacconi (Nobelpris i fysik, 2002) 1962 med hjälp av en enkel röntgendetektor monterad på en sondraket. Hans mätningar avslöjade den första extrasolära röntgenkällan, Sco

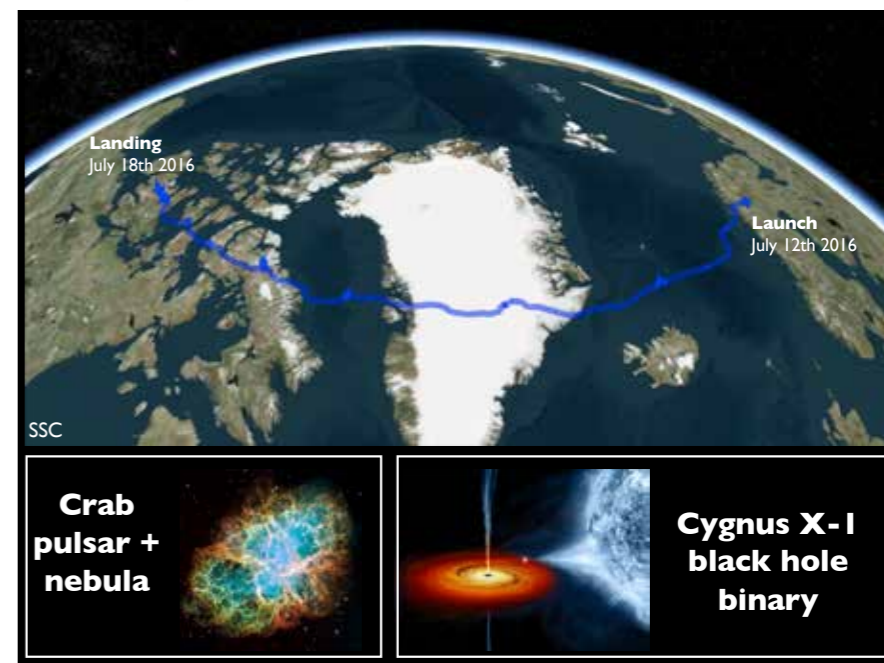
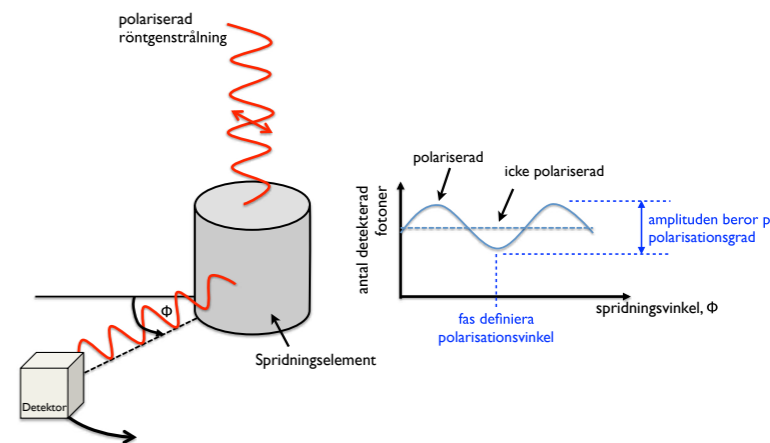
X-1. Sedan dess har rymdteleskop med ständigt förbättrad prestanda utforskat vårt högenergetiska universum och lett till många nya upptäckter. Vanlig röntgenteleskopi mäter strålningsriktning, energi och ankomsttid. En egenskap som inte mäts är polarisation, dvs det plan i vilket elektromagnetiska vågor svänger. PoGO+ skiljer sig från de flesta andra röntgenteleskop eftersom det är specifikt konstruerat för att kunna mäta polarisation. Denna egenskap av röntgenflödet är mycket intressant eftersom den kan ge information om omgivningarna runt källorna, t.ex. geometrin hos magnetiska fält och materia. Sådana detaljer går ofta inte att bestämma på ett otvetydigt sätt med vanliga observationstekniker. Den första röntgenpolarisationsmätningen (på två specifika energier, 2,6 och 5,2 keV) gjordes för över 40 år sen på Krabbnbulosen. Sedan dess har det varit flera försök, t.ex med instrument som inte var konstruerade just för polarisationsmätningar. Pålitlig ny data uteblev ... tills nu.

För synligt ljus är polarisationsegenskaper förhållandevis enkelt att mäta med hjälp av ett filter bestående av ett material med parallella kedjor av polymer. Bara det ljus som har en polarisationsriktning som är vinkelrätt mot kedjorna släpps igenom. Detta är något som används i vissa typer av solglasögon för att dämpa det polariserade ljus som skapas genom reflektion från en yta som t.ex. vatten eller snö.

Denna teknik fungerar inte för röntgenljus eftersom våglängden är för kort i förhållande till det avstånd som går att uppnå mellan polymerkedjorna. Istället utnyttjar PoGO+ den s.k. Klein\*-Nishina relationen som beskriver det differentialspridningsnittet (sannolikheten) när en röntgenfoton sprids från en elektron, s.k. Comptonspredning.

Spridningsvinkeln beror på fotonens polarisationsegenskaper. Ett icke polariserat flöde av fotoner ger upphov till en platt fördelning av spridningsvinklar (dvs

\*) Oskar Klein (1894-1977), var en framstående svensk teoretisk fysiker och professor vid Stockholms universitet från 1930. Publicering av relationen skedde 1928 tillsammans med Japanen Yoshio Nishina.



alla vinklar är lika sannolika). Fotoner i ett polariserande flöde är däremot mer benägna att sprida sig vinkelrätt mot polarisationsriktningen. Fördelningen blir då sinusformad med en amplitud som beror på flödets polariseringsgrad och en fas som beror på flödets polarisationsvinkel. Spridningsvinkeln mäts i ett detektorsystem uppdelat i pixlar. Inkommande fotoner som växelverkar i en pixel kan sprida sig genom en viss vinkel till en närliggande pixel. Genom att mäta spridningsvinkeln kan fotonens polarisationsegenskaper bestämmas. (Se schematisk figur.)

Under en veckolång flygning från Esrange till norra Kanada, samlade PoGO+ in helt nya data om både Krabban (en pulsar omringad av en nebulosa) och Cygnus X-1 (ett binärsystem med ett svart hål). Resultat för båda dessa källor är nu publicerade, senast gällande nya rön om Cygnus X-1.

Röntgenbinären Cygnus X-1 ligger ca. 6000 ljusår från jorden och består av det första allmänt erkända svarta hålet (ca. 15 solmassor) och en blå massiv superjättejärna (ca. 30 solmassor) som kretsar runt varandra med en tidsperiod på 5,6 dagar. Det kraftfulla gravitationsfältet hos det svarta hålet sliter loss materia från stjärnan och skapar en tunn ackretionsskiva runt det svarta hålet. Friktionen mellan partiklarna i skivan skapar intensiv röntgenstrålning. Detta gör det svarta hålet synligt. Den inre delen av skivan, närmast det svarta hålet, (den s.k. koronan) har en temperatur runt en miljard K. PoGO+ hade som mål att bidra med helt ny kunskap om geometrin hos de innersta delarna av ackretionsskivan och därigenom belysa olika scenarier som kan beskriva vad som händer med materia som faller in i det svarta hålet.

Koronan är ett mycket litet område, runt några tusentals km, vilket motsvarar en vinkelutsträckning av mindre än  $10^{-11}$  grader vilket gör det omöjligt att avbilda experimentellt. Polarimetri ger oss en väg framåt eftersom röntgenljus blir polariserat när det reflekteras från ackretionsskivan. Polarisationsegenskaper av det reflekterade ljuset ger information om koronans geometri. PoGO+ utförde mätningar i det s.k. hårda röntgenområdet,



PoGO+-gänget framför teleskopet på ballongsläppsdagen. Mark Pearce är på femte plats från vänster.

dvs ca. 20-180 keV och detta energiområde är mycket väl matchande till den reflekterade komponenten.

Data från PoGO+ avslöjar att bara en liten del av röntgenflödet är polariserat (<8,6%). För dessa fotoner ligger polarisationsvinkeln i linje med ackretionsskivans rotationsaxel. Vår tolkning av detta är att röntgenflödet inte påverkas märkbart av den starka gravitationen i närheten av den svarta hålet. Detta innebär att ackretionskoronan är en utvidgad struktur eller ligger långt ifrån svarta hålet. Resultatet är en spik i kistan för modeller som förespråkar en kompakt korona som ligger nära svarta hålet, t.ex. associerad med det kraftfulla utflödet (en s.k. ”jet”)

som är synlig på radiovåglängder vinkelrätt mot ackretionsskivan.

Precis som det engelska ordspråket “What goes up must come down” förutspår kom även PoGO+ ner på fast mark. Landningen skedde den 19:e juli 2016 i ödemarken på Viktoriaön i norra Kanada med hjälp av fallskärm. Personal från Esrange var snabbt på plats för att hämta hem teleskopet. En vecka senare körde jag ut till Arlanda och hämtade hårddiskarna som var fyllda med värdefull mätdata. Vägen fram till vetenskapliga resultat har onekligen varit ett äventyr. Från de idéskisser som gjordes på en pappersduk på en restaurang i USA, utvecklades projektet genom diverse tester i forskningslaboratoriet, ett stort antal datasimuleringar och innovativa ingenjörsmässiga lösningar i samarbete med våra industri-

partners. Att nå framsteg i projektet har dock inte alltid varit lätt. Det tog ett par misslyckade försök, först med en trasig ballong, sedan dåligt väder som omöjliggjorde flygning och även tekniskt strul med elektroniken på 40 km höjd. Som vanligt i forskning, gäller det att man är ihärdig, håller ögat på bollen och drar lärdomar från frustrerande motgångar.

PoGO+ har nu mätt färdigt och ingen flera flygningar planeras med teleskopet. Men det här är bara början, vi söker finansiering för nya rymdfärder som kan ge nya rön om universums mest spännande objekt inom förhoppningsvis en snar framtid.

MARK PEARCE  
KTH, INSTITUTIONEN FÖR FYSIK,  
OSKAR KLEIN CENTRET

# SI och Sverige

Beteckningarna för grundenheterna i SI (rekommenderad normal ordningsföljd i kommande SI-broschyr är kg, m, s, A, K, mol, cd) och enheter som kan användas tillsammans med dem, t. ex. N och kWh, är internationella och samma på alla språk, bl. a. även på kinesiska. Enheternas namn kan däremot variera med språket. På svenska heter det meter, sekund och mol, att jämföra med engelskans metre (meter betyder på engelska mätare) second och mole, och med svenska prefixen stavade hekto, mikro, piko och yokto (inte hecto etc.). Enheter som fått namn efter person skrivs med gemen begynnelsebokstav (t. ex. ampere, kelvin, pascal, hertz, newton, joule, watt, weber), med undantag av grader Celsius och grader Fahrenheit, och motsvarande enhetsbeteckning skrivs med versal (första bokstav (A, K, Pa, Hz, N, J, W, Wb)). Det finns däremot inget som heter ”grader kelvin”. Enheterna lumen och lux betecknas lm och lx (inte Lm och Lx) eftersom de inte kommer av personnamn), och för enheten ohm används beteckningen  $\Omega$ . Vissa svenska enhetsnamn har en pluralform (sekunder, minuter, timmar, dagar, grader, radianer, steradianer). Det skall alltid vara ett blanksteg (”mellanslag”) mellan mätetal och enhetsbeteckning (123 mm, 37 °C) medan 37° C kan utläsas som ”vinkeln 37 grader coulomb”. Notera också att storhetsbeteckningar alltid skrivs kursivt medan enhetsbeteckningar skrivs rakt. Detta för att kunna skilja t. ex. ”massan *m*” från ”längden 1,05 m”, ”längden *s*” från ”tiden 2 s” och ”arean *A*” från ”strömmen 25 A”. Det heter alltså i svensk standard ”strömmen 25 A” och inte ”strömstyrkan 25 A”. Skilj mellan area (som kan mätas) och yta (som man kan ta på). Lagg också märke till att i svensk text är decimaltecknet alltid ett kommatecken.

När metersystemet antogs i Sverige ville man ha ett särskilt namn för 10 km; nämligen mil. Det är vi nästan ensamma om i världen, men då Norge vid det tillfället var i union med Sverige finns namnet även i norska språket. Vi säger t. ex. att det är 43 mil till Helsingborg, och inte 430 km. På trafikmärkena är vi dock internationella och skriver Helsingborg 430. Längdenheten tum (inch) är sedan 1958 internationellt standardiserad till exakt 25,4 mm. Beträffande tum tror många att det har sitt ursprung i längden från tummens spets till första knogen men troligen är det istället bredden av en snickares tumme som pressats mot underlaget. Då är det lätt att t. ex. lägga två tummar bredvid varandra. Ett annat, och naturligtvis felaktigt, svenskt begrepp är sekundmeter för m/s. Det finns inte på engelska. På tyska kan man ofta höra det felaktiga Stundenkilometer för km/h (Stunde = timma), och mer sällan Sekundenmeter, medan vi aldrig skulle säga ”timkilometer”. En liten, men inte felaktig, skillnad mellan t. ex. svenska och tyska avser regnmängder. Vi brukar uttrycka dem i mm medan man i Tyskland ofta anger l/m<sup>2</sup> (liter per kvadratmeter). Mätetalet blir dock samma i de två fallen; 1 l/m<sup>2</sup> = 1 mm. För beteckningen liter får även L användas trots att versaler är reserverade för enhetsbeteckningar som kommer av personnamn. Det finns ju ingen person Liter eller Litre men i många typsnitt är det svårt att skilja gement l från siffran 1. Slutligen noterar vi att det finns särskilda namnsymboler knutna till personer för många vanliga härledda enheter, t. ex. newton (N) för kraft och joule (J) för energi, men motsvarigheten saknas för begreppen impuls, densitet, acceleration och fart.

GÖRAN GRIMVALL



# Vikten av ett nytt kilogram

I dag kan alla måttenheter härledas från SI-systemets sju basenheter (kilogram, meter, sekund, ampere, kelvin, mol, candela). SI-systemet är uppbyggt på långsiktig forskning inom grundläggande vetenskap och teknik och det finns många exempel där grundforskning har bidragit till utvecklingen av SI och spårbara mätningar.

SI-systemets betydelse för samhället är svår att överskatta då det ligger till grund för kvantitativa och jämförbara mätvärden på alla noggrannhetsnivåer och är kritiskt för att upprätthålla förtroende inom internationell handel och forskning. Samtidigt är SI-systemet också viktigt för att kunna driva utveckling i industri och samhälle genom att produkter och processer blir kvalitetsssäkrade. År 2019 kommer dock SI-systemet att förändras i grunden, men varför och hur?

Ett långsiktigt mål har länge varit att basera alla SI-enheter utifrån naturkonstanter, vilket bland annat formulerades av fysikern Maxwell redan på 1800-talet: "If we wish to obtain standards of length, time and mass which shall be absolutely permanent, we must seek them not in the dimensions or the motion, or the mass of our planet, but in the wavelength, the period of vibration, and the absolute mass of this imperishable and unalterable and perfectly similar molecules." Ett SI-system baserat helt på naturkonstanter, liknande det som Maxwell föreslog, innebär en viktig förbättring mot dagens system. Dels kommer osäkerheter och risker i hanteringen av oersättliga objekt att minska, och dels möjliggör förändringen en fortsatt utveckling och kontinuerlig förbättring av mätosäkerheterna då tekniska begränsningar försvinner.

Under åren har allt fler grundenheter i SI-systemet definierats om efter na-



Figur 1. Bilden visar inte den internationella kilogramprototypen, men väl det svenska rikskilogrammet. Idag är Sveriges kilo placerad i säkert förvar i Borås och hanteras av det nationella metrologiinstitutet inom RISE. Det används idag ytterst sparsamt för att minimera slitage och föroreningar.

turkonstanter, t.ex. metern efter ljusets hastighet i vakuum och sekunden utifrån en övergång i cesium. En av de viktigaste pusselbitarna för att nå ett SI-system helt baserat på naturkonstanter har varit att hitta en metod som kan ersätta den sista kvarvarande artefakten, den ikoniska internationella kilogramprototypen i platina som finns på Internationella byrån för mått och vikt (BIPM) i Paris, se figur 1. I det nuvarande SI-systemet ligger kilogrammet också till grund för flera olika enheter, bland annat de elektriska, vilket innebär att dess begränsningar påverkar mer än bara mätningar av massa. De senaste årtionden har forskare, främst på olika nationella metrologiinstitut över hela världen (se faktaruta), arbetat med att hitta en lösning för att ersätta kilogramprototypen med en naturkonstant, något som varit lättare sagt än gjort.

I jakten har huvudsakligen två olika, men kompletterande metoder under-

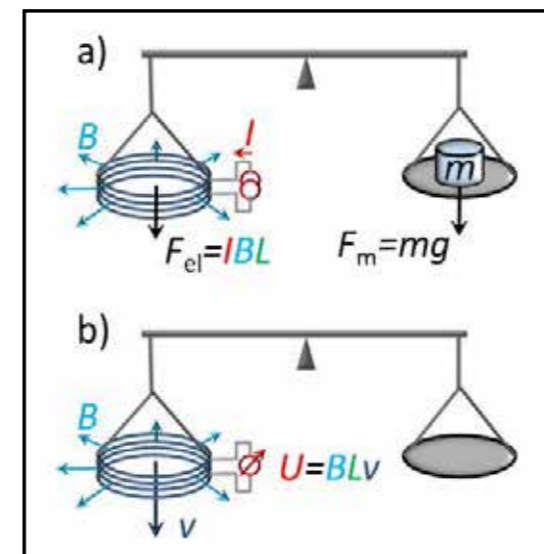
sökts. Den ena bygger på att utnyttja Plancks konstant, det fysikaliska begreppet effekt, samt en kombination av avancerade kvantfysikaliska samband och snillrika mätmetoder. Den andra bygger på Avogadros konstant och innebär att man genom att mäta volymen av en "perfekt" sfär av rent kisel kan räkna antalet atomer.

## Massa och effekt

För att förstå hur effekt kan användas för att mäta massa, kan vi tänka oss en fiktiv apparat med en elektrisk motor som lyfter en vikt uppåt. När motorn lyfter vikten arbetar den mot gravitationen och utvecklar en genomsnittlig effekt som motsvarar den ökade potentiella energin hos vikten och tiden för lyftet. Samma genomsnittliga elektriska effekt utvecklas då av motorn, vilket motsvarar spänningen multiplicerat med strömmen. Både ström och spänning kan mätas med stor noggrannhet med hjälp av två kvantfysikaliska fenomen. För volt används Josephsoneffekten, där en fix spänning kan realiseras i termer av Josephsonkonstanten och frekvensen hos ett elektriskt fält. För mätning av resistans kan kvanthall-effekten användas där resistansen kan uttryckas i termer av von Klitzingkonstanten. Från Ohms lag går det därefter att uttrycka och mäta strömmen.

## Kibble-balans

Den metod som visat sig bäst för att mäta massa genom denna metodik är baserat på en avancerad våg som tidigare kallades Watt-balans, men som sedan november 2017 heter Kibble-balans efter den brittiske fysikern Bryan Kibble som var den förste att föreslå tekniken 1975. Den så kallade Kibble-balansen är i praktiken en elektrisk våg som mäter massa genom



Figur 2. Principen för Kibble-vågen. I a) används vågen i "vägningsläge". Kraften från en massa balanseras av kraften som skapas när en ström drivs genom en spole med en viss längd  $L$ , som är placerad i ett statiskt magnetfält med fältstyrkan  $B$ . I b) används vågen i "hastighetsläge". Spolen flyttas med en viss hastighet  $v$ , och en spänning induceras vilket är beroende av storleken på  $B$  och  $L$ . Genom att kombinera de två lägena kan därmed  $B$  och  $L$  elimineras.

vägning. För att undvika att behöva ta hänsyn till den elektriska motorns egenskaper och eventuella energiförluster, vilket skulle vara fallet i exemplet ovan, arbetar vågen i två lägen, se figur 2. I det ena, det så kallade vägningsläget, balanseras gravitationskraften med den elektriska kraften som uppkommer när en ström drivs igenom en spole som befinner sig i ett konstant magnetfält. I det andra steget, det så kallade hastighetsläget, flyttas spolen upp och ned genom magnetfältet så att en spänning induceras. Genom dessa två steg kan spolens och magnetfältets styrka elimineras från beräkningarna. Resultat är en kombination av elektriska storheter där massan i slutändan enbart är beroende av Plancks konstant, samt tid och längd, vilka redan idag är definierade utifrån naturkonstanter.

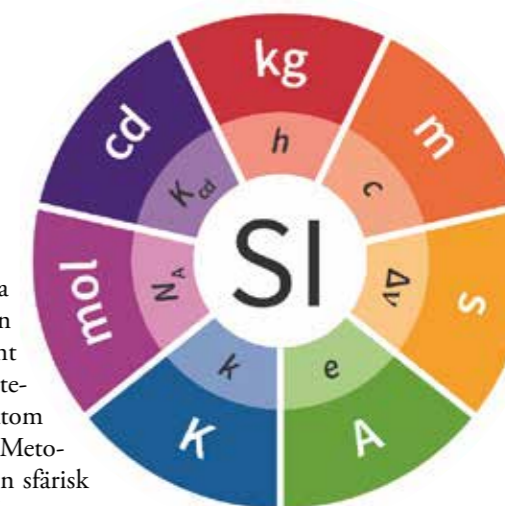
## Avogadroprojektet

Den andra metoden som använts vid jakten på ett nytt kilogram bygger på att

skapa ett objekt med en massa som är ett kilogram. Detta kan göras genom att Plancks konstant kommer vara fix i det nya SI-systemet, samt att massan av en kiselatom är känd med ca 10 värdesiffror. Metoden går därför ut på att skapa en sfärisk kiselkristall med ett visst antal atomer genom att mäta volymen av sfären och mäta avståndet mellan kiselatomerna i kristallstrukturen. Detta är då en oberoende realisering av kilogrammet som kommer att fungera som ett komplement till Kibble-vågen i den nya definitionen av kilogrammet.

## Det nya SI

Även om det nya kilogrammet är centralt i det nya SI-systemet är det inte den enda enheten som kommer förändras i grunden eller justeras, se figur 2. Exempelvis, kommer även enheterna ampere, kelvin och mol nu att kunna definieras och realiseras utifrån naturkonstanter. Enheten



Figur 3. Logotypen för nya SI-systemet med de sju basenheterna och de relevanta naturkonstanterna.

ampere kommer att utnyttja värdet på elementarladdningen, dvs laddningen hos en elektron, kelvin kommer att vara baserat på Boltzmanns konstant och mol kommer att vara baserat på Avogadros konstant.

Även om de flesta av oss inte kommer att märka av förändringen och att det i närtid inte kommer att ske några praktiska förändringar, kommer det nya SI-systemet att innebära en stor grundläggande förbättring. Vi kommer inte bara att få mindre osäkerheter och risker, utan vi kommer också ha ett system där flera praktiska begränsningar försvinner, vilket möjliggör utveckling av innovationer och mätmetoder som kan komma att visa sig viktiga i framtiden.

LESLIE PENDRILL  
MARTIN ZELAN,  
RISE RESEARCH INSTITUTES  
OF SWEDEN

### Fakta: Nationellt Metrologiinstitut

Inom produktion, handel och forskning har mätningar en central roll för att upprätthålla god kvalitet och förtroende. Nationella metrologiinstitut har därför som uppgift att tillgodose mätteknisk kompetens och internationell spårbarhet till industri och samhället. Detta sker genom internationell samverkan, t.ex. genom kontinuerliga jämförelsemätningar, samt forskning och utveckling av nya mätmetoder. I Sverige har regeringen utsett

RISE till nationellt metrologiinstitut, vilket bland annat innebär huvudansvar för det svenska kilogrammet och omställningen till det nya SI-systemet. Önskar ni mer information om det nya SI-systemet eller är intresserade av ett studiebesök för er eller era studenter på det nationella metrologiinstitutet i Borås, går det utmärkt att ta kontakt via e-post (martin.zelan@ri.se)



Bild från vårens internationella mästarclasses i Lund då deltagarna i slutet av dagen diskuterade och samarbetade med grupper som gjort samma övning i Frankrike, Italien, Storbritannien, Tjeckien och forskare på plats på CERN.

Detta tillfälle sammanföll med den av FN instiftade Internationella Dagen för Kvinnor och Flickor inom Vetenskap (<http://www.un.org/en/events/women-and-girls-in-science-day/>), och leddes av kvinnliga forskare för att visa att de utgör en viktig del av forskningsfältet.

## “Pröva på” forskning i partikelfysik

Varje år arrangerar grupper av forskare aktiva inom såväl ATLAS- och ALICE-experimenten vid CERN en dag då gymnasieelever får prova på hur det är att forska inom experimentell partikelfysik genom de så kallade internationella mästarclasserna (från eng. “International Masterclasses”), och i våras var det dags igen.

Genom mästarclasserna får eleverna en chans att utforska de byggstenar och krafter som bygger upp allt i vårt universum på den allra minsta storleksskalan vi har tillgång till. Efter en grundläggande introduktion till partikelfysik och frågorna som fältet försöker lösa så fick eleverna undersöka riktig mätdata från ATLAS-detektorn innehållande spår från de partiklar som skapats i kollisioner mellan protoner som färdats nära ljusets hastighet runt den 27 km långa LHC-acceleratorn 100 m under jorden utanför Genève i Schweiz. Grupperna analyserade spåren för att identifiera sönderfall av bland annat Higgs-bosoner och använde dem för att mäta dess massa.

Vid slutet på mästarclassen kopplade de även upp sig via videolänk till andra skolklasser runt om i världen som gjort

samma övning under dagen för att kombinera sina resultat. Efter att ha diskuterat sina resultat med forskare på CERN fick eleverna chans att fråga om deras jobb och hur de hamnat där. Övriga aktiviteter under dagen varierade lite grann mellan städerna som deltog och inkluderade bland annat experiment för att bestämma elektronens massa, studera spår av laddade partiklar från radioaktiva sönderfall i en dimkammare, och mäta myoner från kosmisk strålning. I Stockholm fick eleverna även höra en presentation om neutronoteleskopet IceCube som är installerat i en kubikkilometer is på Antarktis. I framtiden finns det planer på att utvidga mästarclasserna till att även inkludera analys av data från IceCube som registrerar spår av de mest svärmätta partiklarna vi känner till, neutriner.

Avdelningarna för teoretisk fysik och partikelfysik vid Lunds universitet organiserade mästarclasses både den 12:e februari och den 8:e mars med ca 20 elever vid varje tillfälle. Vid Ångströmlaboratoriet i Uppsala den 27:e februari deltog 12 elever. I Stockholm deltog 49 elever och fyra lärare den 20 mars på Vetenskapens hus där eleverna leddes av fysiker

från KTH och Stockholms universitet. Chalmers arrangerade regelbundet internationella mästarclasses fram till 2016, och de vill gärna fortsätta traditionen och välkomnar lokala gymnasieskolor att ta kontakt om de är intresserade.

International Particle Physics Outreach Group (IPPOG) har organiserat mästarclasses i partikelfysik sedan 2005, och sedan 2017 även med det speciella syftet att uppmuntra fler flickor och kvinnor att välja naturvetenskapliga utbildningar och prova på forskningsaktiviteter.

För mer information:

**Internationella mästarclasses:**

<http://physicsmasterclasses.org>

**Kontakter i Sverige:**

**Arnaud Ferrari**, Fysik och Astronomi,

Uppsala universitet,  
arnaud.ferrari@physics.uu.se

**Caterina Doglioni**, Partikelfysik,

Lunds universitet,  
caterina.doglioni@hep.lu.se

**Johan Rathsmann**, Teoretisk fysik,

Lunds universitet,  
johan.rathsmann@thep.lu.se

**Jonas Strandberg**, Partikel- och Astro-partikelfysik, KTH, [jostran@kth.se](mailto:jostran@kth.se)

**Riccardo Catena**, Chalmers Tekniska Högskola, [catena@chalmers.se](mailto:catena@chalmers.se)

**Sara Strandberg**, Elementarpartikelfysik, Stockholms universitet,  
[strandberg@fysik.su.se](mailto:strandberg@fysik.su.se)

**Stefan Åminneborg**, Vetenskapens hus (Stockholm), [stefan.aminneborg@vetenskapenshus.se](mailto:stefan.aminneborg@vetenskapenshus.se)



Nattens mörker hade fallit över Beijing, men hos det svenska laget lyste fortfarande ljuset. Efter fyra tävlingsrundor befann sig Sverige på 10:e plats, en enda placering från att erhålla silvermedalj för första gången i den svenska historien.

Nu förberedde man sig inför den sista och avgörande rundan till så långt in på natten att det aldrig blev tid för lagledarna att gå hem utan de sov på golvet.

Egentligen började inte äventyret här, utan nästan ett år tidigare, när de första eleverna (flera av dem nu i laget) hade börjat experimentera på de 17 öppna fysikproblemen som skulle lösas och bedömas av en internationell panel. Under året som gått hade strax emot hundratalet ungdomar på ett eller annat sätt involverat sig i att göra konstruktioner, mätningar och beräkningar, via bland annat två stycken fysikläger på Lunds Universitet som samlat elever från hela landet, och flertalet gymnasiearbeten.

Men när nu morgonen grydde var det enda laget fokuserade på att gå ut och skriva historia. Första ronden var mot

Vitryssland som studerar den kopplade svängningen hos en pendel och metallstav. Det svenska laget påpekade dock att varken böjningen hos staven eller energiförlusterna modellerats korrekt. Domarna höll med.

Näst ut var Storbritannien som undersökte hur antalet såpbubblor man kunde blåsa beroende på parametrar såsom hastighet och avstånd. Man hade emellertid gjort endast tre mätningar per experiment, vilket gjorde att spridningen blev väldigt stor. Det svenska lagets representant Daniel Lizotte, som dagen innan presenterat den svenska lösningen innehållande upp till hundratals mätningar per tillstånd (mycket tack vare hjälp från andra elever ute i landet), var inte imponerad, och menade också att mekanismen som bestämde antalet bubblor inte var utredd, en opposition som gav toppbetyget 8/10 från domarna.

Slutligen var det Sveriges tur. Det var med andra ord tid att släppa lös lagets hemliga vapen, en studie av akustisk levitation gjord av lagmedlemmen Mikael Cognell. Inte bara hade han modellerat det underliggande tryckfältet med en svävande kula med hjälp av full flödessimulering, utan han hade också konstruerat en sinnrik uppställning som med hjälp av en kombination av mekanisk förflyttning och färförändring kunde styra kulan fritt

Medaljutdelningen med det svenska laget hållandes sina diplom med (från vänster till höger) Daniel Lizotte, Mikael Cognell, Tina Eslami, Jacob Lin och Daniel Javadinejad samt ledarna Maria Anghel, Tobias Hedberg, Jakob Lavröd och Lars Gräsjö.

i rymden. Med totalt 47,9/60 poäng hade laget inte bara satt nytt svenskt rekord, utan också presterat näst mest av alla lagen under den förmiddagen, något som fick Sverige att skjuta upp som en raket, och stiga fyra placeringar till en sjätteplats, inte bara den första silvermedaljen utan också det bästa resultatet i svensk historia.

Med ett sådant resultat är självklart förväntningarna inför 2019 enorma. Går det att upprepa bedriften? Kan Sverige fortsätta klättra? Något som blev väldigt tydligt under tävlingen var att det dels gäller att få fram ett starkt lag, dels gäller att elever från så många skolor som möjligt får chansen att vara med och bidra. Med fysikutmaningarna inom IYPT som utmärkt grund för gymnasiearbete finns alla förutsättningar för skolor att hänga på detta spännande äventyr!

Mer information om medverkan finns på [www.iypt.se](http://www.iypt.se).

JAKOB LAVRÖD

# Mastersarbeten för framtiden

Effects of electron trapping and ion collisions on electrostatic shocks.

## Vad handlar arbetet om?

Mitt mastersarbete handlar om *elektrostatiska chockvågor i plasman*.

Idén är att kunna utnyttja den kraftiga potentialökningen framför chocken till att accelerera joner till höga energier. Plasmachockvågen blir ungefär som en golfklubba som slår till jonerna framför chocken, och då studsar vissa av jonerna ut med dubbla hastigheten som chockvågen har. På så vis kan man accelerera joner med en chockvåg. Tanken är alltså att kunna bygga betydligt kompaktare och billigare jonacceleratorer, med hjälp av dessa plasmachockvågor, än vad som finns i nuläget. Detta skulle till exempel kunna användas för jonstrålningsterapi, som ser ut som ett lovande sätt att behandla svåråtkomliga cancer tumörer. Det återstår dock många utmaningar innan detta kan förverkligas, och bland dessa var mitt jobb att titta närmare på två olika fenomen och hur de kan påverka chockvågens beskaffenhet: fångade elektroner och jonkollisioner.

## Varför valde du just det här området?

För mig började det på hösten 2017, då mailade jag till de forskargrupperna som verkade intressanta. Det absolut snabbaste svaret kom från plasmateorigruppen, och vips var jag inbokad på ett möte dagen efter. På mötet fick jag massor av

## Andréas Sundström

24 år, Civilingenjör- samt masterexamen i teknisk fysik, Chalmers, 2018

olika alternativ presenterade, däribland plasmachockvågorna. Mitt slutgiltiga val, bland alla alternativ och forskargrupper, baserades helt enkelt på vad jag tyckte verkade mest "spännande". I mitt fall handlade det om att jag tycker om mer analytiska beräkningar, och att jag helst ville undvika rena datorsimuleringar.

## Hur påverkade masterarbetet ditt framtida val av jobb?

I mitt fall visade sig detta vara helt avgörande för vad jag nu har gett mig in på. Efter bara ungefär en månad in i mastersarbetet blev jag nämligen tillfrågad om jag ville fortsätta och doktorera i gruppen, vilket jag också gjorde.

## Hur ser arbetslivet ut nu?

Övergången från studier till yrkesliv blev alltså väldigt diffus; jag har förvisso fått byta kontor, men i övrigt har jag fortsatt med samma chockvågor och arbetsmetoder som tidigare. För mig blev alltså ex-



jobbet ungefär som en utdragen anställningsintervju.

## Vilken var den största utmaningen under masterarbetet?

Nu vill jag vara lite lat och säga att jag inte har någon direkt utmaning som jag kan sätta fingret på som den "största". Jag kunde dela upp arbetet i lagom små munsbitar, så att de gick att svälja var och en för sig, men ändå bilda en helhet.

## Tips till framtida studenter?

Dela upp arbetet i överskådliga småbitar! ★

Länk till masterarbetet

<http://studentarbeten.chalmers.se/publication/255643>



## Jessica Svensson

25 år, Masterexamen i Teoretisk Fysik från Stockholms Universitet år 2018

Design of quantum circuits for generation and classification of pure three partite entangled states

## Vad handlar arbetet om?

Arbetet är inriktat på kvantinformation, som handlar om att utnyttja kvantmekaniska resurser för att förbättra informationsteoretiska uppgifter som t.ex. kryptering och säker kommunikation. Snärjning är just en sådan kvantmekanisk resurs som används och medan vissa snärjda tillstånd är noggrant undersökta finns det även intressanta tillstånd som saknar samma grund. Jag jobbade med snärjda tillstånd med tre kvantbitar eftersom det fallet är mer intressant än med endast två men samtidigt tillåter en relativt enkel klassificering. Jag jobbade nära en experimentell kvantoptikgrupp som ville skapa specifika tillstånd i labbet med laser och under mitt arbete sysslade jag med att klassificera, ta fram kvantkretsar och uppställningar för att undersöka dessa intressanta snärjda tillstånd med tre parter, eller kvantbitar.

## Varför valde du just det här området?

Under mitt tredje år på programmet

började vi med kvantmekanik på allvar och efter en föreläsning om kvantkryptering var jag fast! Det är det mest spännande man kan hålla på med tycker jag, som alltid varit intresserad av teknik och datorer och dessutom läst extra datalogi. Kvantinformation känns som den perfekta mixen mellan de ämnen som intresserar mig mest; fysik, datalogi och matematik. Det ledde till att jag gjorde både mitt kandidatarbete och masterarbete om kvantinformation. För kandidatarbetet räknade jag på olika säkra protokoll för kvantkryptering och vilka kryphål som fanns i dessa protokoll samt hur man motverkar dem.

## Vad har känts som den största utmaningen under arbetets gång?

Att vara i princip helt självständig är underbart men samtidigt utmanande. Vi gör vårt examensarbete individuellt och utan speciellt mycket styrning, så man har total frihet men samtidigt måste man vara tuff mot sig själv och planera arbetet väl, för det är verkligen mycket att göra (gjorde ett 60hp examensarbete). Vissa delar är roligare (t.ex. programmeringen i att implementera alla logiska kvantgrindar) än andra (t.ex. skriva slutversionen) så det är en utmaning att hitta motivationen för alla delar och få ihop en helhet av olika småprojekt man jobbat på.

## Vilka speciella erfarenheter och kunskaper har master-arbetet givit, tycker du?

Förutom djupare kunskaper i kvantinformation och en del programmering som krävdes för arbetet har jag även fått erfarenhet av att samarbeta med en forskargrupp och anpassa mig efter de behov och resurser som finns tillgängliga. Hur jag som person behöver agera för att driva ett så pass stort projekt i hamn, har fått träna en hel del på att fördela sin tid och att ibland få nöja sig och gå vidare fast man kanske känner att man skulle vilja spendera mer tid på vissa saker.

## Vilka tips har du till framtida masterarbetare. Vad bör de tänka på?

Välj något du tycker är kul eller som i alla fall låter spännande! Ta även in hand-

ledaren i ditt val av projekt, om du inte har en klar bild av handledaren kan det vara bra att fråga andra studenter som har tidigare erfarenhet. En bra handledare är inte avgörande, men är definitivt till stor hjälp. De kan motivera och peka en åt rätt håll, dock måste man alltid själv se till att man kommer framåt! När projektet är igång är mitt främsta råd: planera din tid och jobba hårt från start! Skriv ner allt du gör, helt plötsligt behöver du något du gjorde tidigare och dessutom blir uppsatsskrivandet förenklat. Räkna med att saker tar längre tid än vad man tror. Sätt eventuellt upp egna deadlines och delmål för när de olika stegen ska vara klara. Fråga! Försök se till så att så lite som möjligt är luddigt så att du har koll på vad som behöver göras och inte behöver gissa och spendera onödig tid.

## Dina framtidsplaner?

Masterarbetet har både stor och liten betydelse för framtiden. Delvis öppnar det upp oändliga möjligheter (inom rimliga ramar så klart) för vad man kan göra efter examen. Erfarenheten från mastern är till stor hjälp för framtida studier, eller faktiskt vad man än bestämmer sig för. En masterexamen i teoretisk fysik får in en på en rad arbetsplatser samtidigt som det öppnar upp för fortsatt verksamhet inom forskarvärlden. Vill man söka en doktorandtjänst är det säkert en fördel att söka inom samma område som mastern, men absolut inget nödvändigt. Å andra sidan är bredden från utbildningen samt erfarenhet av t.ex. programmering, modellering, problemlösning, matematisk förståelse, kanske statistik o.s.v. från masterarbetet meriterande när man söker jobb inom industrin även om man inte kan applicera sin specifika expertis. Det brukar dock vara den man får mest intresserade frågor och diskussioner om! I framtiden gör jag något jag brinner för, antingen har jag hittat en doktorandtjänst som väcker min nyfikenhet eller sitter och räknar, programmerar och modellerar något som är riktigt spännande på ett företag. ★

## Simon Ek

30 år, Masterexamen i fysik från Lunds Universitet, 20XX



### Evaluation of the temporal and spatial structures of ultrashort pulses passing through a multichannel plate

#### Vad handlar arbetet om?

Det här projektet görs i en forskargrupp som arbetar med ultrakorta laserpulser och handlar om hur man kan filtrera bort den ursprungliga, drivande, laserpulsen från den genererade ultrakorta pulsen. När den intensiva och ganska korta (ca  $170 \cdot 10^{-15}$  s) laserpulsen fokuseras i en gas så svarar gasen med att sända ut en eller flera ultrakorta (nägra hundra  $10^{-18}$  s) laserpulser som består av udda övertoner av den ursprungliga pulsen. Den genererade pulsen är bara ungefär en hundratusen-del så stark som den drivande och de två kommer att färdas i samma riktning. Det går därför inte att mäta den svaga genererade pulsen om den inte först separeras från den starka drivande pulsen.

Tidigare har man gjort detta med hjälp av extremt tunna, och därmed sköra, metallfolier som reflekterar i den drivande pulsens frekvensområde, men är transparenta i den genererade pulsens frekvensområde. Ett problem med den här typen av filter är att de är otroligt ömtåliga och att man därför måste ha precis samma tryck på båda sidorna av filtret för att de inte omedelbart ska slitas itu. Det här projektet går ut på att undersöka om filtreringen istället kan göras med hjälp av en tunn glasskiva med tusentals små hål

igenom, en MCP (microchannel plate). Tanken är att de långa våglängderna i den drivande pulsen kommer diffraktera väldigt mycket i mötet med plattan, medan de korta genererade våglängderna kommer passera genom hålen relativt opåverkade. I vilken utsträckning detta låter sig göras och om den filtrerade pulsen fortfarande är användbar i faskänsliga experiment, är vad jag håller på att undersöka.

#### Varför valde du just det här området?

Jag fick kontakt med forskargruppen genom en god vän som doktorerat i gruppen och det blev så att jag skrev mitt kandidatarbete i den. Därefter har jag haft en väldigt god kontakt med gruppen och till och med varit inbjuden på julfest och liknande, utan att egentligen tillhöra gruppen. Därför kändes det väldigt naturligt att också göra mitt mastersarbete här och när just det här projektet behövde göras, så tog jag på mig det.

#### Vad har känts som den största utmaningen under arbetets gång?

En stor utmaning är att begränsa sig och inte hänga på allt intressant som händer i gruppen. Det som beskrivs ovan är kärnan i mitt projekt, men jag har också gjort en del annat som, vid en första anblick, kan tyckas ha en lite svag koppling till projektet. Jag och min handledare tror dock att det ska gå att få ihop i slutändan och att det kommer att bli ett sammanhållet projekt med en tydlig röd tråd.

#### Vilka speciella erfarenheter och kunskaper har master-arbetet givit, tycker du?

Dels så har jag naturligtvis lärt mig väldigt mycket om atomfysik i allmänhet och attosekundsfysik i synnerhet, men jag har också lärt mig mycket om att planera och driva ett projekt. Jag har i rätt utsträckning fått hitta vägar framåt på egen hand och försöka finna svar på de givna frågeställningarna.

#### Vilka tips har du till framtida masterarbetare. Vad bör de tänka på?

Jag tror att det absolut viktigaste är att hitta en handledare och en grupp som man trivs med och som ger en bra stöd. Det är till och med viktigare än att få arbeta med precis det man tycker är intressantast. Sen är det självklart viktigt att hitta goda rutiner för sina arbetsdagar och att vara disciplinerad redan från början, så att det inte blir panik på slutet.

#### Dina framtidsplaner?

Min tanke är att efter avslutade mastersstudier fortsätta på ungefär samma sätt med doktorandstudier. Just nu delar jag kontor med ett antal doktorander och jag arbetar i stort på samma sätt som de gör, så det här projektet är en väldigt bra förberedelse inför att doktorera. Kan jag få en tjänst i just den här gruppen så vore det kanon, men annars får jag hitta något annat. ★



## Tangle Math

Kvantvärlden och mikrokosmos är fascinerande, men också förbryllande. De flesta fysiker lär sig till slut att acceptera att kvantvärlden inte beter sig som vardagsvärlden runt omkring oss, men det är nog inte många som ärligt kan säga att de verkligen *förstår* hur det hänger ihop. Många fysiker har nog därför tänkt tanken att man borde få lära sig de här sakerna redan som barn, när man är mottaglig för att lära sig nya saker på ett helt annat sätt än man är som vuxen. I Christer Fuglesangs bok *Det svarta hålet* presenteras kvantvärldens koncept för barnen paketerade till en spännande historia som stimulerar barnen att använda sin fantastiska fantasi till att hantera kvantmekanikens märkligheter. Vi har i bokserien fått följa syskonen Mariana och Markus på flera olika äventyr där de får följa med sin farbror Albert (med yvigt hår och stor grå mustach) bland annat genom världshaven och rymden. Nu är de också med i en app riktad till barn med syftet att lära dem matematik och i en tidig ålder få en känsla för några av kvantmekanikens förunderligheter.

Spelet, som är utvecklat av Tomas Ahlström tillsammans med Aseel Berglund och Erik Berglund (lektorer vid Linköpings universitet), är baserat på boken *Det svarta hålet* och meningen är att barn inte bara ska lära sig att räkna utan också få en känsla för några kvantfenomen.

Spelet går ut på att leta efter brickor med samma siffror på, ungefär som ett vanligt memory, men för att illustrera *sammanflätning* är summan av brickor med samma färg känd. Eftersom brickorna är sammanflätade är det först när man vänder på en av dem som det bestäms vilket värde den har och då bestäms värdet på den andra brickan samtidigt, även om man inte kan se det. Det framgår tyvärr inte så tydligt för barnen att spelet har en koppling till kvantfysik och det borde (som *Fakta och Fantasi*-delen i böckerna) finnas en tydlig och pedagogisk förklaring riktad till föräldrar och lärare så att de kan prata med barnen om vad som skiljer sig mellan det här spelet och ett vanligt memory.

Det är också svårt att se vilken åldersgrupp spelet riktar sig till och det saknas en bra progression. Som det är nu måste barnen (eller deras föräldrar när barnen tröttnar) räkna igenom väldigt många enkla nivåer innan svårighetsgraden ökar och problemen börja bli lite mer stimulerande. Spelet blir helt enkelt lite tjatigt och risken är tyvärr att de flesta tröttnar innan de kommer så långt in i spelet att det börjar bli roligt (och även på de lite svårare nivåerna är variationen väldigt liten). Ett alternativ hade varit att låta spelaren ange ålder (eller svårighetsgrad) och sedan öppna lämplig nivå att börja på.

Det är positivt och spännande att

Säljare: Fri Tanke Apps  
Storlek: 48.5 MB  
Kräver iOS 9.0 eller senare  
Kompatibel med iPhone, iPad och iPod touch  
Språk: svenska  
Åldersgräns 4+  
© Fri Tanke förlag AB

problemen skiljer sig från hur matematik brukar läras ut och det kan stimulera barnen att fundera ut nya lösningsstrategier (framför allt när det börjar tillkomma nya randvillkor), men det saknas ändå variation i spelet och motivationen att fortsätta spela dalar snabbt även om Johan Egerkrans illustrationer som alltid är väldigt fina.

Sammanfattningsvis är spelet lite kul en liten stund, men det når inte fram hela vägen. Kopplingen till böckerna är inte så tydlig som den borde vara och bristen på förklaringar gör att spelet inte stimulerar barnen till att fundera över kvantmekanik på samma sätt som böckerna lyckas med. Spelet fyller ändå en plats som komplement till annan undervisning och duktiga lärare och intresserade föräldrar kan säkert hitta sätt att utifrån spelet diskutera sammanflätning med barnen, men det bygger på att de har en djup kunskap i området.

JOHAN MAURITSSON,  
LUNDS UNIVERSITET

ELLEN MAURITSSON,  
FLYGELSKOLAN, LUND



Skuggor över bergväggarna i Platons berömda allegori. Vad är det för verklighet där utanför som skapar skuggorna?

Fysikersamfundets årskrift Kosmos har med Sören Holst fått en ny redaktör med uppgift att förvalta det fina arvet efter Leif Karlsson. Enligt programförklaringen vill Kosmos fylla ett gap mellan rent populärvetenskaplig litteratur och den inomvetenskapliga. Man menar att det saknas litteratur av det slaget på svenska medan den förekommer i större omfattning på engelska. Faktum är väl att det är så och så alldeles oavsett språk och att Kosmos fyller ett alldeles osedvanligt tomt tomrum.

Temat för Kosmos 2017 är kvantmekanik. Texterna passar alldeles utmärkt för gymnasielärare i fysik som vill tillfredsställa sin egen nyfikenhet eller inspirera intresserade studenter. Några eftergymnasiala kunskaper är det inte tänkt att man behöver, men några av texterna kan nog vara lite krävande även för den mest ambitiöse gymnasist.

Det som nog är det allra mest diskuterade ämnet inom kvantmekaniken är det notoriska mätproblemet som också ges en framträdande plats i volymen. Bengt EY Svensson (Lund) gör detta i två artiklar som behandlar olika slag av besynnerliga paradoxer medan Erik B. Karlsson (Uppsala) gör en mer systematisk genomgång. Kruxet är att medan Schrödingerekvationen beskriver vad som sker med vågfunktionen när man inte mäter den, måste själva mätningen hanteras separat. Man säger att vågfunktionen kollapsar när en av alla olika möjliga mätresultat

slumpmässigt väljs ut. Hur man skall se på denna kollaps, och i vad mån det krävs någon slags ny fysik för att förstå den, har debatterats livligt alltsedan kvantmekanikens barndom och gett upphov till det ena fantasirika förslaget efter det andra. På senare år har teoretiska och experimentella framsteg visat att växelverkan med omgivningen spelar en avgörande roll. I praktiken sker en kontinuerlig mätning av varje system alldeles oavsett om en mänsklig observatör hävdar sig ha utfört en mätning eller ej. Erik B. Karlsson ser nyktert på problemet och landar i slutsatsen att mätproblemet nog fått sin lösning.

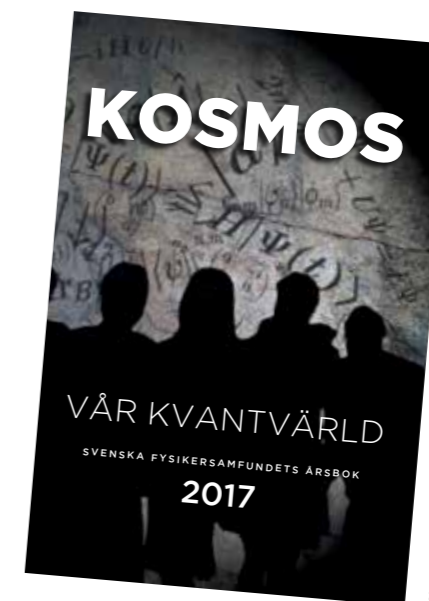
Det kanske mest originella bidraget är signerat Gunnar Björk (KTH, Stockholm) som beskriver en kvantmekanisk underlighet som sällan diskuteras: kvantkontextualitet. Det handlar om hur det sammanhang i vilken en mätning görs bestämmer vad som kan anses vara verkligt. Kvantkontextualiteten handlar inte bara om osäkerhetsrelationen, och hur mätningar vanligen stör varandra, utan är någonting utöver detta.

I konkurrens med mätproblemet utgörs nog den allra underligaste aspekten av kvantmekaniken av intrassling över stora avstånd. Detta är ämnet för en djupdykning författad Jan-Åke Larsson (Linköping) som med avstamp i den berömda artikeln från 1935 av Einstein, Podolsky och Rosen, går igenom Bells olikhet och dess experimentella tester. Fokus ligger på hur allt detta visar att naturen bryter mot vad som brukar kallas lokal realism. Grovt sett handlar lokal realism om allt på sin plats och att allt är som det är, ungefär. Men till allas förvåning fungerar världen i sina fina detaljer inte alls på det sättet. Fascinerande nog, som Gunnar Björk påpekar, verkar det finnas en koppling mellan kontextualitet och icke-lokalitet som man ännu inte fullt ut förstår.

De finurliga kvantemakniska fenomen som diskuteras på många ställen i Kosmos 2017 är inte bara av grundvetenskapligt, eller filosofiskt, intresse. Mycket tyder på att helt nya tekniska tillämpningar med dramatiska konsekvenser är att vänta inom en inte allt för avlägsen

framtid. Kvantdatorer har det spekulerats kring alltsedan den legendariske fysikern och Nobelpristagaren Richard Feynman först lade fram idén i början av 1980-talet och de rycker nog allt närmare. I Erika Anderssons (Edinburgh) artikel får vi veta hur en kvantdator är tänkt att genomföra sina beräkningar och hur långt man kommit rent tekniskt. I en kvantdator räknar man med kvantbitar som kan befinna sig i superpositioner av ettor och nollor. Detta kräver andra algoritmer än vad man är van vid på gammaldags klassiska datorer och Erika Andersson förklarar hur några av dem fungerar.

Annica Black-Schaffers (Uppsala) text om materielfysik är mycket aktuell givet Nobelpriset 2016. Vi påminns om hur kvantmekaniken inte alls är relevant bara för det som sker i det inre av atomer utan på ett direkt sätt bestämmer egenskaperna hos material av olika slag. Hela vår värld är ett resultat av kvantmekanik. Inte minst gäller detta elektrisk ledningsförmåga som ju är ett centralt begrepp för



Redaktör: Sören Holst  
Antal sidor: 158  
ISBN 978-91-639-5177-0  
Svenska fysikersamfundet

elektronik och datavetenskap. Vi får också läsa om hur begrepp från partikel-fysikens värld får en övrad användning.

I den avslutande artikeln tampas Jonas Larson (Stockholm) med kvantkaos och hur den skenbara motsättningen mellan vågfunktionens linjära tidsutveckling enligt Schrödingerekvationen kan gå ihop med fenomenet kaos i den klassiska mekaniken. Den klassiska fysiken borde ju återfås som en gräns av den kvantmekaniska. Hemligheten är samma växelverkan med omgivningen som löser mätproblemet vilket på ett spännande sätt knyter samman några av trådarna i Kosmos 2017.

Kosmos 2017 rekommenderas till alla med ett intresse för fysik som dessutom inte räds en ekvation eller två. Samtliga artiklar är så innehållsrika, välskrivna och tankeväckande att skriften nog kommer att åka in och ut ur bokhyllorna många år framöver.

ULF DANIELSSON

# AC i sommarvärmern

Årets värmebölja i Sverige ökade efterfrågan på luftkonditionering (AC). Rapporter om hur mycket prestationsförmågan och välbehagskänslan sjunker vid hög temperatur ger dock lite olika besked. Men vi har nog alla upplevt hur man raskt piggnar till, när man från värmen ute kliver in i ett luftkonditionerat rum.

Hur skapades kyla förr i tiden?

I medelhavsländerna användes oglaserade lerkrus, från vilkas yta vätskan som sippas genom kärlet avdunstar. Avdunstning är avkylande eftersom molekylerna med störst energi lämnar ytan och håller kärlet och dryck sval. Genom att hänga fuktade snören eller gardiner i fönster och dörrar, blev luften som blåste sval, då den tapade energi genom avdunstningen. Att blanda is och salt är känt sedan länge. I större skala placerades (sjö)is, som sparats sedan vintern, i isgropar och isskåp.

Nutida lösningar

Det finns tre moderna lösningar för svalka: luftkylare, portabel eller fast installerad AC. I en luftkylare (aircoolers) blåser en fläkt luft förbi en vattenyta för att åstadkomma avdunstning. Men genom att använda en kompressor och bygga ett separat system med två värmväxlare ökar effektiviteten markant. Det finns ett patent från 1834, då Jacob Perkins alstrade kyla med kompressor och eter som arbetsmedium.

Luftkonditionering (AC)

Luftkonditioneringar och kylskåp bygger på att en vätska som förångas absorberar värme från ett rum eller utrymme. Ett kylskåp har isolerade väggar, medan vid luftkonditionering håller väggarna i

rummet kall luft inne och varm luft ute. Värmepumpen fungerar likadant, men värmepumpen kan ju köras bakvänt- och det görs också. Huvuddelarna i en vanlig AC visas i figur 1 och utgörs av:

**Förångare**

Den varma rumsluften blåses av en fläkt förbi en slinga med flytande köldmedium. Vätskan förångas och absorberar värme ur luften (4→1). Förångaren, som sitter i inledningen, fungerar som en värmväxlare. Därmed utnyttjas att fasövergången kräver mycket mer energi än att bara höja temperaturen till kokpunkten.

**Kompressor**

Köldmediegasen sugas till en kompressor, som sitter i utledningen och komprimerar gasen till högt tryck. Därvid stiger temperaturen från  $T_L$  till  $T_H$  (1→2).

**Kondensorn**

Kondensorn fungerar liksom förångaren också som värmväxlare. En fläkt, även den i utledningen, blåser luft förbi kondensornslingan, där köldmediet avger värme till luften och kondenserar till vätska (2→3).

**Expansionsventil**

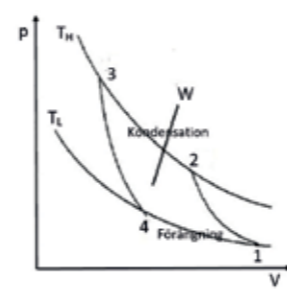
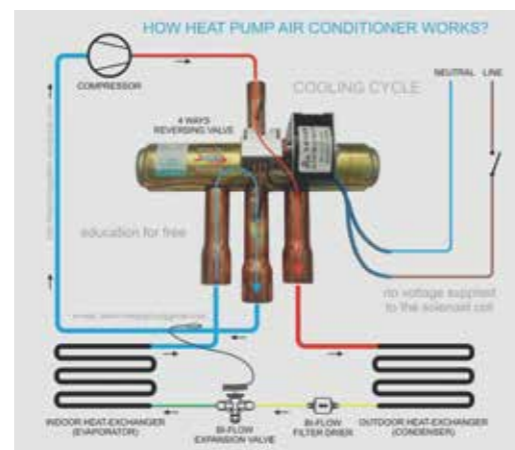
Köldmediet är fortfarande under högt tryck. Det får då passera en expansionsventil som sänker trycket och temperaturen (3→4), genom att den kinetiska

energin till dels blir potentiell (Joule-Thomson-effekt).

I korthet sker värmeupptagningen då köldmediet tar upp ångbildningsvärmern från rumsluften vid låg (konstant) temperatur ( $T_L$ ) och lågt tryck. Värmeavgivningen till uteluften sker då köldmediet kondenserar vid hög (konstant) temperatur ( $T_H$ ) och högt tryck. Processen kan upprepas, med samma köldmedium, tills den med termostaten inställda temperaturen uppnås.

Det första moderna luftkonditioneringssystemet lär ha utvecklades 1902 av Willis Carrier. Ett tryckeri i New York hade problem med att papperet sög åt sig fukt varma sommardagar. Han lät luften i lokalen blåsa över kylda rör, och då kall luft inte kan bära så mycket vatten som varm, kondenserade vattnet på rören (lagen om kalla väggen). Dessutom sänktes lufttemperaturen. En AC hjälper alltså också till att avfukta rummet. Därför syns ibland vatten droppa från AC-aggregat.

De första bilarna med AC gjordes av Packard runt 1940 och AC finns numera i de flesta bilar. En sådan AC har betydligt sämre arbetsmiljö än en stationär. Kompressorn sitter på en vibrerande motor, medan resten av AC:n är monterad i kassen. Därför kan köldmediet läcka ut, via tätningar och slangar, efter ett antal år. Vätskan som varma, fuktiga dagar kan ses droppa ner från motorrummet är dock sannolikt kondensvatten.



Figur 1: Förenklad bild av en kylcykel och ett s.k. carnotdiagram. Det genomlöps moturs och visar köldmediet under cykeln. Den tillförda energin är arean  $W$ .

Carnot och COP

Carnot har beskrivit en process, vilken ger en teoretisk effektivitet. Branschen använder inverterad verkningsgrad kallad Coefficient Of Performance (COP), dvs. den energi som genereras per tillförd elenergi. För en värmepump fås  $COP_H = Q_H / W = T_H / (T_H - T_L)$ , där  $W$  = arbetet (kostnaden) för att flytta  $Q_L$  från utomhus och leverera  $Q_H$  inomhus. Vidare är  $Q_H - Q_L = W$ . För ett kylskåp fås  $COP_L = Q_L / W = T_L / (T_H - T_L)$ , där  $W$  åtgår för att flytta  $Q_L$  från insidan och leverera  $Q_H$  till utsidan.

Temperaturdifferensen ska vara liten för hög effektivitet, vilket i diagrammet ger litet  $W$ . Om det är 32 °C ute och man önskar 23 °C inne blir den teoretiska (maximala) COP drygt 30. I praktiken är den 2 - 4, omkring en tiondel. Om en värmepump spenderar 1 kWh på att flytta 3 kWh från uteluften till inneluften tillförs kushet 4 kWh. Det ger  $COP_H = 4$ . Om en AC spenderar 1 kWh på att flytta 3 kWh från inneluften till uteluften kommer däremot kostnaden 1 kWh att hamna utanför huset. Det ger  $COP_L = 3$ . Således är  $COP_H = 1 + COP_L$  för värmepump högre än för AC.

Branschen anger  $COP_H$  vid 7 °C. Då temperaturen varierar under ett år är SCOP (seasonal coefficient of performance) mer rättvisande.

Numera görs AC och värmepump i kombination. Via en 4-vägsventil styrs flödena om, men så fuffigt att flödet genom kompressorn går åt samma håll, men byter riktning genom kondensorn och förångaren (figur 1). I kyläge är flödet kallt i förångaren och varmt i kondensorn och tvärtom i värmeläge. Expansionsventilen görs då 2-vägs.

När den körs som värmepump bildas det vid kall och fuktig väderlek rimfrost vid insuget på utomhusdelen. Den smälts bort 2 ggr/h genom att värmepumpen reverseras och värme tas från rummet, vilket minskar värmeproduktionen. Smältvattnet kan uppgå till 300 l per månad och bör ledas bort från huset.

Antalet kylskåp och frysar för mat, mediciner m.m. och AC-aggregat i hus, kontor och bilar har ökat kraftigt i många



Figur 2: Värmepump med en utomhusenhet (nedtill) och en inomhusenhet (upptill).

länder i takt med stigande välstånd. El till detta produceras ofta med fossilt bränsle. Behovet av avkylning riskerar göra vår planet varmare. Den energibesparing en effektivare uppvärmning i glesbefolkade delar av Nordeuropa ger, äts upp av en stark ökning av luftkonditionering i den tätbefolkade Medelhavsregionen. Var går och hur flyttar sig gränsen i Europa där uppvärmning och avkylning drar lika mycket energi per år?

Kylmedium eller köldmedium?

Ett kylmedium är en gas eller vätska, som används för upptagning och borttransport av värme. Det bör ha hög specifik värmekapacitet och låg viskositet. Ett exempel är kylarvätskan i en bilmotor.

Ett köldmedium är en energibärande som används för att transportera värme från en kallare plats till en varmare, vanligen mellan två så kallade reservoarer. Det ska vara icke-korrosivt, svårantändligt m.m. Utöver detta krävs gynnsamma termodynamiska egenskaper. Hög kokpunkt gör att den kan användas i lågtryckssystem, högt ångbildningsvärme ger bättre effekt per kg, specifika värmekapaciteten ska vara låg för att köldmediet inte ska ta upp värme i expansionsventilen eller i rören. Lagom densitet som vätska, hög densitet i gasform och hög kritisk temperatur. Ångtrycket ska vara högre än atmosfärstrycket annars sker kondensation vid läckage.

I början var ammoniak och svaveldioxid populära, men båda är giftiga. Thomas Midgley uppfann runt 1930 difluorklormetan. Den och andra klor-

fluorkolväten (CFC, HCFC och HFC), vilka DuPont ägde varumärket freon (av freeze), var en grupp stabila, icke brandfarliga, icke frätande ämnen och dessutom ofarliga att andas in.

De ersatte på 1930-talet de tidigare köldmedierna i kylskåp och användes senare i AC-aggregat för bilar, drivgas i deodoranter mm. Freoner visade sig dock bidra både till växthuseffekten och till att förstöra ozonlagret.

Nya krav på köldmedier

Klorfluorkarboner (R-11, R-12, R-115 m.fl.) förbjöds som ozonskadliga runt sekelskiftet enligt Montrealprotokollet. Prefixet består av bokstaven R (refrigerant) följt av ett nummer efter en systematik baserat på molekylstrukturen. De ersattes med olika HFC och i dag är R-410A vanligast i AC-aggregat och värmepumpar. Det är inte ozonnedbrytande, men bidrar till växthuseffekten. EU:s förordning 517/2014 om fluorerade växthusgaser ledde till f-gasförordningen SFS 2016:1128 som trädde i kraft från 1 januari 2017. I syfte att begränsa mängden köldmedier infördes ett kvotssystem för köldmedier med hög GWP (Global Warming Potential, som anger IR-absorptionen och livslängden i atmosfären). Därigenom steg priserna på hög-GWP-köldmedier (R-404A, R-134A, R-410A m.fl.) kraftigt.

AC-tillverkare byter nu till R-32 som har lägre GWP, och samtidigt har högre värden för ångbildningsvärme, specifik värmekapacitet för både vätska och ånga, samt högre värmeledningstal. Det ger möjlighet att bygga ett mer effektivt och kompakt kylsystem.

Biltillverkare byter från HFC-134A till HFO-1234yf, som har liten påväxthuspåverkan, men är brandfarligt och dyrare.

Kyl- och frystillverkare byter från R-404A till kolväten som isobutan (R-600A) och propan (R-290). De har ingen ozonförtunning och liten växthuseffekt, men är brandfarliga och kan bilda en explosiv blandning med luft vid läckage.

MAX KESSELBERG  
FYSIKUM  
STOCKHOLM UNIVERSITET

## Tävlingsuppgifterna

Uppgifterna var som oftast alltför tidskrävande, denna gång speciellt den experimentella uppgiften. Vid presentationen och vid den därpå stundtals animerade och tidskrävande diskussionen avhandlas dels fysik och formuleringar, dels omfattningen. Uppgiftskonstruktörer vill ogärna krympa innehållet, sannolikt beroende på att uppgiften tagit lång tid att producera. Det är ändå ledarna som bestämmer, så vissa moment ströks, men tyvärr för få. Det ledde till att studenterna inte hann och att vi för första gången blev färdiga med översättningen så sent att det blev lagom att direkt äta frukost på hotellet.

Den första av de tre teoriuppgifterna berörde hur signalen från LIGO-detektorn (figur 1) skulle tolkas. Först begärdes uttryck för bl.a. energi för de två svarta hålen medelst newtonsk mekanik. När gravitationsvågor avges kommer systemet att förlora energi och med uttrycket för energitvåning per tid och Einsteins kvadrupolformel, skulle den utstrålade effekten beräknas. Givet att frekvensen för vågorna har en frekvens som är dubbelt så stor som objektens rotationsfrekvens, skulle ett uttryck för förändringshastigheten hos vinkelhastigheten verifieras för de krympande banorna och den i uttrycket givna kvittermassan (chirp mass) uttryckas i total och reducerad massa.

Man skulle sedan verifiera ett uttryck för frekvensen hos gravitationsvågorna innehållande kvittermassan, och med LIGO-signalens hjälp (figur 1) skulle den förra bestämmas, samt totala massan, och minsta avståndet mellan hålen samt banhastigheten vid den tidpunkten.

Uppgift nr 2 avsåg ATLAS-detektorn vid CERN och först skulle grundläggande uttryck bestämmas för rörelsemängd, energi och cyklotronfrekvens för en elektron både i låg fart och i farter nära ljusets. Vid en pp-kollision bildas många partiklar, bl.a. neutriner och de har ett tvärsnitt i klass med den beige kundens i TV-serien Macken. Dock kan neutronernas rörelsemängd bestä-

mas genom att man uppskattar förlorad rörelsemängd hos de detekterbara partiklarna. Från en given pp-kollision och med kännedom om W-bosonens massa kunde sedan toppkvarkens massa beräknas.

I den tredje uppgiften skissades en enkel modell av en tumörs tillväxt. Först begärdes några uttryck och värden för blodflödet vid förgreningen till kapillärer, genom analogi med en LCR-krets. Då blodet pulserar vidgas kärlen, vilket ger en kapacitiv effekt och blodets tröghet ger en induktiv effekt.

När en tumör växer ökar trycket (figur 2) och därför begärdes kvoten mellan tumörens volym och den totala vävnadens volym, som funktion av kvoten mellan tumörens massa och massan av normal vävnad och kvoten mellan deras bulkmoduler. Genom värmebehandling kan tumörceller dödas t.ex. med nanotuber som fastnar på tumörceller. Med ex-

tern IR-bestrålning som först absorberas av nanotuberna kommer sedan energin avges som värme och temperaturen stiger. Här begärdes temperaturen i centrum av tumören som funktion av kroppstemperaturen och tumörens radie, och den minsta effekt per volymenhet som krävs för att värma upp cellerna i en tumör med radie 5 cm till en temperatur högre än 43,0 °C. När tumören växer ökar trycket vid de tunnaste kärlen, varpå radien i dessa minskar och därmed blodflödet. Här begärdes den relativa minskningen i flödet.

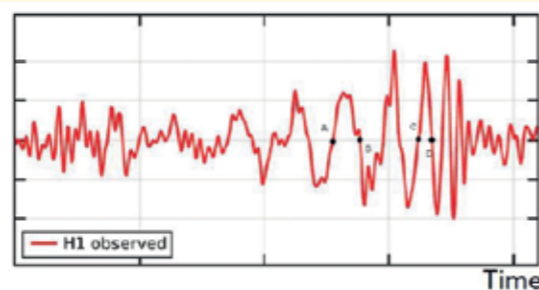
Den första experimentella uppgiften gällde att bestämma karaktäristiska kurvor för en fälteffekttransistor (n-kanals JFET). De nödvändiga spänningarna kunde erhållas från ett batteri via kolresistorer och spänningsdelare tryckta på ett papper (figur 3). Strömmen mättes med multimeter, och tyvärr krävdes alldeles

för många mätdata vilket tog onödigt mycket tid.

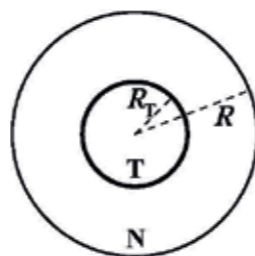
På papperet fanns också en TFT-transistor med pappersinlägg intill kanalen, vilket påverkar strömmen i kanalen. När spänningen ändras på gaten ändras spänningen över halvledarmaterialet momentant, medan spänningen över papperet skapar en jonvandring. Det gällde att bestämma den kortare tidskonstanten.

I den andra experimentella uppgiften skulle man studera elasticiteten hos en polymer. Den hängdes upp och töjningen mättes när tråden belastades (figur 4). Trådens diameter kunde mätas med hjälp av diffraktionsmönstret från en laserpenna.

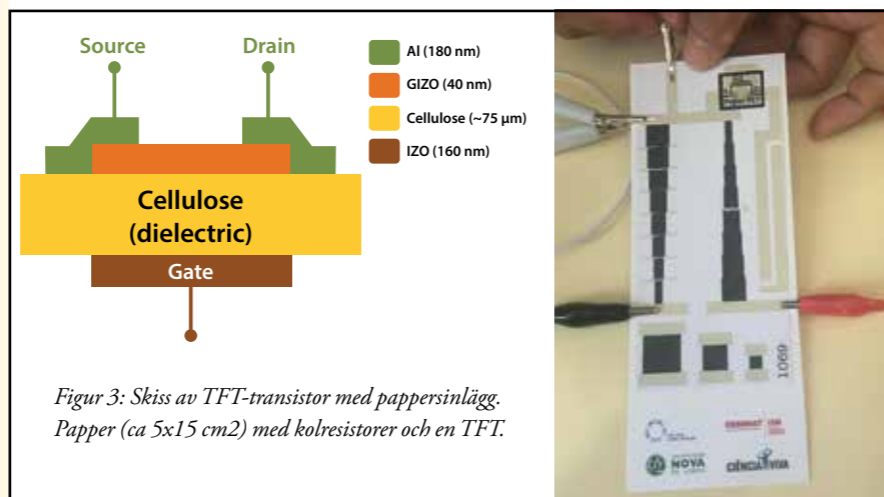
Emellertid var materialet viskoelastiskt, och uppvisade utöver vanlig Hookes elastisk töjning även en viskös dissipativ. Den elastiska deformationen återgår om man avlastar materialet, medan den viskösa deformationen består. Således fanns två exponentiella förlopp där det tog uppemot 45 min innan den viskösa töjningen avstannat tillräckligt.



Figur 1: Den relativa ändringen av längden av vardera arm, vid LIGO-detektorn H1. Den horisontella axeln visar tid, och punkterna A, B, C, D motsvarar tiderna  $t = 0,00, 0,009, 0,034, 0,040$  sekunder, respektive. Signalen låter mot slutet som ett kvitter.



Figur 2: En enkel modell av en tumör (T) omgiven av normal vävnad (N).



Figur 3: Skiss av TFT-transistor med pappersinlägg. Papper (ca 5x15 cm<sup>2</sup>) med kolresistorer och en TFT.



Figur 4: Polymertråd med vikt och våg. Trådens diameter bestämdes med laserpenna.

# Tre bronsmedaljer i Lissabon vid internationella fysikolympiaden 2018



Sverige lyckades åter bra när David Hambræus, Lugnet-gymnasiet i Falun, Oliver Lindström, Minerva gymnasium i Umeå och Adam Warnerbring, S:t Pauli gymnasium i Malmö fick varsin bronsmedalj.

396 tävlande från 86 nationer deltog i årets fysikolympiad som hölls i Lissabon. Det är verkligen imponerande att lyckas få nära 400 experimentuppställningar att fungera samtidigt. Kina blev åter bästa nation följt av Indien, båda med fem guld. Bästa europeiska nation blev Ryssland med fyra guld och ett silver. Danmark och Finland blev bäst i Norden med två silver och ett brons, respektive ett silver, två brons och två hedersnämmanden. Tianhua Yang från Kina vann och Grigorij Bobkov från Ryssland kom tvåa. Först på 24:e plats kom bästa helev-

Svenska laget från vänster Adam Warnerbring, David Hambræus, Oliver Lindström, Axel Jernbäcker och Hugo Ekinge.

ropé, Cotrut Petru från Rumänien. Sveriges trend med god bredd håller glädjande nog i sig. Det är mycket beroende på att stödet från Markus och Amalia Wallenbergs minnesfond gör det möjligt att nå fler, bättra på och bredda kunskaperna inför olympiaden.

## Lissabon

Lissabon har ungefär en halv miljon invånare i den centrala delen, och 2,8 miljoner invånare i hela storstadsområdet. Staden ligger vid floden Tejos mynning i Atlanten. Lissabons historiska centrum ligger på sju kullar (inte sämre än Rom), vilket gör att många av stadens gator är branta, och staden har flera bergbanor.

Vårt hotell låg nära området där

EXPO'98 huserade, vilket på sedvanligt vis resulterat i mycken djärv arkitektur på mässområdet, som den tefatslikande multisportarenan Pavilhão Atlântico (numera Altice). Från linbanan som löper längs mässområdet syns också Vasco da Gama-bron. Den korsar floden Tejo och är över en mil lång.

Arrangemanget sköttes bra, förutom informationen som var knapphändig. Vi hade tur med vädret, ty den svenska värmeböljan med runt 30 grader byttes mot en behaglig bris och 25 – 28 grader. När vi sedan kommit hem steg temperaturen i Lissabon åter till närmare 40 grader.

Vissa transporter bl.a. utflykterna skedde med bussar, vars avgångstider tyvärr var av SJ-stuk och där förlorades en del tid. Transporterna mellan hotellet och tekniska universitetet, där översättningen skedde, klarades däremot med en snygg och ren T-bana. Prisutdelningen hade inte repeterats och uppläsningen av namn och utdelning av pris var ur fas. Trist att inte få sitt namn uppläst och motta priset någorlunda samtidigt.

Världsarv

Dagen efter respektive översättning skriver studenterna, och då erbjuds ledarna utflykter, vanligen med buss. Då kan man ta igen lite av den sömn som gått förlorad vid nattens översättning. Man kan då fundera över Boyes ord: *Nog finns*



Bild 1: Föreläsningssal med majestätisk pulpet.

*det mål och mening i vår färd, men det är vägen som är mödan värd.* Detta oaktat gick färden till städerna Évora och Sintra, bägge upptagna på Unescos världsarvslista. Varje land nominerar och finansierar sina världsarv och i Sverige sköts detta av Naturvårdsverket och Riksantikvarieämbetet. Évora har kvar delar av sina gamla stadsmurar, och rymmer en mängd byggnader och minnesmärken från såväl romersk som arabisk tid, bl.a. en ruin av ett Dianatempel från 3:e århundradet. Denna dag var ganska varm och vattnet från fontänen "Fonte das Portas de

Moura" gav svalka. Vår guide irrade runt en smula innan vi nådde lunchen på universitetet. Det är efter Coimbra Portugals näst äldsta från 1559. Några av föreläsningssalarna var bevarade med fantastisk inredning och utsmyckning (bild 1).

Mitt i Sintras äldsta stadsdel ligger Palácio Nacional de Sintra. Palatset är från slutet av 1300-talet och byggdes om i början av 1500-talet. Nu pågår en förmodligen ständigt renovering. Palatset känns igen på de två koniskt formade skorstenarna. Där nerifrån syntes på toppen av ett berg Castelo dos Mouros, en morisk borg från 700-talet.

Quinta da Regaleira är ett stort, brant parkområde som bebyggdes av den excentriske Carvalho Monteiro i början av 1900-talet. Fantasin och förmodligen pengarna har flödat fritt och långs med smala vägar, många stigar ofta med trappor, förs besökaren till tunnlar, grottor, dammar, fontäner och till de sago- och mytologiinspirerade byggnationerna, exempelvis den lilla borgen (bild 2) och "Initiation well" på omslaget.

Nästa olympiad blir den 50:e och den arrangeras i Tel Aviv 7 – 15 juli 2019.

BO SÖDERBERG  
LUNDS UNIVERSITET

MAX KESSELBERG  
STOCKHOLMS UNIVERSITET



Ett nytt frimärke utgavs av Portugal inför den 49:de internationella fysikolympiaden i Lissabon. Postverkets direktör kom och presenterade frimärket för alla deltagare och speciella förstadagskort delades ut till några. Alla deltagare fick dock var sitt frimärke att samla eller att använda till vykort eller brev med hälsningar från Lissabon.



Bild 2: En småtrevlig miniborg perfekt för mingel i trädgården hemmavid.

# Ett timglas tyngd

Det finns en hel del missuppfattningar om fysikaliska förlopp i den populärvetenskapliga litteraturen, vilket jag tidigare påpekat i Fysikaktuellt (nr 1 år 2016). Det kan i sådana fall vara givande att göra en systematisk analys med vetenskaplig metodik för att komma fram till mer korrekta beskrivningar. Sådana övningar kan vara värdefulla för fysikstudenter för att ge en bättre förståelse av vetenskapens natur. Exempel på en frågeställning enligt ovan gäller om det är någon skillnad i tyngd mellan ett rinnande timglas och ett statiskt. Den konventionella motiveringen för en oförändrad tyngd brukar vara följande. Tyngden hos den fallande sanden är  $g \cdot dm/dt \cdot \tau$ , där  $g$  är tyngdaccelerationen  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $dm/dt$  är massflödet genom halsen och  $\tau$  är falltiden. Vid nedslaget sker en ändring i rörelsemängden, som ger en nedåtriktad kraft som exakt kompenserar massminskningen från den fallande sanden.

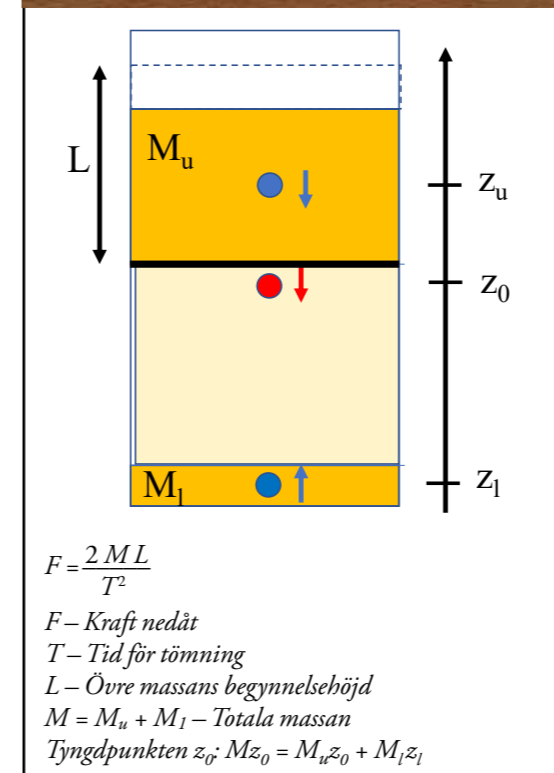
Observera dock att sandrörelse inte bara finns i det fria fallet utan också i den övre behållaren! Vi illustrerar detta med att

modellera timglasets

en cylinder enligt figuren. Vi

ser där hur sandens tyngdpunkt  $z_0$  sjunker med tiden. Eftersom  $z_u$ ,  $z_l$ ,  $m_u$ , och  $m_l$  varierar linjärt med tiden, kommer deras produkter i  $z_0$  att variera kvadratisk. Andraderivatan  $d^2z_0/dt^2$  är därför en konstant oberoende av tiden. Denna representerar en nedåtriktad kraft  $F=2ML/T^2$ . Här är  $M$  massan hos all sand,  $L$  den ursprungliga höjden av sanden i övre behållaren och  $T$  tiden för tömningen. Insättning med realistiska experimentella värden ger typiskt en tyngdökning på 0,01 Newton, svarande mot 1 gram, vilket lätt kan mätas med en våg och visas t ex under en föreläsning. På denna mätbara effekt bör man inte avfärda bidraget som oväsentligt. Den som vill fördjupa sig i detaljerna kan studera en artikel av F. Tuinstra och B.F. Tuinstra i Europhysics News, Volym 41, Nummer 3, sidan 25, år 2010. En annan referens är A. Sack och T. Pöschel, Am. J. Phys. **85**, 98 (2017).

PER-OLOF NILSSON  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA





Gammadata | Improving Science

## FRAMTIDENS LABORATIVA LÄROMEDEL FÖRNYBAR ENERGI

Undervisa  
för en hållbar  
framtid!



[www.gammadata.net](http://www.gammadata.net)

Corporate Headquarters  
Sweden  
+46 18 56 68 00

Gammadata Instrument AB  
Box 2034  
750 02 UPPSALA

[www.gammadata.se](http://www.gammadata.se)  
[info@gammadata.se](mailto:info@gammadata.se)

Sweden  
+46 18 56 68 00

Finland  
+358 40 773 1100

Norway  
+47 330 96 330

Webshop  
[www.gammadata.net](http://www.gammadata.net)