

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

f Fysikaktuell

NR 4 • DEC 2019

Nobelpriset 2019

Sid 8-14

ISSN 0283-9148

Avhandlingen:
Äventyrlig upptäckts-
färd genom labrynter

Sid 16

Skridskoteknik
för ishockey-
spelare

Sid 24

Hur stor är
egentligen
en proton?

Sid 30

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: Jonathan Weidow, jonathan.weidow@chalmers.se
Sekreterare: Joakim Cederkäll, joakim.cederkall@nuclear.lu.se
Skattmästare: Lage Hedin, lage.hedin@physics.uu.se
Adress: Svenska Fysikersamfundet, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet, Box 516, 751 20 Uppsala

Postgiro: 2683-1
E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se
För medlemsfrågor, kontakta Lage Hedin, 076-231 01 37 eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Sektioner

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

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos. Redaktör är Sören Holst, holst@fysik.su.se.

Fysikaktuellt

Vår medlemstidning utkommer med fyra nummer per år, och distribueras även till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.
Redaktion: Margareta Kesselberg, samordning, Måns Henningson, Dan Kiselman, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson och Elisabeth Rachlew.
Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.
Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se
För insänt, ej beställt material ansvaras inte.
Utgivningsdatum 2020: 27/2, 29/5, 28/9, 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 debiteras 4000 kr per år. Bli medlem genom ansökan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html> eller med qr-koden.



Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 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 (20% rabatt). Länk till beställningssida är: <http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index/?Internetkod=057-0571329>

Omslag: Illustration av K2-33b, en av de yngsta exoplaneterna som hittills hittats. Den gör en omloppsbana runt sin stjärna på cirka fem dagar. © NASA/JPL-Caltech

Layout: Göran Durgé

Tryck: Trydells, Laholm 2019

Stödjande medlemmar

- Gleerups Utbildning AB www.gleerups.se
- Laser 2000 www.laser2000.se
- Myfab www.myfab.se
- Scanditronix Magnet AB www.scanditronix-magnet.se

Stödjande institutioner

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

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

3	SIGNERAT <i>Kerstin Ahlström</i>
4-6	AKTUELLT/NOTISER OSENMEDALJEN – INBJUDAN TILL NOMINERING NY FÖRESTÅNDARE FÖR FYSIKCENTRUM SAMLAD NATURVETARKRITIK PÅ SKOLVERKETS KURS-PLANEFÖRSLAG
7	BOKRECENSION RYMDSKURKARNA AV CHRISTER FUGLESANG
8-14	NOBELPRISET 2019 <i>Mats Larsson</i> <i>Ariel Goobar</i> <i>Ulf Danielsson</i>
15	ANNONS WALLENBERGS FYSIKPRIS 2020
16-17	AVHANDLINGEN ÄVENTYRLIG UPPTÄCKSFÄRD GENOM LABYRINTER <i>Frida Lindberg</i>
18-19	INTERVJU FRIDA LINDBERG <i>Margareta Kesselberg</i>
20-23	FYSIKHISTORIA MARIE SKŁODOWSKA CURIE <i>Karl Grandin</i>
24-25	SKRIDSKOTEKNIK <i>Hans-Åke Nässen</i> <i>Nina Nässen</i> <i>Ann-Marie Pendrill</i>
26-27	FYSIKDAGARNA 2019 <i>Jonathan Weidow</i>
28-29	VARDAGENS FYSIK MED DIMMERN STYR DU LJUSET <i>Max Kesselberg</i>
30	PROTONPUSSEL HUR STOR ÄR EGENTLIGEN EN PROTON? <i>Eva Lindroth</i>
31	TACK PO!
32	ANNONS NATUR & KULTUR

Var rädd om vår fysik

Grundskolans kursplaner är under revidering. Spelar det någon roll vad som står där? I förslaget för kursplanen i historia spelade det stor roll vad som stod. Antiken var bortplockad och det blev stor uppståndelse och en artikel i DN-debatt och Skolverket fick till slut backa.

Vid förra revideringen 2011 byttes experiment ut till undersökning i de naturvetenskapliga ämnena. Detta trots protester från lärare och intresseorganisationer som Svenska Fysikersamfundet, men det märktes inte för den breda allmänheten.

Varför protesterade vi? Fysiken är ett experimentellt ämne och jag tror att det är viktigt att var och en som går i dagens skola får experimentera i fysik. Det går att med hjälp av systematiska experiment förklara och förutsäga vad som kommer att hända. Det är inget övernaturligt eller mystiskt. Att trollkarlen kan dra av duken från det dukade bordet utan vända porslinet är bara en tillämpning av en av Newtons lagar. Visst blir våra modeller ofta en grov förenkling för att de ska vara greppbara, men det är bättre det än alternativet, d v s ingen förklaring. Fysiken och de andra naturvetenskapliga ämnena är otroligt viktiga i dagens samhälle och dess tillämpningar underlättar dagligen livet för oss.

I förslaget till ny kursplan i grundskolefysiken är innehållet under centralt innehåll en klar förbättring jämfört med nuvarande. I centralt innehåll under Systematiska undersökningar och granskning av information, står det ”*Observationer och experiment med såväl analoga som digitala verktyg*”. En klar förbättring jämfört med tidigare, men i syftet och i kunskapskraven står det fortfarande bara undersökningar.

Är det något att bråka om? Ja det är det, för det öppnar för att vid nerdrag-



ningar nu när kommunerna får sämre ekonomi att dra ner på laborationernas kvalitet med rimlig gruppstorlek och bra laborationsmateriel. Svenska Fysikersamfundet har tillsammans med Kemisamfundet och Biologilärarnas förening lämnat in ett remissvar där vi vill att experiment finns med i både syfte och kunskapskrav. Jag hoppas att det kan bli en ändring även där. Faktakunskaper har börjat uppvärderas igen. Det går inte att få någon djupare kunskap och förståelse genom att alltid Googla fram svaret. För förståelse krävs fakta och sammanhang.

Varför ska alla läsa fysik? I Sverige läser en större andel av gymnasieleverna fysik jämfört med våra grannländer. Det är bra. Fysik är ett sätt att lära sig att förhålla sig till omgivningen som vi har runt omkring oss. Vi lär oss att kunna systematisera fakta och ifrågasätta om det inte hänger ihop med de slutsatser som dras. Ibland har vi inte tillräckligt underlag för att förklara det som sker och då får vi avvakta tills vi har det.

Vi kanske ska propagera för att alla elever ska läsa minst en fysikkurs på gymnasiet. Då skulle många orimligheter falla platt, t.ex. ”biomagnetism”, där det läggs starka monomagneter på patientens kropp och efter 20 minuter ska de ha de korrigerat kroppens pH. Det kommer inte heller gå att sälja ljusterapi där ljuset släpps in via öronen för att bota vinterdepression.

Kerstin Ahlström

KERSTIN AHLSTRÖM
ORDF. I UTBILDNINGSSEKTIONEN SFS

Oseenmedaljen



I samband med att Svenska Fysikersamfundet fyller 100 år 2020 instiftas ett pris för bästa svenska doktorsavhandling i fysik. Priset delas ut av Nationalkommittén i fysik och har namnet Oseenmedaljen efter samfundets grundare Carl Wilhelm Oseen. Medaljen som delas ut är den minnesmedalj som Vetenskapsakademien slog 1982. En närmare presentation av samfundets grundare och första

ordförande går att hitta i Fysikaktuellt nr 2 2019.

Samfundets stödjande institutioner inbjuds härmed att nominera en avhandling som framlades under 2019. Förslagen skall vara inkomna senast den 31 januari och en kort motivering ska medfölja.

Vinnare kommer att tilldelas Oseenmedaljen och ett diplom och avhandlingen presenteras i samfundets medlems-tidsskrift, Fysikaktuellt.

Kommitten som är utsedd att granska de inskickade avhandlingarna är:

- Johan Mauritsson, Lunds universitet
- Joseph Nordgren, Uppsala universitet (KVA)
- Kenneth Bodin, Algoryx, Umeå

Kontaktperson: Johan Mauritsson,
Oseenmedaljen@fysikersamfundet.se

Ny resurs för alla fysiklärare: Urban Eriksson!

Nationellt resurscentrum för fysik (NRCF) har fått en ny föreståndare, Urban Eriksson. NRCF, som har sin hemvist vid Lunds universitet, är ett av de stödcentra som på nationell basis riktar sig till lärare inom förskolan, grundskolan, gymnasiet och vuxenutbildningen för att ge möjlighet att utveckla utbildningen i naturvetenskap och teknik.



Berätta Urban, vem är du?

Jag har en bakgrund som gymnasielärare i fysik och matematik, men har jobbat länge med lärarutbildning vid Högskolan Kristianstad. Där har jag utbildat blivande lärare på alla nivåer genom åren, men också ägnat mycket energi åt fortbildningsinsatser och "outreach". I huvudsak har den utåtriktade verksamheten utgått från högskolans planetarium som jag varit föreståndare för.

Under åren vid HKr tog jag en lic i astronomi, men mitt stora intresse för studenters lärande i astronomi och fysik gjorde att jag ville fortsätta mina forskarstudier vid Uppsala Universitet där jag disputerade i fysikdidaktik. Egentligen skulle man väl säga astronomididaktik, men det fanns inte som forskarutbildningsämne. Sen har jag ägnat ett antal år åt att fortsätta med utbildning och forskning inom astronomididaktik, vilket lett till att jag nu är ordförande för en grupp som jobbar med astronomididaktisk forskning på internationell nivå, inom den internationella astronomiska unionen.

Nu har jag dock fått nytt jobb vid Lunds universitet där jag kommer att vara föreståndare för NRCF. Dessutom ska jag utveckla fysiklärarprogrammet vid LU och leda den nya forskargruppen inom fysikdidaktik vid institutionen.

På vad sätt kan NRCF stödja fysiklärare?

På vår hemsida, fysik.org, har vi samlat material anpassat för alla stadier, från förskola till gymnasium, och där kan man också få tips om konferenser, kurser och andra fortbildningsmöjligheter. Vår frågelåda, där man kan ställa frågor om allt som har med fysik att göra, innehåller nu 7 441 frågor med svar!

Jag hoppas kunna jobba vidare med de olika resurser och inspirationsmöjligheter som hittills erbjudits, men också i samarbete med övriga anställda kunna utveckla verksamheten och nå ännu fler lärare över landet.

Din företrädare på posten, Ann-Marie Pendrill, har bland annat berett plats

för lekplatser och nöjesparker i fysikundervisningen. Har du något område du särskilt vurmar för?

Jag kommer att fokusera mer på områden som astronomi och modern fysik, något som många lärare upplever som svårt. Här behövs stora insatser, tänker jag.

Du är ansvarig forskare för årets Massexperiment i skolorna, "Stjärnförsöket". Hur har det gått?

Lysandel! Ljus på natten från gatlyktor, ljusskyltar och upplysta byggnader innebär trygghet och trevligare städer, men ju mer ljus desto färre stjärnor kan man se på natthimlen. I Massexperimentet bjuds skolelever, friluftsgupper, klubbar, föreningar och privatpersoner in för att bidra till forskning om ljusföroreningar, helt enkelt genom att räkna antalet stjärnor som går att se genom en hus hållspappsulle.

Vi har lyckats engagera många lärare och deras klasser men vi behöver ännu mer data, så snälla, hjälp oss med detta genom att anmäla er till experimentet och genomföra det med era elever. Ni hittar mer info på ForskarFredags hemsida eller direkt på Stjärnförsökets hemsida <https://forskarfredag.se/forskarfredagsmassexperiment/stjarnforsoket-2019/>.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
HÖGSKOLAN I BORÅS

Samlad naturvetarkritik mot Skolverkets kursplaneförslag

Plocka inte bort att syftet med undervisningen ska vara att eleverna utvecklar kunskaper! Det är en av fem punkter som sju naturvetarorganisationer, däribland Svenska fysikersamfundet, lyfter fram i ett gemensamt remissvar till Skolverket med anledning av förslaget till nya kursplaner för grundskolan. Trots att regeringens uppdrag till Skolverket inkluderade införandet av en ökad betoning på faktakunskaper har Skolverket istället strukit ordet "kunskaper" i portalmeningen under "Syfte" för såväl biologi- och fysik- som kemiämnet.

I höst har Skolverket presenterat ett förslag på nya kursplaner för grundskolan, något som hittills främst har uppmärksammat för att det innehöll ett slopande av antiken i historieundervisningen. Förslaget har därefter varit ute på remiss, och nu i december ska Skolverket lämna över ett reviderat kursplaneförslag till regeringen.

Biologilärarnas förening, Svenska EUSO, LMNT, Nationellt resurscentrum för biologi och bioteknik, Nationellt resurscentrum för fysik, Svenska fysikersamfundet och Svenska kemisamfundet har gemensamt arbetat fram ett remissvar gällande de naturvetenskapliga ämnena. I detta konstaterar organisationerna att förslaget, trots goda ansatser, uppvisar grundläggande och generella brister för ämnena biologi, fysik och kemi. Att utvecklande av kunskaper inte längre ska vara huvudsyftet med undervisningen är en av de punkter som organisationerna vänder sig mot. En annan är att kursplaneförslagen kan ge intrycket att ovetenskapliga förklaringsmodeller jämföras med naturvetenskapliga. Kurs-

planerna måste istället vara ett tydligt stöd för lärarna när till exempel idéer om intelligent design dyker upp vid undervisning om universums utveckling och organismernas evolution menar organisationerna.

Laborationer och aktuell kunskap

En tredje punkt som framhålls är att det praktiska arbetet i form av undersökningar, observationer och experiment vid fältstudier och laborativ verksamhet behöver få en betydligt större tyngd än vad som anges i förslaget.

– Vi får signaler från lärare att man på vissa skolor inte har någon praktisk verksamhet överhuvudtaget. Detta är mycket alarmerande, säger Britt-Marie Lidesten från Nationellt resurscentrum för biologi och bioteknik. Det måste framgå i kursplanerna att det är tvingande att inkludera fältstudier och laborativ verksamhet i undervisningen.

Som fjärde punkt i remissvaret påpekar organisationerna att det är viktigt att eleverna får se att naturvetenskapen inte är statisk utan att här sker en extremt

snabb utveckling. Utbildning och yrken inom det naturvetenskapliga fältet har därför mycket goda framtidsutsikter:

– I detta sammanhang är det obegripligt att kursplanerna inte har uppdaterats beträffande ny kunskap som exempelvis molekylärbiologi/genetik och att det saknas en punkt i centrala innehållet om att elever ska få ta del av aktuell kunskap inom respektive ämne, skriver naturvetarorganisationerna.

Mer ojämlig betygssättning

Slutligen påpekas i remissvaret att det gjorts en alltför kraftig minskning av beskrivningen av kunskapskraven. Det är här formuleringarna som ligger till grund för betygssättningen finns. Organisationerna framhåller att en alltför knapphändig beskrivning öppnar för olika tolkningar och med stor sannolikhet medför en mer ojämlig betygssättning samtidigt som det blir svårt för lärare att använda sig av, och hänvisa till, kunskapskraven vid bedömning och betygssättning.

Fysikämnet: Stjärnhimlen och månens faser försvinner

Det är inte bara i portalmeningarna som skolverksförslaget försvagar kunskapsuppdraget, även under beskrivningen av "Centralt innehåll" syns en uttunning. I kursplanerna för fysik har såväl "Månens olika faser" som "Stjärnbilder och stjärnhimlens utseende vid olika tider på året" strukits från årskurs 1–3, och detta utan att momenten återfinns i senare stadier. Från årskurs 7–9 har "Hävarmar och utväxling i verktyg och redskap, till exempel i saxar, spett, block och taljor" plockats bort utan att momentet tagits med under tidigare stadier. Vad gäller partikel- och elektromagnetisk strålning har bara "användningsområden och risker" behållits, "fysikaliska modeller för att beskriva och förklara uppkomsten" av dem har strukits.

Såväl Skolverkets förslag som nuvarande kursplaner finns publicerade på Skolverkets hemsida, www.skolverket.se.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON,
HÖGSKOLAN I BORÅS



LTH:s julkalender

Även i år öppnar studenter från LTH dina kunskapsluckor! I en kalkad av experiment som räcker ända fram till julafton visar de olika

experiment och hur roligt det kan vara med naturvetenskap. Julkalendern hittar du på: <http://www.lth.se/julkalender>

På skoj och allvar i rymden

Det är snart julafton, både när du läser det här och i inledningen av Christer Fuglesangs senaste barnbok. Mariana och

Markus är ute och skidar i skogen tillsammans med sin hund Rufus. Plötsligt landar en stor färgglad raket precis där de tänker sätta sig och fika och ut kommer farbror Albert (som är förvillande lik Einstein med yvigt hår och rufsigt mustasch). Mariana och Markus har redan varit på flera äventyr tillsammans med farbror Albert (och musen Max) som ni kan läsa om i Rymdresan, Sifferplaneten, Vattenvärlden, Det svarta hålet (se recension i FA nr 3 2016) och Schackjakten. De olika böckerna har olika illustratörer och det märks på stilarna, men de är tillräckligt lika för att man ska känna igen sig och bilderna är alltid mycket fina. I Rymdskurkarna ger sig barnen återigen ut på äventyr tillsammans med farbror Albert och som vanligt blandas fakta och fantasi på ett trevligt och stimulerande sätt. Boken följer samma upplägg som de tidigare med en del som innehåller berättelsen om barnen och farbror Albert och en faktadel. I den första delen av boken stöter de på flera spännande saker som ibland kan vara lite svåra att förstå och för att underlätta diskussionen så finns den andra delen av boken med fakta och förklaringar. Det är ett pedagogiskt och mycket uppskattat upplägg.

Boken innehåller flera aktuella teman som kan leda till långa diskussioner mellan barn och föräldrar (det är alltså en bok som med fördel läses tillsammans). Christer behandlar t ex hur GPS fungerar och fördelarna det medför, men man kan också diskutera riskerna med att hela tiden kunna följa exakt var någon befinner sig och hur de rör sig.



Teckning av Ellen Mauritsson, inspirerad av boken.

Rymdskurkarna
Christer Fuglesang
ISBN: 9789188589583

Förlag Fri tanke
Ges ut i december 2019
121 sidor
Pris: ca 149 kr



Jubileumsår 2020!

Fysikersamfundet fyller 100 år under 2020, vilket kommer att uppmärksammas under året på olika sätt. Välkommen som jubileumsmedlem och ta del av firandet under året.



Eftersom farbror Albert har uppfunnit en antiprotonsvarthålsrakett som gör det möjligt att resa i tiden genom svarta hål med raketten Rymdlisa går det också att vara med vid historiska händelser. Och vad kan var lämpligare än att åka 50 år tillbaka i tiden och från första parkett se när Neil Armstrong och Buzz Aldrin 1969 landar med en rymdkapsel på månen och för första gången sätter en fot på månens yta. Även om man vet att de kommer att lyckas är det spännande att läsa om hur de letar efter en plats att landa på och tiden långsamt rinner ut och hur nära det var att de var tvungna att vända tillbaka och att det i så fall hade blivit någon annan som tog det första steget ut på månens yta.

Den första månlandningen är givetvis aktuell i och med 50-årsjubileet och

bilden av jorduppgången, tagen med en Hasselbladskamera året innan, är alltid aktuell. Jorduppgången över månen sågs för första gången ombord på Apollo-8 och inspirerade till det miljötänk som idag är så närvarande hela tiden. Den ikoniska bilden är mycket stark och tänkvärd och används ofta för att belysa hur litet vårt klot är och hur rädda vi måste vara om det. Vi måste ta hand om det lilla blå klotet som seglar så ensamt genom universum!

Det är bra att allvarliga problem blandas med roliga händelser i boken för då blir det lättare för barnen att bibehålla intresset för boken och lära sig nya saker. Christer lyckas med den här balansakten mellan skoj och allvar mycket bra – boken blir både spännande och lärorik. Han lyfter fram allvarliga problem som mil-

jöproblem och klimatförändringar utan att skrämma barnen, istället förmedlas en hoppfull inställning som antyder att det kan finnas nya lösningar som vi inte känner till idag. Kanske kommer våra problem med klimatförändringarna inte att lösas av en syresten från ett annat solsystem, men för barnen är det uppmuntrande att läsa om det på det här sättet. Det bäddar för att de kommer att se möjligheter och kreativa lösningar på olika problem istället för att rycka på axlarna och ge upp.

Det är en mycket bra bok som vi båda två varmt kan rekommendera som julklapp till både stora och små barn.

ELLEN MAURITSSON, 10 ÅR
FLYGELSKOLAN I LUND
JOHAN MAURITSSON, 43 ÅR
LUNDS UNIVERSITET



Nobelpriset i fysik 2019



”för bidrag till vår förståelse av universums utveckling och jordens plats i universum”



James Peebles

”för teoretiska upptäckter inom fysikalisk kosmologi”



Didier Queloz Michel Mayor

”för upptäckten av en exoplanet i bana kring en solliknande stjärna”

Årets Nobelpris är ett delat pris, där den ena delen tilldelas James Peebles och den andra gemensamt till Michel Mayor and Didier Queloz. En del kanske tror att det måste finnas ett samband mellan de två delarna när ett delat Nobelpris delas ut, men så är faktiskt inte fallet. Det enda som krävs är att de två delarna var för sig är värda prisbelöning. Däremot är det självklart inget som hindrar att det finns ett övergripande tema, och så är fallet i år, där Universum är det gemensamma temat.



James Peebles ”för teoretiska upptäckter inom teoretisk fysikalisk kosmologi”

Stora genombrott har skett under de senaste decennierna kring förståelsen av universums innehåll, ålder och utveckling. Ena hälften av årets Nobelpris i fysik fokuserar på de omvälvande teoretiska upptäckterna som ledde till en omvandling av kosmologin från spekulationer till en precisionsvetenskap.

Fysikalisk kosmologi

Upptäckten av den kosmiska mikrovågsbakgrunden (Penzias och Wilson, 1965) [1] revolutionerade förutsättningarna för vår förståelse av universums egenskaper. James Peebles var bland de första som såg möjligheten att utveckla kosmologin till en precisionsvetenskap genom att kombinera observationerna av universums tidigaste fas med fundamental teoretisk fysik. Han lade på så sätt grunden till *fysikalisk kosmologi*. Peebles teoretiska arbeten var vägledande för astronomerna när de utvecklade nya tekniker för att undersöka universums ålder, innehåll och förutsättningarna för bildandet av de strukturer vi ser idag i form av stjärnor och galaxer.

Big Bang, kosmisk bakgrundsstrålning, lätta grundämnen och galaxbildning

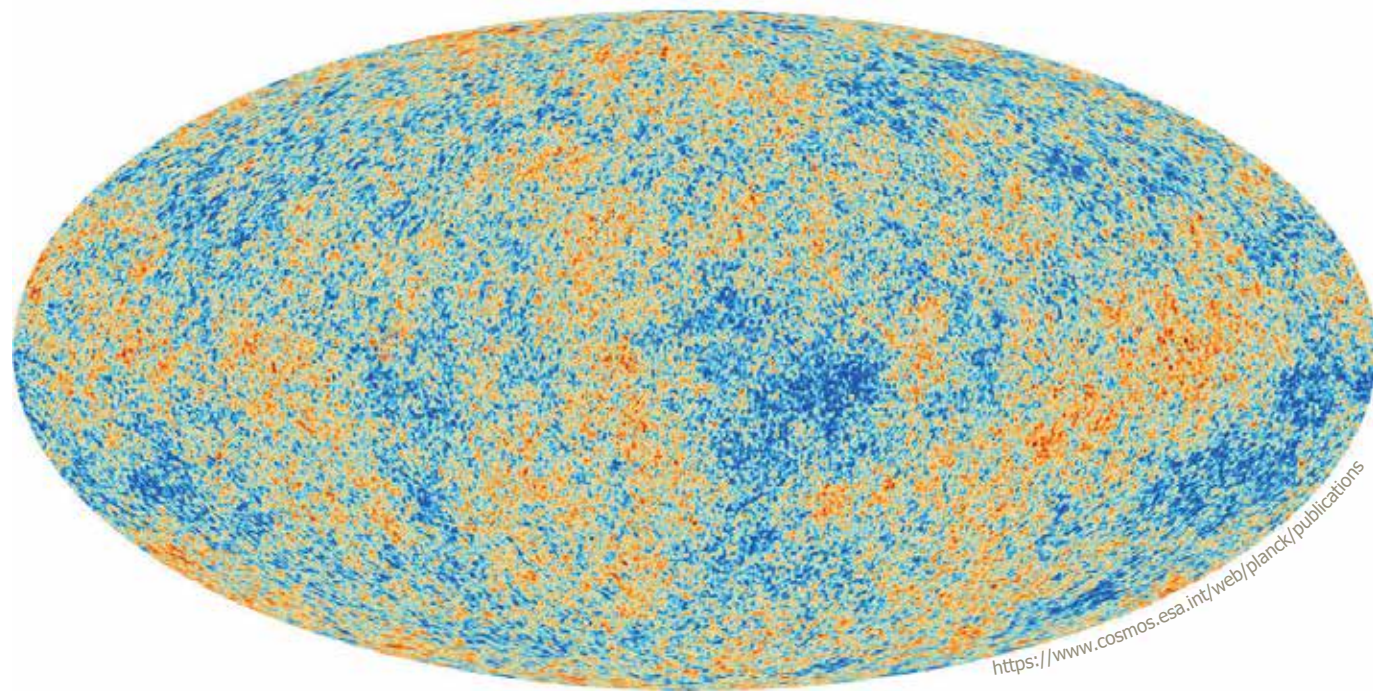
Den radiosignal som Penzias och Wilson [1] helt oväntat upptäckte var oberoende av vilken del av himmelen teleskopet observerade och på så sätt helt olik alla andra astronomiska källor. I en artikel i samma volym av *Astrophysical Journal*

Letters, förklarade Princetonforskarna Dicke, Peebles, Roll & Wilkinson [2] vad som just hade uppträffats: den kosmiska mikrovågsbakgrunden som utgör spåren från universums heta begynnelse, *Big Bang*, för nästan 14 miljarder år sedan. Som underlag för det dramatiska påståendet, hänvisade Princetongruppen till en artikel av Peebles som ensam författare, [3], inskickad två månader tidigare. Där återfinns de detaljerade beräkningar som slutsatsen baserades på. Redan 1948 hade Gamow [4] och Alpher & Herman [5] lagt grunderna för en modell för Big Bang där ”ursmällen”, den heta och täta fasen vid universums begynnelse, följdes av expansion och snabb kylning. Temperaturen i plasmat föll i takt med ökningen av universums *skalfaktor* som anger hur universum utvidgas. Big Bangmodellen förutsade förekomsten av bakgrundsstrålningen som idag har en temperatur på bara ett fåtal grader Kelvin, dvs i radioområdet av det elektromagnetiska spektrumet.

Under universums första knappa 400 000 år var strålningen i termisk

jämvikt med den *baryoniska materian*, i huvudsak protoner och atomkärnor för lätta grundämnen. När temperaturen föll under 3000 K, räckte inte energin till att jonisera atomerna och elektroner och atomkärnor kunde slås samman till atomer. Denna *frikoppling* av strålningen gjorde universum genomskinligt. Efter som universum har expanderat med en skalfaktor tusen sedan frikopplingen, har temperaturen sjunkit till bara 3 K.

Förutom att komma fram till liknande slutsatser som Gamow, Alpher och Herman, tog Peebles beräkningarna flera steg längre. Han kunde tex förklara hur uppkomsten av galaxer följde ur samspelet mellan strålning och materia. Peebles räknade fram att stabila strukturer kunde bildas efter frikopplingen, dvs när strålningstrycket nästintill upphörde att påverka baryonerna. Dessutom kunde Peebles förklara storleksordningen på galaxernas massa, där de minsta har runt en miljon gånger solens massa. Ett år senare publicerade Peebles ytterligare två teoretiska studier [6,7], denna gång av kärnreaktionerna under de första minuterna



Figur 1 visar en bild av den kosmiska bakgrundsstrålningen tagen av Plancksatelliten. Fläckarna av olika färg svarar mot områden med olika temperatur.

efter ursmällen. Dessa möjliggjorde en precis uppskattning av hur stor mängd lätta grundämnen som kunde bildas genom fusionsreaktioner av neutroner och protoner under den heta tidiga fasen. Peebles arbete fokuserade särskilt på den resulterande andelen helium på 25 % av den kosmiska massdensitet som utgörs av atomer. Big Bangmodellen blev allmänt accepterad tack vare den goda överensstämmelsen mellan de teoretiska förutsägningarna och observationerna. Dock återstod att göra en noggrann inventering av universums geometri och innehåll.

Den tidiga fysikens guldgruva: temperaturfluktuationerna

Sachs och Wolfe [8] var först med att 1967 argumentera för att det borde finnas anisotropier i mikrovågsbakgrunden, dvs små temperaturskillnader i olika riktningar. Dels förväntar man sig fler och mer energetiska fotoner från områden med högre densitet och större gravitationell sammanpressning. Å andra sidan skulle fotonerna tappa mer energi när de klättrar upp ur den större gravitationella potentialen. Intressant nog tar inte dessa två effekter helt ut varandra, utan den senare är något starkare. Tätare områden

kommer därför att visa en något lägre temperatur.

År 1970 kom nästa genombrott för fysikalisk kosmologi. Peebles tillsammans med doktoranden Yu [9], och på andra sidan Atlanten Sunyaev och Zeldovich [10] i dåvarande Sovjetunionen, kunde visa att mätningar av vinkelberoendet hos anisotropierna, speciellt vad gäller vinklar runt 1 grad ner till nära bågmimuter, kunde användas för att läsa några av universums viktigaste egenskaper som geometri, ålder och sammansättning. Skälet till detta är samspelet mellan baryonisk materia och strålning som leder till akustiska vågor vilka påminner om ljudvågor i ett musikinstrument. Det som bestämmer vinkelskalan för de allra största svängningarna är hur långt de akustiska vågorna hann utbreda sig under de 400 000 år som universum existerat innan strålningens frikoppling. Detta motsvara "grundtonen" i svängningen. Övertonerna, dvs kortare våglängdsskalor, svarar mot områden där gravitationens attraktiva kraft och strålningstryckets motkraft lett till fler förtätningar och förtunningar hos plasmat. Dessa kan jämföras med stående vågor i ett musikinstrument. Det skulle dröja många år innan det fanns instrument

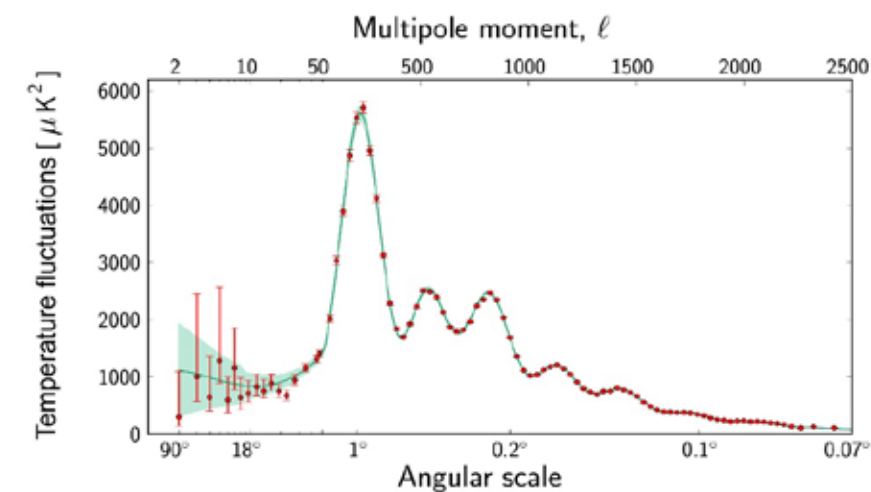
som hade den känslighet som krävdes för att mäta temperaturanisotropierna i mikrovågsbakgrunden.

Mörk materia och mörk energi

I början på 1980 talet var frustrationen stor bland de astronomer som studerade mikrovågsbakgrunden. Sachs och Wolfe [8] hade uppskattat att temperaturskillnaderna skulle ligga på procentnivå. I själva verket hade observationerna utslutit anisotropier mer än hundra gånger mindre. Återigen kunde Peebles visa vägen. Att effekten hade överskattats av Sachs och Wolfe berodde på att de hade använt sig av en felaktig modell av universums innehåll. I en artikel från 1982 [11] föreslog Peebles för första gången att en stor del av universums materia kunde utgöras av icke-relativistiska partiklar som inte växelverkar med strålning, så kallad *kall mörk materia*. Förekomsten av mörk materia ("dunkel materie") i astronomiska strukturer som galaxer och galaxhopar hade föreslagits redan på 1930-talet av Knut Lundmark [12] och Fritz Zwicky [13]. Lundmark och Zwicky hade båda funnit att hastigheterna runt masscentra tydde på mycket större innesluten massa än vad som kunde associeras med synlig

materia. Peebles modell med kall mörk materia från 1982 kunde alltså förklara de kinematiska observationerna från 1930-talet och framåt, samt den kraftigt reducerade amplituden hos temperaturanisotropierna av mikrovågsbakgrunden. När kall mörk materia togs in i beräkningen fann Peebles att temperaturskillnaderna bara skulle ha en kontrast på $\delta T/T = 5 \times 10^{-6}$. Modellen fick starkt stöd när COBE-satelliten år 1992 [14] upptäckte anisotropier i mikrovågsbakgrunden med precis den amplitud som Peebles hade räknat fram. COBE-forskarna Mather och Smoot belönades med 2006 års Nobelpris i fysik för upptäckten. Sedan mitten på 80-talet har jakten på så kallade WIMPS, svagt växelverkande tunga partiklar som skulle kunna utgöra kall mörk materia, varit i full gång. Trots att man utnyttjat både labbexperiment och astronomiska observationer har sökandet hittills varit helt framgångslöst. Andra alternativ för kall mörk materia har föreslagits, till exempel *axioner*, som föreslagits som en lösning på ett subtilt problem inom partikelfysiken. Till skillnad från WIMPS, skulle axionen vara en ytterst lätt partikel, men ändå icke-relativistisk och utgöra den mörka materian genom en mycket större antalstäthet av partiklar. Sökandet efter WIMPS och axioner utgör kärnan av astropartikelfysikernas experimentella verksamhet.

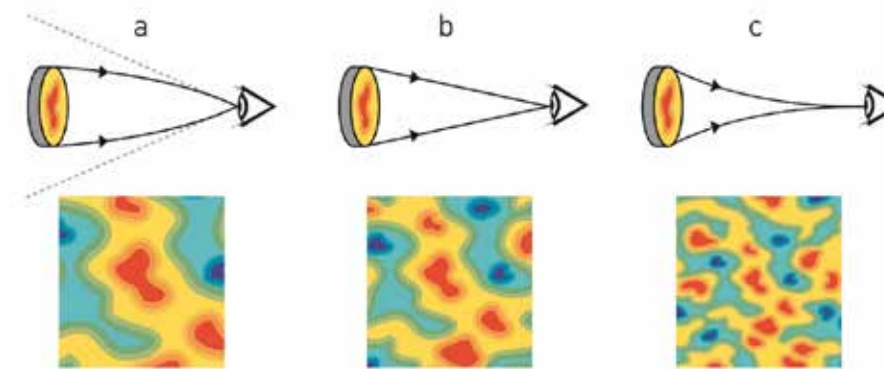
Den sista pusselbiten i den moderna kosmologins standardmodell, Λ -CDM, är den kosmologiska konstanten, Λ , eller mer generellt *mörk energi*. Även här spelade Peebles en viktig roll. Den kosmologiska konstanten postulerades av Einstein redan 1917, men föll snabbt i onåd bland fysiker, inte minst Einstein själv. Anledningen var att Λ , som motverkar den attraktiva gravitationen, hade förts in av fel anledning. Einstein trodde, liksom de flesta andra, att universum var statiskt. Utan en motkraft skulle således universum kollapsa under sin egen tyngdkraft. När Lemaitre [15] och Hubble [16] visade att universum inte var statiskt, utan faktiskt expanderade, var Λ -termen inte längre nödvändig. I själva verket hade redan tidigare Friedman [17] och Lemaitre [15], oberoende av varandra, påpekat att



I figur 2 återges en kurva som visar hur många fläckar det finns av olika storlekar. Allra flest är de fläckar som har en vinkelstorlek omkring en grad på himlen. Topparna i figur 2 berättar om de akustiska vågor som gick genom plasmat i det tidiga universum och fick plasmatets täthet att svänga fram och tillbaka. Den första och största toppen svarar mot vågor som vid frikopplingen precis hunnit komprimera plasmat till maximal täthet. Den andra toppen svarar mot att strålningen hunnit pressa tillbaka plasmat till

minimal täthet. Vågor där tätheten för en andra gång når maximalt värde ger upphov till den tredje toppen.

Ur de tre topparnas positioner och amplituder kan man läsa av universums sammansättning. I figur 3 framgår hur universums geometri kan bestämmas ur den första toppens position. Mätningar visar att universum är mycket nära platt – dvs parallella linjer möts aldrig – och därför har vad man kallar den kritiska tätheten.



Ju mer baryonisk materia desto kraftigare kommer den första kompressionen att bli relativt den första dekompressionen. Dvs, ju högre den första toppen är relativt den andra, desto mer materia. Mätningar visar att den baryoniska materien utgör 5 % av denn kritiska tätheten.

Vid den första toppen pressas också den mörka materien samman av gravitationen. Till skillnad från den baryoniska materien påverkas inte den mörka materien av strålningstrycket. Detta innebär att den inte studsar tillbaka utan

förblir sammanpressad. Detta leder till en djupare gravitationsbrunn för den baryoniska materien att falla ner i när den komprimeras en andra gång. Detta innebär att den tredje toppen får en större amplitud om det finns mer mörk materia. Mätningar visar att den mörka materien utgör 26 % av den kritiska tätheten.

Eftersom universums energiinnehåll måste summera upp till 100 % av den kritiska tätheten följer det att det måste finnas 100 % – 26 % – 5 % = 69 % mörk energi.

inte ens med Λ kunde ekvationerna ge en stabil lösning för ett statiskt universum. Inspirerad av inflationsteorin, som lagts fram som en lösning på de finjusterade begynnelsevillkoren i Big Bangmodellen, föreslog Peebles 1984 [18] att Einsteins Λ borde återinföras. Den kosmologiska vakuumenergin associerad med Λ -termen, tillsammans med baryontätheten och mörka materian, skulle göra att universums uppnådde en kritisk energitäthet nödvändig för att få en "plan" geometri. Λ -CDM modellen fick ett enormt genomslag 1998 när observationer av supernovor som använts som avståndsmätare visade att universums expansion *accelererar* [19,20]. Ledarna för de två forskargrupperna bakom supernovamätningarna, Perlmutter, Schmidt och Riess delade på 2011 års Nobelpris i fysik.

Eran av precisionskosmologi

Peebles teoretiska upptäckter från början av 60-talet fram till början av 80-talet var länge bortom räckhåll för observationella tester. Eran av precisionskosmologi fick sitt första genombrott först med NASAs COBE-satellit, som följdes upp av WMAP, ytterligare en NASA-satellit som sköts upp 2001 och revolutionerade observationerna av universums tidiga skede under de nio år som satelliten samlade data. Kronan på verket var Europeiska Rymdorganisationens *Planck*-satellit, vars temperaturkarta visas i Figur 1, och den statistiska analysen i Figur 2. Genom att tillämpa Peebles fysikalisk kosmologi kunde man visa att universums geometri är "plan", dvs har kritisk energitäthet, se Figur 3.

Peebles tidiga arbeten har hjälpt oss att helt revidera vår världsbild. Vi har bl.a. insett att de atomer som vi är gjorda

av endast utgör en ringa del av den kosmiska sammansättningen, som till stor del består av mörk materia och mörk energi.

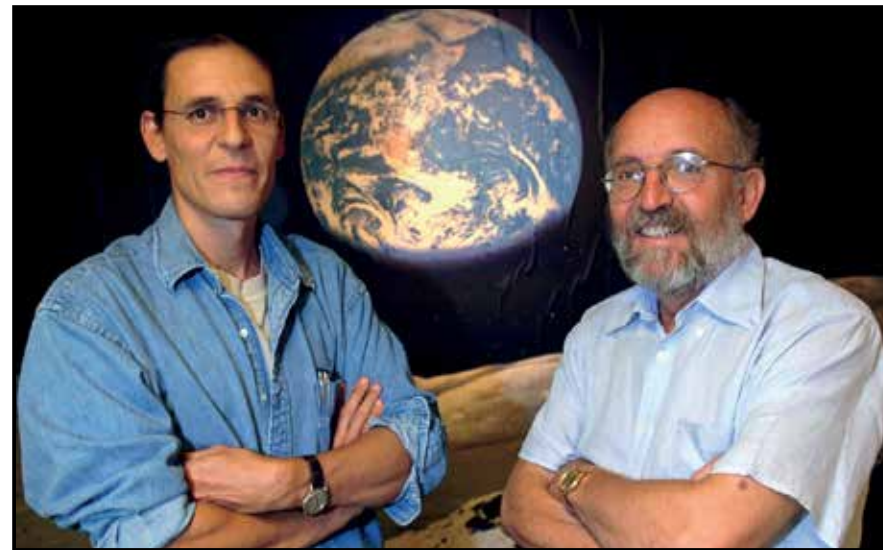
Den mörka energin och den mörka materien utgör fysikens allra största gåtor. Medan det finns förslag på vad den mörka materien skulle kunna vara för något, är fysiken bakom den mörka energin helt okänd. Gåtan om den mörka energin utgör en viktig inspirationskälla för försöken att förena kvantmekaniken och gravitationen i form av strängteori. Samspelet mellan teori och allt mer precisa observationer kommer att vara bland de hetaste områden inom fysiken, även i den överblickbara framtiden.

ARIEL GOOBAR
STOCKHOLMS UNIVERSITET,
OSCAR KLEIN CENTRET

ULF DANIELSSON
UPPSALA UNIVERSITET

Referenser

- [1] A.A. Penzias and R.W. Wilson, *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*, Astrophys. J. **142**, 419 (1965)
- [2] R.H. Dicke, P.J.E. Peebles, P.G. Roll and D.T. Wilkinson, *Cosmic black-body radiation*, Astrophys. J. **142**, 414 (1965)
- [3] P.J.E. Peebles, *The black-body radiation content of the Universe and the formation of galaxies*, Astrophys. J. **142**, 1317 (1965)
- [4] G. Gamow, *The origin of elements and the separation of galaxies*, Phys. Rev. **74**, 505 (1948)
- [5] R.A. Alpher and R.C. Herman, *Evolution of the Universe*, Nature **162**, 774 (1948)
- [6] P.J.E. Peebles, *Primeval helium abundance and the primeval fireball*, Phys. Rev. Lett. **16**, 410 (1966)
- [7] P.J.E. Peebles, *Primordial helium abundance and the primordial fireball II*, Astrophys. J. **146**, 542 (1966)
- [8] R.K. Sachs and A.M. Wolfe, *Perturbations of a cosmological model and angular variations of the microwave background*, Astrophys. J. **147**, 73 (1967)
- [9] P.J.E. Peebles and J.T. Yu, *Primeval adiabatic perturbation in an expanding Universe*, Astrophys. J. **162**, 815 (1970)
- [10] R.A. Sunyaev and Y.B. Zeldovich, *Small-scale fluctuations of relic radiation*, Astrophys. Space Sci. **7**, 3 (1970)
- [11] P.J.E. Peebles, *Large-scale background temperature and mass fluctuations due to scale-invariant primeval perturbations*, Astrophys. J. **263**, L1 (1982)
- [12] K. Lundmark, *Über die Bestimmung der Entfernungen Dimensionen, Massen und Dichtigkeiten für die nächstgelegenen anagalaktischen Sternsysteme*, Lund Medd. **125**, 1 (1930)
- [13] F. Zwicky, *Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln*, Helv. Phys. Acta **6**, 110 (1933)
- [14] G.F. Smoot et al., *Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps*, Astrophys. J. Lett. **396** L1 (1992)
- [15] G. Lemaître, *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuse extra-galactiques*, Ann. Soc. Sci. Bruxelles **47A**, 49 (1927)
- [16] E. Hubble, *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*, Proc. Natl. Acad. Sci. **15**, 168 (1929)
- [17] A. Friedman, *Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes*, Z. Phys. **21**, 326 (1924)
- [18] P.J.E. Peebles, *Tests of cosmological models constrained by inflation*, Astrophys. J. **284**, 439 (1984)
- [19] A.G. Riess et al., *Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant*, Astron. J. **116**, 1009 (1998)
- [20] S. Perlmutter et al., *Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae*, Astrophys. J. **517**, 565 (1999)



Didier Queloz och Michel Mayor

"för upptäckten av en exoplanet i bana kring en solliknande stjärna"

Upptäckten av den första exoplaneten i bana kring en solliknande stjärna gjordes av Michel Mayor och Didier Queloz år 1995. Upptäckten belönas i år med ett gemensamt Nobelpris till Mayor och Queloz. Årets första nummer av Fysikaktuellt innehåller en artikel om exoplaneter skriven av Markus Janson vid institutionen för astronomi vid Stockholms universitet, och på hemsidan nobelprize.org kan man hitta vetenskapligt bakgrundsmaterial och populärvetenskaplig beskrivning av årets Nobelpris. Jag ska därför i denna artikel försöka hitta en lite annorlunda vinkling istället för att upprepa redan publicerat material.

Mayor och Queloz var inte de första att leta efter exoplaneter. Sökandet efter exoplaneter hade pågått i mer än tio år när Mayor och Queloz påbörjade sin sök-kampanj 1994. Vad var det som gjorde dem framgångsrika?

Radialhastighetsmetoden är en av flera metoder att studera binära stjärnsystem. Man mäter spektroskopiskt de dopplerrörelser som uppstår när två stjärnor roterar kring sin gemensamma tyngdpunkt. Redan på 1950-talet stod det klart att metoden borde kunna användas för att upptäcka planeter i bana kring andra stjärnor än solen. Problemet var att även en planet av Jupiters storlek ger upphov till en vaggande rörelse hos solen som är endast 12 m/s. Det skulle dröja in på 1980-talet innan så små hastighetsvariationer kunde mätas. Figur 1 visar principen för radialhastighetsmetoden.

Gordon Walker och Bruce Campbell vid universitetet i British Columbia i Kanada lyckades i början av 1980-talet konstruera en spektrometer som hade tillräcklig noggrannhet för att upptäcka exoplaneter. Man använde Kanada-Frankrike-Hawaii-teleskopet på Mauna

Kea tillsammans med en spektrometer som använde en absorptionscell med vätefluorid för kalibrering av stjärnspektra. Stjärnljuset fick passera absorptionscellen innan det gick vidare in i spektrometern. På så sätt fick Walker och Campbell stjärnspektra överlagrat med vätefluoridens välkända spektrum. År 1988 publicerade Walker och Campbell en artikel tillsammans med Stephenson Yang vid universitet i Victoria, där de visade resultat som skulle kunna tyda på att stjärnan Gamma Cephei hade en jupiterliknande planet i en bana med en omloppstid av 2,5 år. Fyra år senare hade Bruce Campbell lämnat gruppen, och Gordon Walker hade tillsammans med andra medarbetare kommit fram till att den vaggande rörelsen hos Gamma Cephei berodde på effekter i stjärnans atmosfär och inte på en jupiterliknande planet. Tre år senare, i augusti 1995, publicerade Walker och medarbetare en översiktsartikel om sökandet efter exoplaneter. Nu hade även Geoffrey Marcy och Paul Butler påbörjat sökandet efter exoplaneter vid Lick-observatoriet i Kalifornien. Slutsatsen i översiktsartikeln var att ännu hade ingen exoplanet observerats, trots närmare 15 års ansträngningar, och att detta var en utmaning för teorier för planetbildning.

Mayor hade tillsammans med medarbetare, däribland Queloz, färdigställt en spektrograf som var noga genomtänkt för att söka efter exoplaneter. Figur 2 visar ELODIE, en echellespektrometer som arbetar i höga diffraktionsordningar för att få hög upplösning. Mayor och Queloz använde medvetet inte en absorptionscell för kalibrering, eftersom cellen "stjäl" en del av stjärnljuset. Istället matade man såväl stjärnljuset som kalibreringsljus från en thorium hålkatodslampa med optiska fibrer in i spektrografen. En CCD-kamera användes för registrering av spektra, och datatagningssystemet var utformat så att man kunde få fram ett stjärnspektrum inom 30 minuter. ELODIE användes vid Haute-Provence-observatoriet i södra Frankrike.

Mayor och Queloz valde alltså en strategi som gick ut på att observera så många stjärnor som möjligt. När kam-

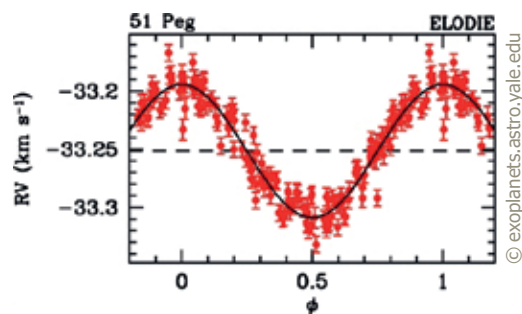
panjen började 1994 hade man valt ut 142 stjärnor, vilket kan jämföras med de dryga 20 stjärnor som Walker och Campbell hann med under mer än 10 år av observationer.

Det är lätt gjort att man tror att en jupiterliknande planet ska ligga på ungefär samma avstånd från moderstjärnan som Jupiter, och ha en omloppstid på flera år. När Mayor och Queloz observerade stjärnan 51 Pegasi (se figur 3), så observerade de en vaggande rörelse med perioden 4,23 dagar. Den korta omloppstiden gjorde att de kunde följa den vaggande rörelsen över flera perioder. När manuskriptet anlände till *Nature* den 29 augusti 1995 hade Mayor och Queloz övertygat sig själva om att detta verkligen var en jupiterliknande planet i bana kring 51 Pegasi, så övertygade att de även använde "Jupiter-mass companion" i titeln. Manuskriptet anlände alltså samma månad som Gordon Walker publicerat sin översiktsartikel, och han blev av *Nature* utsedd till referee. Walker blev alltså en av de allra första att få nyheten om planeten 51 Pegasi b. Den 6 oktober 1995, vid en konferens i Florens, presenterades upptäckten, och den 23 november publicerades artikeln i *Nature*.

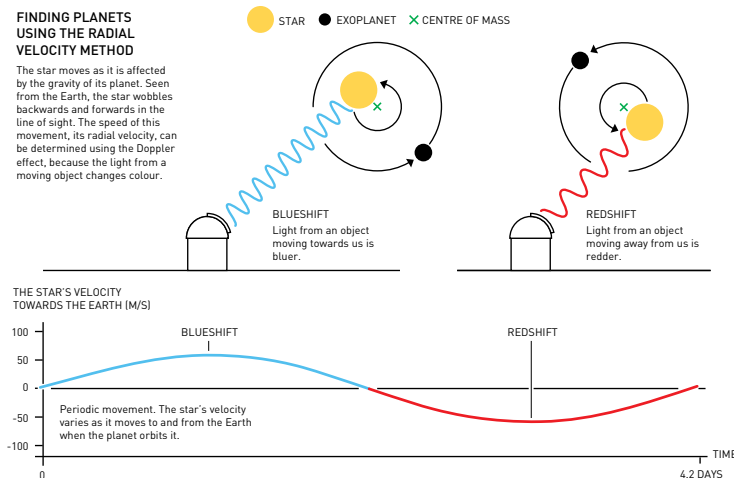
Ibland kan skillnaden mellan framgång och bakslag vara hårfin. År 2002 hade Gordon Walker tillsammans med medarbetare till slut kommit fram till att den periodiska rörelsen hos Gamma Cephei faktiskt berodde på en exoplanet.

Den korta omloppstiden för 51 Pegasi b gjorde att andra radialhastighetsgrupper snabbt kunde bekräfta upptäckten. Den eventuella skepsis som fanns i början försvann snabbt, och under de nära 25 år som gått sedan upptäckten av en exoplanet kring 51 Pegasi, har området växt enormt. I skrivande stund har mer än 4000 exoplaneter upptäckts, vi vet att vårt eget solsystem inte på något sätt är typiskt, att variationsrikedomen är betydande, och att det finns jordliknande planeter i beboeliga zoner. Exoplanetforskning kommer att vara ett mycket aktivt område inom astronomin under många år framöver, och där naturligtvis observationer av biosignaturer i exoplanetatmosfärer är en spännande och fullt realistisk möjlighet.

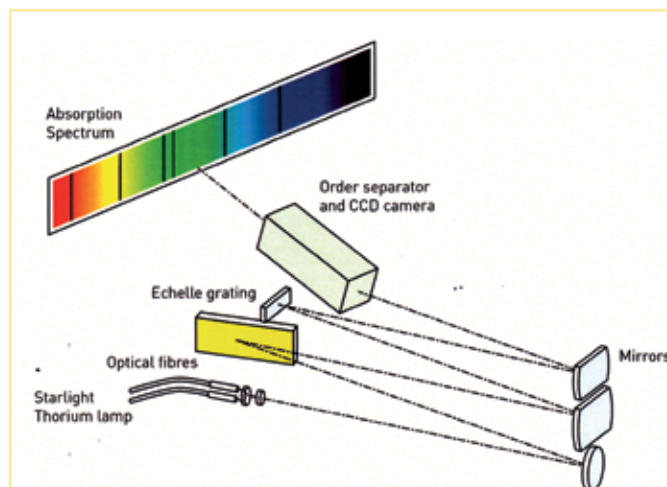
MATS LARSSON
STOCKHOLMS UNIVERSITET



Figur 4. Omloppsfasen för den Jupiterliknande planeten 51 Pegasi b.



Figur 1. Radialhastighetsmetoden



Figur 2. Spektrografen ELODIE



Figur 3. Stjärnhimlen i Stockholm i oktober. Stjärnan 51 Pegasi är markerad.

Fig 1-3 © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2020

KVALIFICERINGSTÄVLING

23 januari på din skola

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

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

Anmäl dig till din fysiklärare!

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

FYSIKVECKA, FINALTÄVLING & EuPhO

De 18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 16–20 mars 2020 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn 23–26 april 2020.

De fem bästa i kvalificeringstävlingen erbjuds delta i Europeiska fysikolympiaden (EuPhO) som arrangeras i Bukarest i slutet av maj.

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

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

18–26 juli 2020 i Vilnius, Litauen

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

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

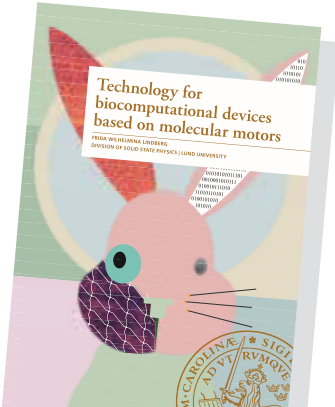
Kanske blir det du som får åka!



Äventyrlig upptäcktsfärd genom labyrinter

Hösten är skördetidens högsång. Tänk dig att du åker på utflykt med vänner och familj och frossar i allt vad jorden har att erbjuda. Ni stannar till vid en gigantisk majs-labyrint och barnen rusar glada in bland majs-kolvar och leriga stigar. Först ut på andra sidan vinner en stor korg kanelsnäckor. Inne i labyrinten sitter små vägskyltar med tillåtna vägval. Ibland får man bara gå åt vänster, ibland åt höger och ibland får man välja fritt. Barnen springer på fler kompisar inne i labyrinten. De bestämmer sig för att samarbeta och delar upp sig så de kan täcka upp alla möjliga vägar. Till sin glädje möter de ännu fler barn inne i labyrinten och delar igen taktiskt upp sig så de kan täcka mer mark. Till slut hör de någon glatt ropa ”ute!!” följt av ännu ett rop, och sedan ännu ett. Det finns flera vägar ut! Den stora korgen kanelsnäckor räcker både till belåtna barn och glada föräldrar och snart fylls hela skördefesten av muntert sorl, glädjeskratt och mätta magar.

Precis så funkar nätverksbaserade beräkningar. Dessa beräkningar bygger på ett nätverk av sammansatta vägar och någon som går på upptäcktsfärd genom labyrinten som de bildar. Beroende på vägval kan de som går på upptäcktsfärd komma ut på olika platser. Varje rutt i sig motsvarar en ny beräkning, och genom att utforska alla möjliga vägar, får vi reda på alla lösningar på en och samma gång. Givetvis gäller det då att vägar

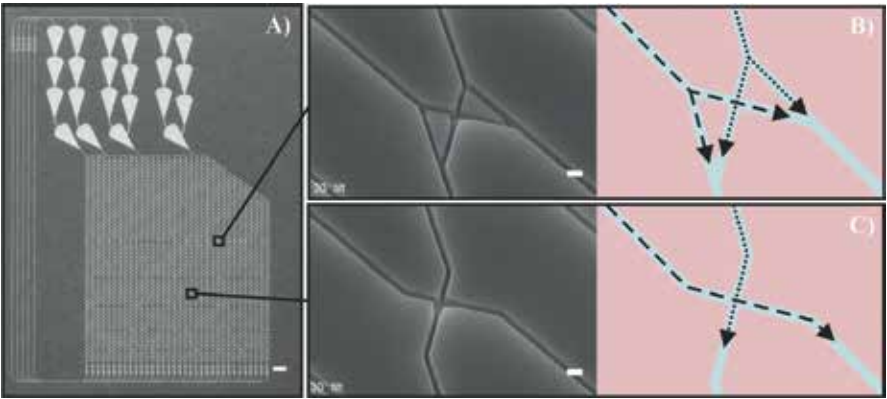


Frida Lindberg

- Titel: Technology for biocomputational devices based on molecular motors
- När: Fredag 7 Juni 2019 vid Fasta tillståndets fysik, LU
- Länk till avhandlingen: https://portal.research.lu.se/portal/files/63371793/e_spik_ex_frida.pdf
- ISBN: 978-91-7895-131-4
- Handledare: Prof. Dr. Heiner Linke (huvudhandledare), Prof. Dr. Alf Månsson (biträdande handledare) Opponent: Dr. Mihai Irimia-Vladu, Joanneum Research

konstruerade på ett sätt så de verkligen kodar för olika beräkningar. Det gör vi bland annat genom att sätta upp särskilda trafikregler som våra upptäcktsresande måste följa. Men kloka barn som följer vägskyltar genom majs-fält är en bristvara och tar för mycket plats. Istället kan vi förminska ner hela labyrinten till små, små kanalsystem och använda biologiska molekyllära motorer som äventyrare. De här motorerna är små protein som egentligen kan liknas vid vilken annan motor som helst som omvandlar energi till rörelse. De finns överallt i våra celler och deras huvudroll är att organisera logistiken inne i cellerna. Motorsystemet består av två delar: ett spår och en motor som spatserar längs spåret. Med dagens teknik kan vi ta ut hela motorsystemet ur cellen och fästa motorerna på en valfri yta. Efter extraheringen, kan spåren klippas sönder till trådliknande filament, och om vi tillför motorerna bränsle kan de gripa tag i filamenten och transportera dem, ungefär som en rockstjärna som surfar på ett publikt hav.

Nästa utmaning blir att få våra filament att följa trafikreglerna i labyrinten eftersom de varken kan se eller läsa några vägskyltar. Istället blir utformningen av vägar högst väsentliga. Filamenten är bara flexibla till en viss del, så genom att ha väldigt smala leder, kan vi skapa enklare riktade vägar där det inte går att göra U-svängar. Om vi istället breddar vägar, öppnar vi även för mötande, rundgående



Figur 1. Nätverksbaserad beräkningslabyrint för molekyllära motorer. Beroende på vägarnas utformning kan olika vägval och därmed problem hårdkodas in i strukturen. I A) visas ett exempel på ett nätverk bestående av främst två olika korsningar. Korsningen i B) tillåter både vänster och högersvängar, medan korsningen i C) enbart tillåter att vägen fortsätter följas. Alla bilder är tagna med ett svepelektronmikroskop, skallinjen i A) är 20 µm och i B)-C) 500 nm.



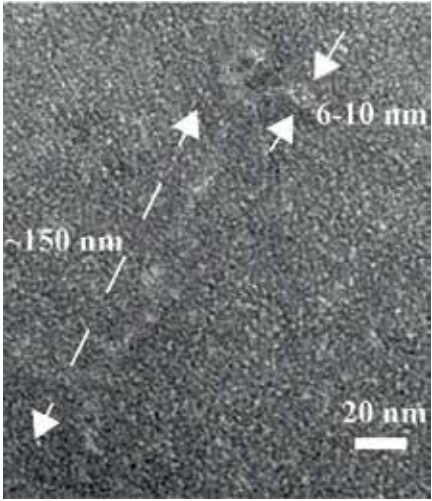
Figur 2. Schematisk skiss av molekyllära motorer (lila) placerade på en yta som transporterar ett proteinfilament (turkos). De huvudliknande strukturerna innehåller den så kallade motor-domänen som kan binda in i det trådliknande proteinfilamentet. Om den kemiska energimolekylen adenosintrifosfat tillsätts kan motorerna aktivt transportera filamenten likt en rockstjärna på ett publikhav.

trafik. Vi kan också skapa rondeller och tillfälliga avspärrningar som definierar vilka rutter som är tillåtna. Oönskade svängar kan till exempel motverkas genom att ha väldigt skarpa korsningar där filamenten bara fortsätter längs med den väg de kommer ifrån. Ett ännu bättre sätt att förhindra oönskade svängar vore att använda sig av tunnelsystem och broar, men att implementera det kräver ytterligare teknikutveckling innan det är görbart. Mer drastiska avspärrningar kan användas för att ändra vilka vägar som är tillgängliga. Det skulle ju i så fall göra att vi ändrar vilken beräkning vi utför, vilket gör hela nätverkssystemet flexibelt och programmerbart. Vi kan också skapa vägtullar som registrerar förbigående filament och om dessa placeras vid de olika utgångarna kan vi registrera resultaten av våra beräkningar. På så vis kan vi tillverka mängder av olika typer av labyrinter som kodar en stor variation av olika matematiska problem som är relevanta för studier inom bland annat proteinvikning, kryptografi och kretsoptimering.

Det riktigt vackra med den här typen av beräkningsmetod är att den sker parallellt och energieffektivt. Molekyllära motorer kräver minimala mängder energi för varje spark och har därför inte heller problem med värmebortförel eller upphettning. De små kanalerna är ungefär tvåhundra nanometer breda med spetsiga detaljer i nanometerstorlek och har i uppdrag att vägleda några mikrometerlånga

filament som bara är några nanometer breda. På den här nivån smälter kemins, biologins och fysikens världar samman och varje liten förändring kommer att påverka hela systemet. Hittills har vi lyckats utveckla flera delar av arkitekturen av labyrinter, både för att effektivisera hela tillverkningsprocessen och placeringen av motorerna, men också för att skapa flexibla nätverk för olika typer av matematiska problem med reglerbara avspärrningar som kan öppnas och stängas och med elektriska tullar som registrerar förbigående filament. Nästa steg blir att optimera vägar för att helt eliminera felsvängar och att förbättra livslängden på motorproteinen så de kan vandra längre i större, fler och mer komplicerade nätverksbaserade beräkningsproblem. Dessa, inte helt triviala problem, kräver i sig själv att ett stort nätverk av variabler passar samman, men har förutsättningen att skapa en unik och fantastisk parallell beräkningsmetod som fungerar vid rumstemperatur.

FRIDA W. LINDBERG



Figur 3. I verkligheten är motorproteinen oerhört små och energieffektiva. Här syns en myosinmotor tagen i ett transmissionselektronmikroskop med de två huvudena högst upp, ca 6-10 nm breda och en tillhörande svans omkring 150 nm lång.

Frida gillar ett högt tempo och att utmana sig själv

Frida gillar att följa magkänslan, men ibland har det varit strategiska överväganden, både medvetna och omedvetna. Valet att läsa fysik var en positiv magkänsla, men valet av inriktning teknisk nanovetenskap vid Lunds universitet var ett strategiskt val. Frida gillar dessutom att tävla, främst mot sina egna uppsatta mål, som hon ständigt hittar nya inom fysiken och aldrig tycks tröttna på.

Frida har sedan hon var liten varit en "hästtjej" och älskade att rida, vilket delvis gjorde att hon under sin doktorandtid i Lund, valde att flytta ut på landet, i utkanten av Lund. Frida tyckte att det var ren avkoppling att försöka skapa och driva självhushåll. Idag när Frida har en postdoc i Heidelberg har hennes föräldrar flyttat in på gården, vilket passar henne väl.

Hur kommer det sig att du hamnade i Heidelberg?

– Jag var på en konferens i Hannover och träffade en annan doktorand som var från Heidelberg, Tyskland. Vi blev förälskade och jag flyttade ner till Heidelberg i augusti 2019, där vi bor i en mindre lägenhet. Min pojkvän Jan har fortfarande ett år kvar till disputationen.

Frida berättar att hon inte hade några planer på att fortsätta inom akademien. Hon ville ut i näringslivet, men genom kärleken ändrades planerna, åtminstone tills pojkvännen disputerat.

Är du en strategisk person?

– Ja, det är jag nog, men oftast känns det trots allt att jag halkat in på ett banan-

skal i olika projekt, när jag inte gjort ett medvetet val, berättar Frida. Min grundutbildning i teknisk nanovetenskap var ett framtidsinriktat val. Kurserna var utmärkta och informationen från LU innan lockade mig, berättar Frida.

Vad arbetar du med som postdoc?

– Jag arbetar bara med organiskt material, berättar Frida. Jag undersöker hur organisk elektronik fungerar. Min speciella uppgift är att epitaxiellt växa olika organiska halvledare genom en speciell "tryckprocess" och använda dessa i olika applikationer, beroende på vilket material man växer. Nu är det främst sensorer som är känsliga för polariserat ljus.

Innovationslabbet via KIT där hon jobbar nu, är en blandning mellan industri och vetenskap, här samlas flera företag och olika universitet, lite liknande RISE i Sverige.

Frida har ett högt tempo!

Redan under studietiden i Lund skaffade hon en gård utanför Lund och försökte sig på att bli egenförsörjande i så hög grad som möjligt. Det var en utmaning som lockade och all fritid då hade fokus på att utveckla självförsörjningen. Förutom alla andra fritidsaktiviteter!

Det var inte bara grönsaksodling utan även viss djurhållning på gården. Den egna hästen Normha tränades och tävlades och Frida berättar att när hon nu efter sommaren lämnade gården tog hon givetvis med sig Normha till Heidelberg.

Frida har ridit så länge hon kan minnas och hon är ute hos hästen Normha dagligen efter jobbet. När vi pratar djur-



Frida Lindberg, 29 år
född i Stockholm, bor nu i Heidelberg, Tyskland
Familj: Pojkvännen Jan, hunden Molly, hästen Normha och katterna Nix, Nox och Lady
Utbildning:
Gymnasium: Lundellska skolan (Natur-medicinprogrammet), Hvitfeldtska gymnasiet (Natur-franskaprogrammet), Sigrid Rudebecks gymnasium (Naturprogrammet)
Grundexamen: Civilingenjör i teknisk nanovetenskap, LTH
Doktor i fysik, Fasta tillståndets fysik, Lunds Universitet
Intressen: Hästar
Nuvarande arbete: Postdoc i organisk molekylärepitaxi
Tidigare arbete: Hästkötare, fallskärmspackare och hjälplärare

hållning så berättar Frida att hästboxarna är lite större i Tyskland och Normha kan dessutom fritt gå in och ut i en egen liten hage med utsikt över det vackra bergslandskapet. Hästen verkar stortrivs med det nya livet.

När vi pratar vidare kommer det fram att Frida även sjunger opera och hennes pojkvän jobbar som DJ, utöver doktorandstudierna i fysik.

– Det blir mycket musik på kvällarna efter ridningen, berättar Frida. De flesta vännerna i Heidelberg är musiker. Det är fantastiskt att se den musikaliska gemenskapen trots de olika musikinriktningarna, här blandas opera med techno, rock och jazz.

Hur kom det sig att du med så många olika intresseområden valde naturvetenskaplig inriktning?

– Familjen flyttade runt en del under min uppväxt på grund av jobb, men under min grundskoletid i Knivsta hade jag en fantastiskt inspirerande fysik- och mattelärare, Thomas, som nog delvis påverkade mina val senare i livet, säger Frida.

Är dina föräldrar naturvetare?

– Nej, de är inte alls verksamma inom naturvetenskap, de är advokat respektive

affärsman. Men min syster har också valt en mer naturvetenskaplig utbildning precis som jag, hon är läkare.

Under vårt samtal framkommer att gymnasietiden inte var helt okomplicerad på grund av familjens jobbflytt.

– Den blev tyvärr uppdelad i flera skolor, vilket var jobbigt eftersom kurserna inte hade riktigt samma innehåll vid de olika gymnasieskolorna, berättar Frida. Jag började i Lundellska skolan, Uppsala, fortsatte i Hvitfeldtska gymnasiet och avslutade gymnasietiden vid Sigrid Rudebecks gymnasium i Göteborg. Jag fick också gå i sommarskola ibland för att komma ikapp.

– Det blev lite skevt, för det var jag och de som inte blivit godkända under läsåret som gick där, konstaterar Frida.

Vad är det som gör Frida till den super-effektiva tjejen?

Det går inte att svara på frågan men man kan konstatera att Frida är en positiv person som gillar personliga utmaningar och när hon hittar ett spännande område med förbättringsmöjligheter "går hon igång".

– Att organisera och genomföra projekt är en del av livets grundläggande behov, säger hon med ett leende. Dok-

torandstudier var en utmaning i Fridas smak och kompetensen som fanns i Lund inom ämnesområdet var extra stimulerande.

Frida håller ett högt tempo men eftersom hon gillar det hon gör så känns det inte speciellt ansträngande, berättar hon. Fridas livsstil är att allt hon gör är roligt, eller blir roligt ganska snabbt.

Vilken bredd av intressen!

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT



Fridas häst Normha.

Marie Skłodowska Curie – mellan fysik och kemi och två Nobelpris

Marie Curie (1867–1934) är alltså den mest välkända kvinnliga forskaren i naturvetenskap. Mycket har skrivits om henne genom åren och ett stort antal biografier finns att läsa om henne. Här ska inte dessa biografiska uppgifter upprepas utan fokus ska istället ligga på hur det gick till när Curie tilldelades två Nobelpris. Hon och hennes make Pierre tilldelades halva fysikpriset 1903 *såsom ett erkännande av den utomordentliga förtjänst de inlagt genom sina gemensamt utförda arbeten rörande de av Professor Henri Becquerel upptäckta strålningsfenomenen* och 1911 tilldelades Marie ett odelat Nobelpris i kemi *såsom ett erkännande för den förtjänst hon inlagt om kemiens utveckling genom upptäckten av grundämnen radium och polonium, genom karakteriserandet av radium och dess isolerande i metalliskt tillstånd samt genom sina undersökningar angående detta märkliga grundämnes föreningar*.

Fysikern Curie – Nobelpriset 1903

Den nyupptäckta radioaktiviteten väckte stor uppmärksamhet bland både fysiker och kemister, vilket redan 1902 ledde till att Becquerel och Marie och Pierre nominerades för ett Nobelpris i fysik av Gaston Darboux i Paris och Emil Warburg i Berlin. Året därpå var sex olika forskare nominerade i kemi och 16 i fysik, men dock ej Marie. Däremot fanns en försenad nominering från 1902 där hon var med. Att nomineringen flyttades bestämdes redan i februari 1902 och gjordes inte i efterhand

1903 som det ibland har framställts. Hursomhelst, med två nomineringar från det föregående året och en 1903 var Marie en kandidat att räkna med. Pierre och Becquerel fick däremot flera nomineringar. I ett brev 6 augusti 1903 skrev Pierre till Gösta Mittag-Leffler att rykten nått honom att han kanske var en kandidat för Nobelpris, men att han i så fall måste dela priset med Marie, då de gjort arbetet tillsammans. Mittag-Leffler var matematiker och inte med i fysikkommittén, men kan förstås ha låtit denna inställning bli känd bland medlemmarna i fysikkommittén. Men fakta var att Marie var nominerad och att hon var en av de tre huvudkandidaterna i en utredning som Knut Ångström presenterade för fysikkommittén 5 augusti – dagen innan Pierre i Paris skrev sitt brev. Det var således varken Pierre Curies eller Mittag-Lefflers förtjänst att Marie kom i fråga, vilket ofta påstås. Men än var inget beslut fattat. Och det var inte bara frågan om Vetenskapsakademien skulle våga ge ett Nobelpris till en kvinna, det var som vanligt ytterligare saker som stod på spel. Ekvationen hade flera obekanta.

Fysiken kommer först i den s.k. Nobelordningen så normalt fattas beslutet om fysik innan det i kemi. Svante Arrhenius, som var en av fem ledamöter i fysikkommittén, fick mängder av nomineringar både i fysik (7) och i kemi (12) 1903 liksom tidigare år. Kemikommittén skrev till fysikkommittén 2 maj och föreslog att Arrhenius skulle få halva fysikpriset och halva kemipriset 1903! Den andra halvan av kemipriset skulle Ram-

say få i så fall lät de meddela. Fysikerna diskuterade detta förslag en vecka senare och förstod att då borde Lord Rayleigh som samarbetat med Ramsay få det halva fysikpriset som stod till buds. Men efter någon diskussion avböjde man förslaget. Flera andra fysikförslag 1903 var starkare än vad Arrhenius var påpekade man, och senare formulerade Arrhenius kollegor i fysikkommittén det som att han var värd ett Nobelpris, men att ”detta bör vara ett sådant i kemi”. Däremot såg man gärna att kombinationen Rayleigh i fysik och Ramsay i kemi vid lämpligt tillfälle prisbelönades samtidigt för deras arbeten om ädelgaser. Detta besked gjorde att kemikommittén ändå valde att preliminärt föreslå Ramsay, men man var oenig i kemikommittén: Tre önskade Ramsay medan två helst hade sett ett kemipris till Arrhenius. Fysikkommittén gjorde Ångströms skrivelse till sin. Dock önskade de att Vetenskapsakademien skulle frånga Nobelordningen och fatta beslut om kemipriset först (på den här tiden fattades beslut om fysik- och kemipris samma dag så det var fullt möjligt). Förstahandsvalet var radioaktiviteten, vilket även tog sig uttryck i att Ångström tilldelades 500 franc för att kunna köpa 0,1 gram radiumsalt för att undersöka den påstådda värmeutvecklingen.

Men allt var inte frid och fröjd med detta. I kemikommittén var man rädd att om fysikpriset gick till radioaktivitetens upptäckare skulle fysikerna göra området till sitt. Därför förmådde de akademien att ändra fysikkommitténs formulering från ”upptäckten af de spontant radioak-



tiva ämnena” till att inte nämna *ämnena* (som hör till kemin) och istället formulera det som *strålningsfenomenen* (som hör till fysiken). Denna ändring skulle innebära att ett andra Nobelpris kunde ges till Marie Curie i just kemi åtta år senare. Mer om det nedan.

Den 12 november 1903 fattade Vetenskapsakademien sina beslut efter en ”längre öfverläggning i ärendet” där fysik- och kemiprisen diskuterades samtidigt. Resultatet blev att Becquerel och Curies delade på fysikpriset och Arrhenius fick kemipriset. Rayleigh och Ramsey fick var sitt Nobelpris året därpå istället. Men

Marie och Pierre Curie avstod från att närvara vid Nobelfestligheterna i Stockholm, då de var utarbetade och avsåg komma året därpå istället för att hålla den obligatoriska föreläsningen. Det kom att dröja ytterligare ett år och först sommaren 1905 var de i Stockholm och då var det bara Pierre som föreläste om deras gemensamma arbete.

Institutionellt intermezzo

Uppmärksamheten som Nobelpriset 1903 medförde innebar förbättrade villkor för makarna Curie i Paris, men ett förödande slag drabbade Marie när Pierre

omkom i en tragisk olycka 1906. Ett par år innan dess hade Vetenskapsakademien i Stockholm uppdaterat sina tidigare stadgar från 1850, där man ändrade i första paragrafen om vilka som kunde bli ledamöter från *män* till *personer*. Därför var det möjligt för kemisten Peter Klason att förslå Marie Curie till inval den 12 oktober 1910, och med stöd av en enig kemiklass valdes hon in som utländsk ledamot i KVA. Detta väckte varken diskussion i Akademien eller i svensk press. I Paris hade Marie fortsatt arbetet och nått ytterligare framgångar. Hon lockade studenter, bl.a. Eva Ramstedt från Sverige, och kandiderade i januari 1911 till inval i den franska vetenskapsakademien. Då piskades det i Frankrike upp konservativa och nationalistiska stämningar mot att den *utländska* kvinnan skulle ta plats i den ärevördiga akademien och istället blev en man, född i Frankrike, invald. Vetenskapsakademien i Stockholm var således något mer progressiv i just detta fall. Under fortsättningen av 1911 skulle emellertid pressen komma att intressera sig för Marie Curie både i Sverige och annorstädes.

Kemisten Curie – Nobelpriset 1911

När Marie Curie fick Nobelpriset i kemi 1911 kom hon till Stockholm på prisutdelningen och fick då ett särdeles hjärtligt bifall av den festklädda publiken på Musikaliska Akademien där ceremonin ägde rum. Några hade varit oroliga för att det hade kunnat bli tvärtom. De fick fel. Men vad var anledningen till oron?

Men först, hur fick hon kemipriset 1911? I sin nominering av henne för upptäckten av ”metallen radium” tar Svante Arrhenius tjuren vid hornen och skriver att ”Curie redan erhållit ett halft Nobelpris för denna upptäckt 1903”, men konstaterade att det var för ”strålningsfenomenen” hon hade belönats 1903. Sedan tar han till brösttonerna och skriver att upptäckten av radium var ”den viktigaste inom den kemiska vetenskapen under det sista århundradet”. Detta motiverades bland annat av att en ny vetenskap, radiologin, och radiuminstitut blivit resultatet. Och särskilt avgörande var

att Curie nyligen lyckats framställa rent metalliskt radium, varför det inte längre fanns några tveksamheter. Och det var Marie som upptäckte radium, medan hon och Pierre gemensamt hade studerat Becquerel-strålarna. Framställningen av metalliskt radium var även motivet till en fransk nominering samma år. Även den särskilda utredningen av Curie skriven av Henrik Söderbaum, som 1903 varit rädd att fysikerna skulle lägga beslag på radioaktivetsforskningen, var också utan tvekan: ”Den stora betydelse upptäckten af radium och studiet af de radioaktiva ämnena äger för kemien och naturforskningen öfverhufvud taget, lärar numera vara allom bekant och af ingen bestridas.” Han fortsatte med att framhålla Marie Curies moraliska företråden i och med att hon inte ”med upptäckarens rätt” reserverat forskning om radium för sig själv utan ”till vinst för vetenskapen” arbetat tillsammans med andra. Kemikommittén gick på Söderbaums och Arrhenius linje och upprepade deras argument, men ägnade även ett resonemang åt om det fanns några hinder mot att tilldela fler Nobelpris till en och samma person och konstaterade att så inte var fallet, samt följdfrågan om vad skillnaden mellan fysikpriset 1903 och det eventuella kemipriset 1911 bestod i. Men kommittén var säker på sin sak att Marie Curies arbete med ”framställning af radioaktiva ämnen och radiums karaktärisering medels atomviktsbestämning **belt och hållet fölle inom kemiens område**”. Och det dramatiska att Curie kunnat ”påvisa nybildningen af ett annat förut känt grundämne; härigenom har alltså satsen om elementaratomens oföränderlighet och odelbarhet [...] numera blifvit ohållbar”. Och den 7 november 1911 röstade Vetenskapsakademien och biföll kemikommitténs förslag.

Marie Curie hade vid denna tid en kärleksaffär med fysikern Paul Langevin som var olyckligt gift, vilket en skandaljournalist publicerade om i en tabloid. Hade Marie varit man eller hade hon inte varit välkänd offentlig person hade det så klart inte blivit några skrivelser. Men i början av november skrev man att hon hade rymt med Langevin utan att med-



delat vart, sanningen var dock den att de bägge var på den allra första Solvaykonferensen i Bryssel tillsammans med Lorentz, Einstein, Wien, Poincaré, Planck, Sommerfeld, Rutherford och andra. Svensk press skrev om detta, men nyheten i Sverige var snarast att detta betraktades som en skandal i Frankrike. Den svenska pressens rapportering var något mer anständig och blandade inte in Nobelpriset annat än underförstått. I slutet av månaden hamnade dock några stulna brev från Curie till Langevin i den franska skandalpressens händer, så när även

en mer anständig tysk tidning, *Berliner Tageblatt*, skrev om detta började några nyckelpersoner vid Vetenskapsakademien få kalla fötter. Gustaf Retzius brukar pekas ut som den skyldige och till slut så skrev Svante Arrhenius – som ju hade nominerat Marie Curie – ett brev till Marie den första december och bad att hon inte skulle komma till prisutdelningen. Att Marie Curie av breven framstod i tvivelaktig moralisk dager befarades alltså kunna svärta ned Nobelpriset. Samtidigt hade Arrhenius evige motståndare i Vetenskapsakademien, matematikern

Mittag-Leffler, anat oråd och telegraferat till Curie med frågan om hon avråts från att komma, och i så fall skulle hon blankt strunta i det och definitivt komma. Det slutade med att Marie Curie valde att resa till Stockholm med sin syster och dotter och i ett brev den 6 december till Arrhenius skrev hon: ”Faktum är, att priset har tilldelats mig för upptäckten av radium och polonium. Jag anser inte att det finns något samband mellan mitt vetenskapliga arbete och de personliga angelägenheter som man i oseriösa tidningar anklagar mig för och som där har helt förvanskats.”

Så på morgonen den 10 december anlände Marie med tåget till Stockholms central där föreningen Akademiskt bildade kvinnor tog emot henne. Och tvärt emot vad Retzius, Arrhenius och andra ängsliga herrar befarat gavs Marie ovanligt hjärtliga ovationer vid prisutdelningen och det bestods en god stämning under middagen på Grand hotell. Dagarna efter innebar Nobelföreläsning, kungamiddag, luncher, chartrat tåg till Djursholm för Mittag-Lefflers middag samt middag på Högloftet på Skansen med Akademiskt bildade kvinnors för-

ening innan Curie utfirad och uttrötad reste hem.

Kampen om radioaktivitetens glans

Redan när Curie fick fysikpriset 1903 förmodade pressen att det var för upptäckten av radium, men som vi sett fick kemisterna igenom att det var ”strålningsfenomenen” som belönades med ett fysikpris det året. Och 1911 kunde Curie ges ett odelat pris för den kemiska insatsen att mödosamt ha identifierat och karakteriserat radium. Det var renframställningen av metalliskt radium som helt avgjorde saken. Det var ett nytt grundämne! Värt att notera är att man från både fysik- och kemihåll ville göra den nya spännande radioaktivetsforskningen till sin. Marie Curies framgångsrika, envetna och hängivna arbete trots alla hinder och förskräckliga motgångar är så imponerande att hon framstår nästan uteslutande som en symbol och inte som en verklig historisk gestalt. Men symboler kan vara nog så viktiga och fortfarande är hon den enda med Nobelpris i två olika naturvetenskapliga områden.

KARL GRANDIN
CENTRUM FÖR VETENSKAPSHISTORIA, KVA

Vidare läsning i urval

- Karin Blanc, *Marie Curie et le Nobel* (Uppsala, 1999).
- Gustav Källstrand, ”Forskning och vetenskap: Aspekter på naturvetenskapen i offentligheten i samband med Nobelprisen i fysik och kemi 1903” (Stockholm, 2007).
- Gustav Källstrand, *Medaljens framsida: Nobelpriset i pressen 1897–1911* (Stockholm, 2012), pp. 274–82.
- Eva Ramstedt, ”Marie Sklodowska Curie”, *Kosmos* (Fysikersamfundets årsbok) 1934, 10–44.
- Eva Hemmungs Wirtén, *Making Marie Curie: Intellectual Property and Celebrity Culture in an Age of Information* (Chicago, 2015), pp. 41–74.
- <https://history.aip.org/history/exhibits/curie/curie.pdf>

Skridskoteknik för hockeyspelare – krafter, vektorer, energi och rörelsemängdsmoment

Hockey är en tuff sport. Det krävs kroppskontroll utöver det vanliga. Medspelare och motståndare ska hanteras, samtidigt som man på is transporterar en puck – eller håller ögonen på den. Hockeyfamiljen bygger på ideella eldsjälur som ger allt och som tar sig an uppgiften att fostra morgondagens stjärnor. Klubbar tar vanligtvis tacksamt emot all hjälp man kan få av frivilliga föräldrar till de yngsta lagen för att få det hela att gå ihop, och kampen för att drilla barnen är beundransvärd. Vad gäller skridskoåkningen använder nästan alla hockeyspelare samma teknik, såväl nybörjare som fullfjädrade proffs. Även om proffset naturligtvis är starkare och har utfört sina skär många fler gånger så att tekniken sitter stadigt i det motoriska minnet, används i princip ändå samma teknik: Skjut ifrån med en skridsko och glid på den andra. Figur 1 visar ett typiskt spår i isen från denna traditionella teknik.

All skridskoåkning präglas av att den horisontella kraften mellan skridskor och is i huvudsak är vinkelrät mot bladet medan friktionen i bladets riktning är väldigt låg ($\mu \approx 0,006$). De traditionella skärens utformning, med upprepade riktningsändringar, är en konsekvens av denna begränsning. Att växla riktning som i Figur 1 kräver att man utför ett arbete som är större än bara skillnaden i kinetisk energi i början och slutet av skäret. Detta har analyserats i en nyligen publicerad artikel i European Journal of Physics [1].

Om farten i början av varje skär är v_i och minskar till αv_i i slutet av skäret, så måste nästa skär tillföra energi för att

kompensera att den kinetiska energin minskat, $\Delta E_k = (1 - \alpha^2) m v_i^2 / 2$. Lite överraskande är att det arbete som måste utföras för att komma upp i farten v_i i starten av nästa skär är större än ΔE_k på grund av riktningsändringen. Hastighetsändringen måste ses från åkarens system. Detta leder till en energiförlust

$$(\alpha^2 - \alpha \cos 2\theta) m v_i^2$$

för varje skär på grund av riktningsändringen om $\pm\theta$ är vinkeln från framåtriktningen.

Skridskoåkare är inte ”stela kroppar” utan kan ändra form och förflytta sin



Figur 1: Spår efter traditionella skär (Ref1, Fig 4, CC-BY)

tyngdpunkt. Problematiken med bl.a. friktion, arbete och rörelseenergi har diskuterats av Bruce Sherwood m.fl [2,3]. Den traditionella tekniken innebär att man glider på ena foten och skjuter ifrån med den andra. En annan metod, Easyskating, innebär istället att man skjuter ifrån med det ben man glider på. Detta är bara möjligt om man åker i bågar.

Bågar och rörelsemängdsmoment vid framåttakning

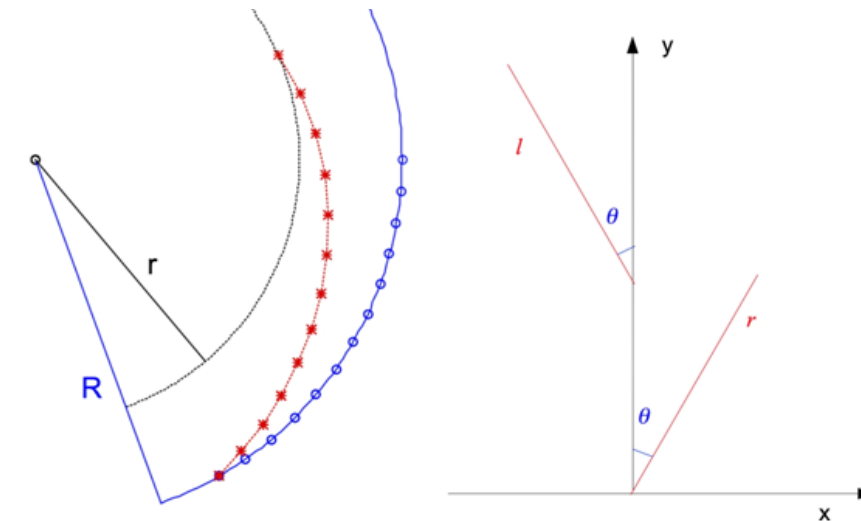
En cirkelbåge gör det möjligt att byta riktning utan att tillföra energi. För att kompensera oundvikliga förluster måste man naturligtvis också tillföra energi. Det visar sig att bågar gör detta möjligt utan extra förluster, genom att använda rörelsemängdsmomentets bevarande. I konståkningen är detta ett välkänt fenomen, när åkarna drar in armarna under en piruett. Under framåttakning är rörelsemängdsmomentet inte lika lätt att upptäcka – rotationsaxeln är osynlig.

Figur 2 visar en skiss över hur farten ändras när åkarens masscentrum flyttas närmare (det osynliga) centret för bågen. Man får alltså ökad fart framåt genom att trycka ifrån åt sidan. Inte helt intuitivt!

Fungerar tekniken på riktigt?

Konceptet Easyskating arbetar med alternativa sätt att lösa de transportproblem som hockeyspelare har på isen. Detta gäller såväl framlänges som baklänges åkning, vändningar, start och stopp.

Vid ett hockeyläger gjordes för- och eftertester för varje spelare, med tidtagning när spelarna följde en viss bana. Resultaten kunde upplevas som nedslående då endast ca 75% hade bättre tid efter



Figur 2: En schematisk bild över hur rörelsemängdsmomentets bevarande leder till ökad fart när man skjuter ifrån åt sidan. För jämförelse visas en stiliserad skärbild för den traditionella tekniken. (Ref1, Fig 7, CC-BY)

veckan och några till och med hade sämre tid. En tysk hjälptränare berättade då att han på sina läger bland 400 deltagare knappast haft någon som åkt snabbare efter bara en vecka.

Mer avancerade undersökningar har ofta detaljstuderat flera spelare som är traditionellt skolade, och jämfört små skillnader i deras åkning. Ett exempel är en studie från Mittuniversitetet [4] som drog slutsatsen att den enda parametern med signifikant betydelse för prestanda var skärfrekvensen som uppmättes till $(3,35 \pm 0,38)$ skär/s.

En ung spelare, skolad inom Easyskating, där man använder mycket längre skär, har berättat att han gång på gång fått höra av sin hockeytränare att han åkte för långsamt. En dag tröttnade den unge spelaren och bad att få åka ikapp med den spelare som tränaren tyckte åkte snabbast. Easyskating-tekniken vann. Ridå!

Innovationer och paradigmskiften

Utgångspunkten för den teoretiska studien i [1] var upplevelsen hos många spelare som provat denna teknik att de orkar mer och även åker snabbare. Efter att Sveriges Radio tog upp artikeln [5], både i Studio 1 och i Sportradion har vi, inte oväntat, fått uppleva många exempel på motstånd från traditionella hockeytränare och deras motvilja mot att prova

något nytt. En del av inläggen i sociala medier har haft karaktären av ”lilla flicka, det här förstår du inte”. Paradigmskiften är svåra! Men vi har också sett uppskattande och tacksamma kommentarer från spelare som skolats in i Easyskating. Det finns naturligtvis ett behov att gå bortom ”anekdotisk evidens”. Mätningar på is och analys av verkliga spelsituationer kan vara viktiga bidrag.

Vi hoppas att vår teoretiska studie av framåttakning ska inspirera till närmare undersökningar t. ex. inom gymnasiearbeten och examensarbeten, med teknik som finns tillgänglig, från mätning med telefonens sensorer, till videoanalys med tracker och till mer avancerade tekniker, inklusive mätning av syreomsättning.

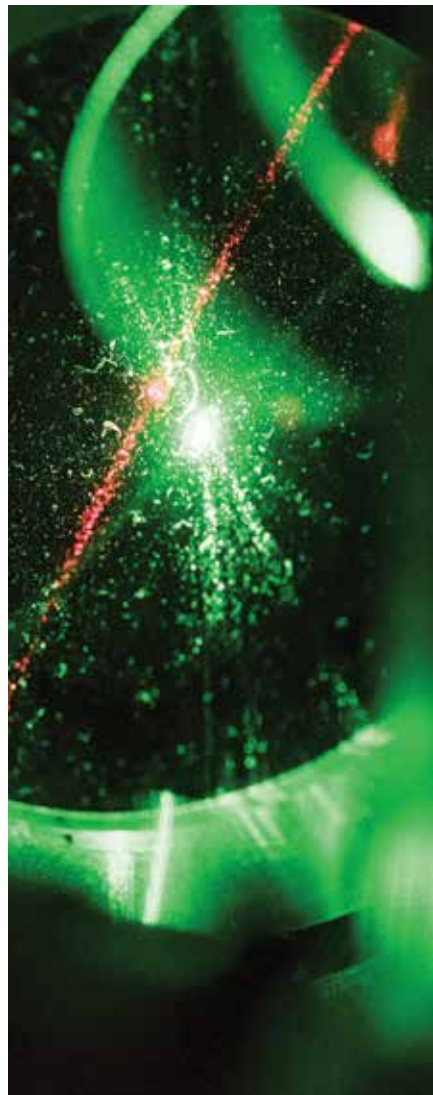
HANS-ÅKE NÄSSEN,
NINA NÄSSEN,
ANN-MARIE PENDRILL
LUNDS UNIVERSITET

Andrej Pierow, tidigare hockeytränare med mångårig erfarenhet berättar: ”When I met Nina for the first time she did stand out of crowd of all ‘skating specialists’, a lot due to that her skating technique was not only more efficient but also with no unnecessary injuries embedded in it.”

Referenser

1. Nässén N, Nässén H-Å, Eriksson U and Pendrill A-M 2019 Forces on hockey players: vectors, work, energy and angular momentum, *Eur. J. Phys.* **40** 065005, se också pressmeddelande från Lunds universitet: <https://www.naturvetenskap.lu.se/article/lundaforskare-har-analyserat-alternativ-aktechnik-som-kan-revolutionera-ishockeyn>
2. Sherwood B A 1983 Pseudowork and real work *Am. J. Phys.* **51** 597–602 och bloggpost (2017) ”Pseudowork and real work”, <https://brucsherwood.net/?p=134>
3. Chabay R, Sherwood B A and Titus A 2019 A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics *Am. J. Phys.* **87** 504–9
4. Swarén M, Hillergren F, Larsson A och Björklund G 2018 Key performance indicators of ice hockey sprint performance, Konferensabstract publicerat i Journal of Sports Sciences: BASES Conference Routledge, 2018, Vol. 36 (S1), p. 1-94 Se också [urn:nbn:se:miun:diva-34993](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:se:miun:diva-34993)
5. Studio 1, 10 oktober 2019, <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=1637&artikel=7318503&>





Fysikdagarna i Linköping

Linköpings universitet stod under tre vackra höstdagar värd för Fysikdagarna 2019. Organisationskommittén hade verkligen tagit vara på universitetets och regionens starka profil inom materialfysik. Det valda temat, Material "från jordens inre till Egyptens pyramider", vittnar starkt om detta. Drygt 200 deltagare fick ta del av ett organisatorisk välordnat möte med ett mycket stimulerande program.

Redan på torsdagen fick deltagarna stifta bekantskap med såväl jordens inre som Egyptens pyramider. Först ut som huvudtalare var Michel Barsoum från amerikanska Drexel University. Michel är för många mest känd för sitt arbete om så kallade MAX-faser. MAX-faser är keramer vilka är bearbetningsbara, värmechocksbeständiga och leder värme och elektricitet bättre än många metaller. Dessa egenskaper gör dem till potentiella materialval till exempel i kärnkraftverk, inom bilindustrin och vid tillverkning av jetmotorer. Sitt anförande i Linköping ägnade dock Barsoum åt en teori om hur pyramiderna i Egypten bör ha byggts. Enligt Barsoum finns det tydliga bevis för att en stor andel av pyramidernas kalkstenar är gjutna och inte huggna. Sina slutsatser har Barsoum dragit efter att bland annat ha genomfört elektronmikroskopiundersökningar av stenar från pyramiderna och jämfört dessa med undersökningar av i naturen förekommande kalkstenar.

Torsdagens andra huvudtalare var Natalia Dubrovinskaia från tyska Universitet Bayreuth. Dubrovinskaia tog i sitt anförande avstamp i Jules Vernes science fiction-novell Till jordens medelpunkt. Hon pekade på att det djupaste vi har kommit är bara 12 km ner i jordskorpan genom ett borrhål i ryska Kola-halvön. Det gör att vår bild av hur det ser ut längre ner i jordklotet (radie 6371 km) kommer från olika indirekta metoder.

På fredagen gav Judith E. Houston från European Spallation Source (ESS) i Lund ett föredrag om dess verksamhet.



Åhörarna fick en fin historisk beskrivning av hur neutronspridningsforskningen har utvecklats och vilket behov som finns av en sådan anläggning som ESS. Detta följdes av en presentation av Christiane Morais Smith från Universiteit Utrecht i Nederländerna. Hon visade hur sveptunnelmikroskop kan användas för att designa olika mönster som i sin tur kan användas som kvantsimulatorer av riktiga material. Morais Smith berättade också om hur elektroner som rör sig i en elektronisk så kallad Sierpinski-triangel får en fraktal dimension. Mikhail I. Katsnelson, vid Radboud Universiteit, därmed även han verksam i Nederländerna, höll därefter en presentation med titeln "Does God play dice?". Titeln anspelar på diskussionen mellan Albert Einstein och Niels Bohr, och Katsnelson diskuterade hur kvantteorier kan byggas upp.

Deltagarna erbjöds ett flertal intressanta studiebesök, däribland möjligheten att testa vingarna i Saabs flygsimulator. På Visualiseringscentrum C i Norrköping visade Anders Ynnerman, professor i vetenskaplig visualisering och direktör för centrat, hur man omsluten av bild och ljud i 360° kan vara med om allt från dissektion av mumier till rymdresor. Bland annat bjöds det på en oförglömlig tidsresa till ögonblicket när astronauterna i Apollo 8 såg jorden gå upp över månens horisont.

På lördagen bjöd Linköpings universitet in allmänheten till Fysikdagarna. Tre intressanta föredrag fanns på programmet: Olle Inganäs berättade om hur

polymerer kan användas för både energiomvandling och lagring av energi, Hans Kariis från FOI i Linköping visade hur kraven på kamouflage förändras i takt med teknologi- och politisk utveckling, och Petter Lind redogjorde för hur man på Rosby Centre på SMHI sedan drygt 20 år tillbaka har arbetat med att utveckla och använda klimatmodeller för att öka förståelsen för klimatsystemet och dess processer såväl globalt som regionalt. Deltagarna hade även möjlighet att besöka Quantum Technologies lab, Nationellt Superdatorcentrum, Ellipsometri-lab och titta i transmissionselektronmikroskopet Arwen.

Utöver de gemensamma aktiviteterna hade flera av Fysikersamfundets sektioner möten och Fysikersamfundet höll sitt årsmöte. Organisationskommittén hade skött organisationen utomordentligt väl och det var enkelt att hitta fram till respektive aktivitet.

Fysikdagarna är Svenska Fysikersamfundets stora möte som återkommer vartannat år och det är redan nu klart att Fysikdagarna 2021 ska arrangeras av Lunds universitet. Mellan Fysikdagarna ligger Nordiska Fysikdagar med alternerande värdskap mellan de nordiska Fysikersamfundet. Nordiska Fysikdagar 2020 hålls i Uppsala 27–29 augusti, och konferensen sammanfaller med Svenska Fysikersamfundets 100-årsjubileum.

JONATHAN WEIDOW
ORDFÖRANDE,
SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET



Till vänster: studentunderhållning vid avslutningssceremonin.

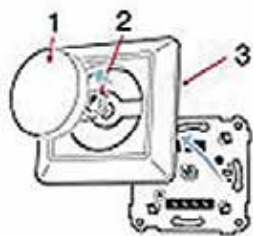
Ovan: Under ett av studiebesöken fanns möjlighet att ge sig in bakom kulisserna hos Nationellt Superdatorcentrum (NSC) och känna värmen från nya superdatorn Tetralith.





Med dimmern styr du ljuset

De flesta väggströmbrytare som monteras idag har dimmerfunktion och för bords- och golvlampor finns dimrar att sätta i väggurtag. Glödlampor och 230 V halogenlampor fungerar med alla sorts dimrar, men att välja lämplig dimmer till 12 V halogen- och LED-lampor är knepigare. LED kräver nämligen drivning som ger en konstant ström, i motsats till alla andra lampor som ska ha konstant spänning.



Figur 1: Väggdimmer från mitt vardagsrum. Vrid ratten (1) förbi ändläget så den slirar och dra loss, lossa centrummuttern (2), lyft av centrumplattan och ramen (3). Nederst är dimmern isärtagen, sedd bakifrån.

Dimring innebär att spänningens effektivvärde (RMS) och därmed medel-effekten till ljuskällan kan varieras. Förr minskades elnätets spänning med en vridtransformator. Visserligen bevarades sinusformen, men energi förlorades som värme i transformatorn. Nutida dimrar (figur 1) blockerar istället en del av sinuskurvan och då flyter ingen ström, som annars skulle förlorats till värme. Dimring spar därför energi, men ökar också livslängden på lamporna, eftersom de inte blir så varma.

Två vanliga typer av dimrar

Man skiljer numera på framkants- respektive bakkantsdimmer, beroende på om dimmern blockerar den sinusformade spänningskurvan i framkant eller i bak-kant.

Framkantsdimmer

Dimmern innehåller vanligen en TRIAC (figur 2).

Medelst en tändpuls vid en viss tidpunkt (kan regleras) efter 0-passagen, släpper den fram ström till nästa 0-passage och blockerar sedan igen (figur 3). Ju längre tid TRIAC-en blockerar desto svagare lyser lampan. Sinusformad ström

är ganska snäll, men här blir tillslaget av spänningen abrupt, vilket frestar på komponenterna i dimmern. Sker tillslaget i närheten av toppvärdet uppstår ibland strömspikar, vilka kan störa nätet.

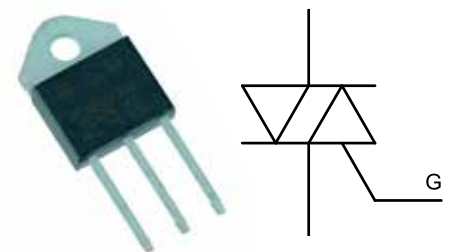
Denna dimmertyp klarar glödlampor, halogenlampor, vissa LED-lampor och järnkärnetransformatörer. En framkantsdimmer måste normalt dimra en minsta effekt (20 – 30 W) för att fungera.

Bakkantsdimmer

Dimmern har en transistor som leder ström direkt efter 0-passagen, och blockerar efter en viss tid (figur 4). Tändpulsens sker vid 0-passagen och därför uppstår inga strömspikar som sliter på dimmern och den anslutna armaturen. En transistor kan dessutom, i motsats till en TRIAC, gradvis slå på strömmen.

Denna dimmertyp klarar samtliga dimbara lampor oavsett om det är glödlampor, halogenlampor eller LED-lampor och klarar även 12 V transformatorer.

För den som vill dimra redan installerad belysning, men inte vill byta ut alla strömbrytare, är en s.k. dosdimmer ett fiffigt alternativ. Den kan monteras



Figur 2: En TRIAC (TRIode for Alternating Current) består av två motriktade, hopkopplade dioder med gemensam styringång (G = gate). Storleken är cirka 1 cm x 1 cm.

i apparatdosan innanför den befintliga strömbrytaren. Det finns numera dosdimrar som kan regleras via en app. Samtidigt har tillverkarna alltmer anpassat LED-lampornas elektronik för att de ska vara dim- och därmed säljbara.

Nyttigt arbete

Glödlampor och 230 V halogenlampor får, med få undantag, sedan september 2018 inte säljas inom EU. De som redan finns får förstås användas och de kännetecknas av en glödtråd och är därför rent resistiva, dvs. spänning och ström är i fas. Man brukar ha samlingsnamnet "last" på allt som kan anslutas till dimmern. Alla dimrar klarar resistiv last.

Ljuskällor i lågvoltsutförande, dvs. 12 V, får fortfarande säljas. Last som består av LED-ljuskällor och 12 V halogen och ansluts via transformator är dock inte resistiv. Den kan ha både induktiva och kapacitiva inslag, bl.a. beroende på designen av såväl transformatorn som LED-lampan. Är lasten induktiv kommer strömmen på efterkälken på grund av uppbyggnaden av magnetfält och motsvarande om lasten är kapacitiv, kommer spänningen på efterkälken på grund av uppbyggnaden av elektriska fält.

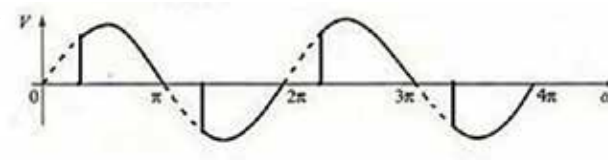
Det resulterar i att spänning och ström blir ur fas med varandra. Dessutom lagras energi upp växelvis i de två fälten, vilket gör att, trots att det flyter ström fram och tillbaka i takt med nätfrekvensen, gör den ingen nytta i lasten, och kallas därför wattlös. Den tillför alltså ingen effekt och mäts glädjande nog inte av elmätaren, så abonnenterna debiteras inte. Induktiva och kapacitiva laster är orsaken till flera av svårigheterna med att dimra moderna ljuskällor.

Att tänka på

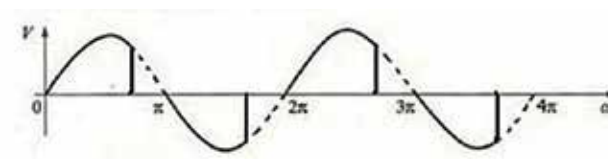
Dimrar har en märkeffekt (maximal effekt) som anger hur stor resistiv last som får anslutas. Förekommer fasförskjutning måste även hänsyn tas till den effekt som den wattlösa strömmen bidrar med. Den måste givetvis också hanteras av dimmern och en säkerhetsmarginal på cirka 50 procent bör därför tillämpas.

Vissa dimrar kräver att lasten drar en viss minsta effekt för att dimmern ska

Figur 3: Framkantsstyrning där en TRIAC klipper framkanten av sinuskurvan. Under första delen av varje halvperiod blir strömmen 0 A.



Figur 4: Bakkantsstyrning där en transistor klipper av sinuskurvan i bakänden. Under sista delen av varje halvperiod blir strömmen 0 A.



fungera. Då kan det hända att dimring ned till låga nivåer inte fungerar utan stannar runt 20 – 40 % ljusstyrka. Dessutom kan LED-lamporna flimra.

Det rekommenderas att en elektroteknisk transformator belastas till minst 75 % av den nominella effekten, det minskar risken för att lamporna flimrar vid dimring, vilket är vanligt med sådana transformatorer.

Induktiva laster lagrar energi när strömmen flödar och brytning av strömmen kan därmed skapa motsvarande höga spänningar (Lenz lag) – som tändspolen i en fossildriven bil. Detta innebär att den lämpligaste tidpunkten för att slå av försörjningen till en induktiv belastning är när strömmen ligger nära noll.

I en framkantsdimmer släpper en startpuls fram spänningen, men om lasten är induktiv ökar strömmen långsammare än spänningen. För att TRIAC:en ska leda måste strömmen nå över ett tröskelvärde (tändströmmen), och skulle startpulsens vara för kort hinner inte tröskelvärdet nås och dimmern fungerar dåligt.

Ur LED är tiden

Nej, alls icke! Tvärtom är den tekniken framtiden, även om vissa barnsjukdomar kvarstår, som missljud och flimmer.

Missljud beror oftast på de strömspikar som uppstår när fel last är inkopplad till en framkantsdimmer. Denna typ av dimmer kan också surra lite. Det beror på att järnkärnetransformatorn (figur 1) vibrerar i takt med nätfrekvensen och om dimmern är taffligt byggd kan dess delar också vibrera.

Flimmer beror oftast på att lampan dimrats med en framkantsdimmer istället för en bakkantsdimmer, men kan också bero på för låg last.

Jag testade med några icke-dimbara LED-lampor och de startade först efter det att jag vridit ratten omkring en tredjedel, men de kunde sedan dimras som förväntat. När jag därefter vred ratten åter, började de flimra strax innan de tvärt slocknade. Dimbara lampor däremot höll vad de lovade. Något missljud hörde jag inte.

En elektriker jag pratade med bekräftade svårigheterna med att dimra framgångsrikt. Han har efter hand lärt sig vilka ljuskällor, transformatorer och dimrar som kan kombineras.

Ett dyrare men bättre alternativ är PWM-styrning (Pulse Width Modulation). Precis som glödlampor blinkar LED-ljus i takt med drivspänningen, dvs. med 100 Hz. Till skillnad från en glödlampa, som inte blinkar så kraftigt eftersom glödtråden inte hinner svalna när spänningen minskar, slocknar en LED-lampa helt. Därför upplevs detta som ett besvärande flimmer. Dessutom krävs tillräckligt stark ström för att en LED-lampa ska lysa, varför det praktiska området för dimring bara blir mellan cirka 20 % till 100 %. Lösningen blir att tända och släcka LED-lampan med korta pulser för svagt ljus och långa pulser för starkare ljus. Görs detta med hög frekvens (kHz) märks inte heller flimret.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Hur stor är egentligen en proton?

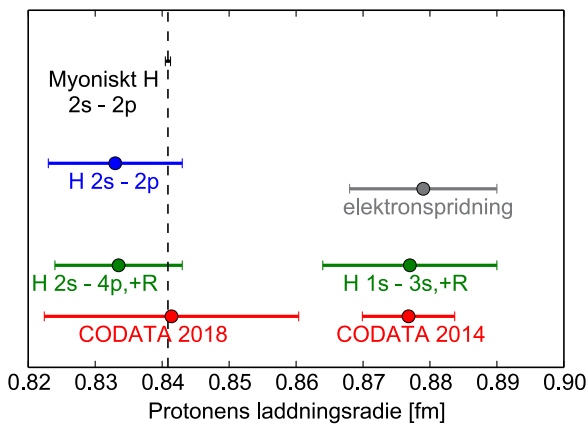
Mätningar på energiövergångar i myoniskt väte¹ – en släkting till väteatomen – väckte stor uppmärksamhet när de presenterades år 2010. Resultaten från Paul Scherrer institutet i Schweiz kunde nämligen bara förklaras teoretiskt om protonen var betydligt mindre än vad man tidigare trott. Den nya protonradien var unikt välbestämd, men avvek med nästan sex standardavvikelser från det etablerade värdet.

Atomkärnans storlek har alltid en liten påverkan på elektronernas bindningsenergi. Effekten kan beräknas med hög precision för väteatomen som ju består av endast en proton och en elektron. Genom en sammanvägning av de radier som kan beräknas från många olika spektral-linjer i väte, och dessutom från spridning av elektroner på protoner bestäms det accepterade värdet. Sammanvägningen görs, precis som för alla viktiga naturkonstanter, av CODATA (se faktaruta) och utvärderas regelbundet. Varför avviker

resultatet från myoniskt väte så signifikant från den samlade mängden resultat? Det är ett mysterium. I myoniskt väte har elektronen bytts ut mot sin systerpartikel myonen (se faktaruta). Eftersom denna har mycket större massa än elektronen så ligger dess bana avsevärt närmare protonen och påverkas mer av protonens utsträckning. Effekten på spektrallinjerna är faktiskt hela sju *storleksordningar* större än i vanligt väte och protonradien kunde uppskattas med betydligt mindre felgränser. Ändå var det nog många som förväntade sig att mysteriets upplösning skulle ha med tolkningen av mätresultaten för myoniskt väte att göra; denna kräver när allt kommer omkring kvantfältteorins fulla maskineri. Istället har mysteriet bara tätat i takt med att nya experiment gjorts.

2017 presenterade Hänsch och medarbetare vid Max Planck Institutet i Garching en ny bestämning av protonradien². Återigen användes spektroskopi av vanligt väte, men med en ny twist: nu bestämdes *samtidigt* såväl protonradien som Rydbergskonstanten. Den senare (se faktaruta) förbinder den atomära energiskalan med SI-systemet och behövs för att beräkna protonradien från de mätningar av spektral-linjer som använts av CODATA. Garching-gruppen kombinerade 1s-2s övergången som är känd med 15 siffror (tack vare frekvenskammen som gav Hänsch Nobelpriset år 2005), med 2s-4p övergången, vars noggrannhet presats till 12 siffror. Den protonradie de fann stämde faktiskt med resultaten från myoniskt väte, medan inte bara radien utan överraskande nog också Rydbergskonstanten, avvek signifikant från äldre värden. Att Rydbergskonstanten, en av de bäst kända naturkonstanterna, skulle bli ifrågasatt i jakten på protonmysteriets lösning var minst sagt oväntat!

När det hettar till vill många vara

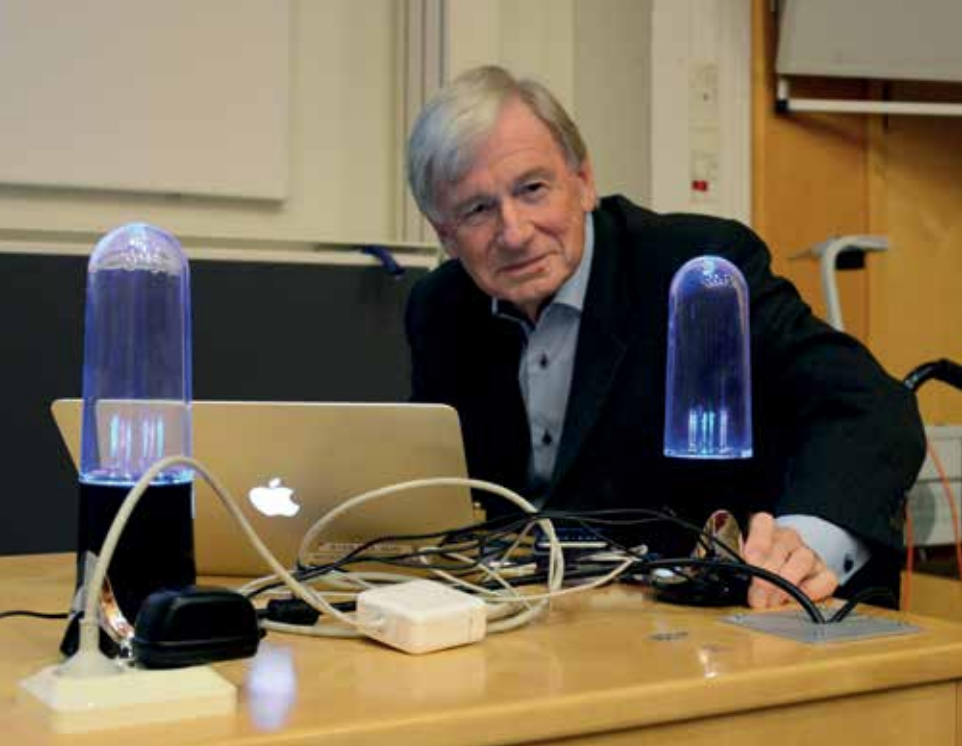


I rött visas det gamla och det nya rekommenderade värdet för protonens laddningsradie. Dessa är sammanvägningar av ett stort antal mätningar med olika metoder. Det mest precisa värdet, det från myoniskt väte¹ ges av den streckade linje. Experimenten i grönt bestämmer både protonradien och Rydbergskonstanten(R)^{3,4}. Resultaten från den övergång som betecknas 2s – 2p beror däremot inte av Rydbergskonstanten, varken i vanligt eller myoniskt väte. x-axeln är graderad i femtometer (fm) där 1 fm=1·10⁻¹⁵ meter.

med, så nu kommer nya resultat slag i slag. Det senaste (september 2019) är från samma övergång i vanligt väte som den som studerats i det myoniska systemet och stödjer det nya värdet på radien³, medan ett alternativt försök att samtidigt bestämma såväl protonradien som Rydbergskonstanten kom till motsatt resultat: CODATA:s gamla värden bekräftades⁴. Dessutom har resultaten från elektronspridning utvärderats på nytt, och också här stöds det gamla värdet på protonens storlek⁵. Nu har CODATA också reviderat sin rekommendation. Det nya värdet är lägre, men felgränserna är större. Efter alla dessa insatser är vi bara mer osäkra och mysteriet består.

EVA LINDROTH
FYSIKUM
STOCKHOLMS UNIVERSITET

1. Pohl et al Nature, 466, 213
2. Beyer et al Science 358, 79
3. Bezginov et al Science 365, 1007
4. Fleurbay et al Phys. Rev. Lett 120,183001
5. Arrington och Sick J. Phys. Chem. Ref. Data 44, 031204



Ekvivalensprincipen

Passiva vandrare

Passiva vandrare

Tack PO för alla "Fysikaliska leksaker" genom åren

Vi är många som kommer sakna din sida i Fysikaktuellt, nu när du valt att pensionera dig. Artiklarna finns numera på <http://www.fortbildn.se/ExpFysakt50.pdf>. Per-Olof Nilsson har sedan 2007 publicerat 50 artiklar om leksaker i Fysikaktuellt.

Myter i fysiken

Homopolära motorer

Coriolisfäkten

En mystisk kristallkrona

En mystisk kristallkrona



Heureka!

Basläromedel i fysik för gymnasiet

Du vet väl att det ingår digitalt extramaterial till våra läromedel?

Till Heureka! finns:

- Självrättande förkunskapstest
- Diagnoser till varje kapitel

nok.se/extramaterial



Visste du att...

Digilär.
EN DEL AV NATUR & KULTUR

Digilär är nu en del av Natur & Kultur och tillsammans utvecklar vi läromedel för alla stadier – tryckt, blended och heldigitalt! Läs mer på digilar.se | nok.se