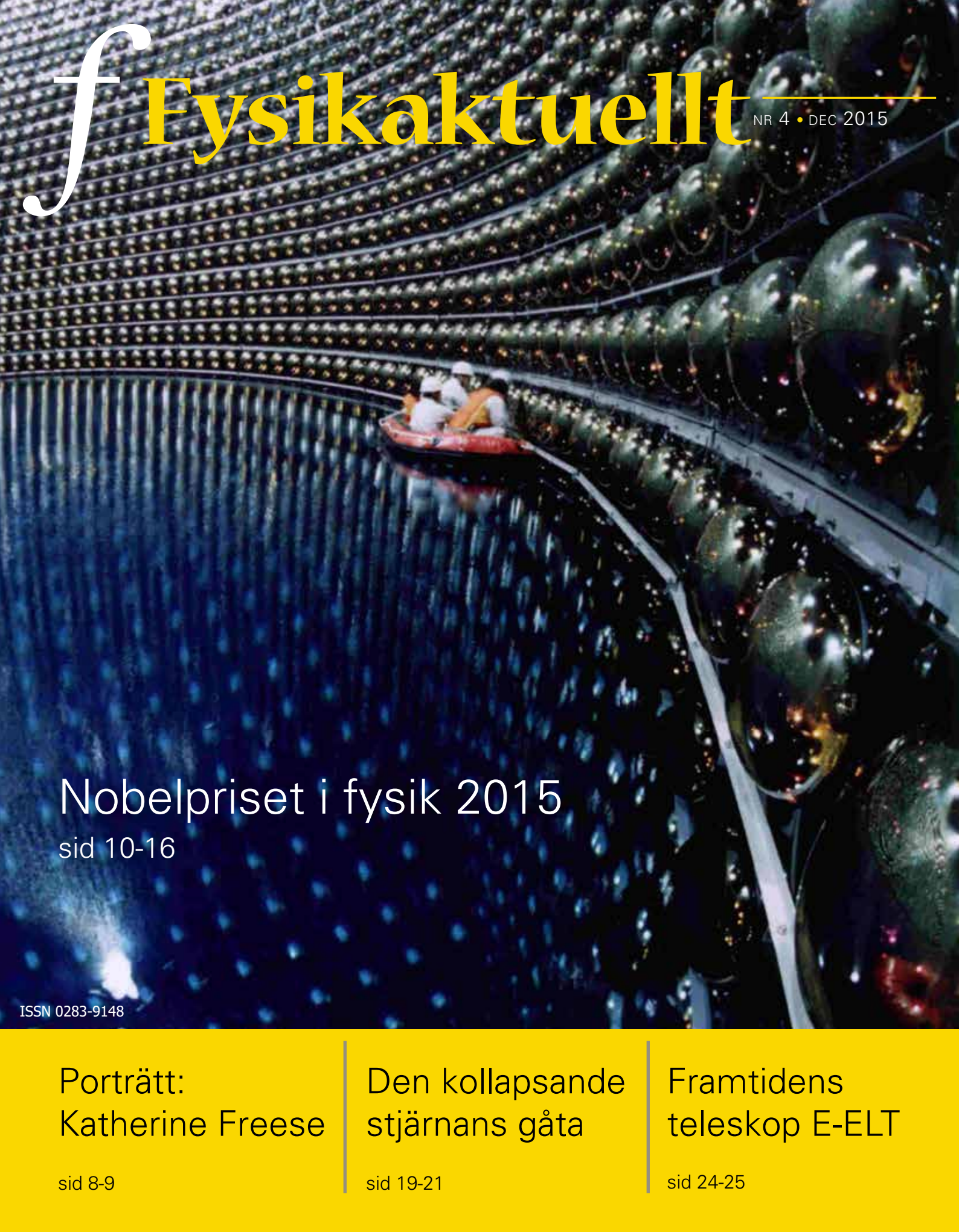




f Fysikaktuell

NR 4 • DEC 2015

Nobelpriset i fysik 2015

sid 10-16

ISSN 0283-9148

Porträtt:
Katherine Freese

sid 8-9

Den kollapsande
stjärnans gåta

sid 19-21

Framtidens
teleskop E-ELT

sid 24-25

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

Ordförande: Anne-Sofie Mårtensson, anne-sofie.martensson@hb.se
Sekreterare: Joakim Cederkäll, joakim.cederkall@nuclear.lu.se
Skattmästare: Lage Hedin, lage.hedin@physics.uu.se
Adress: Svenska Fysikersamfundet, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet, Box 516, 751 20 Uppsala
Postgiro: 2683-1
E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se
För medlemsfrågor, kontakta Lena Jirberg Jonsson, 08-411 52 80 eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

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

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

Fysikaktuellt
Fysikaktuellt utkommer med fyra nummer per år, och distribueras till samfundets medlemmar samt till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program. Redaktionen består av: Sören Holst, Margareta Kesselberg, Johan Mauritsson, Dan Kiselman och Elisabeth Rachlew.
Ansvarig utgivare är Anne-Sofie Mårtensson.
Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se
För insänt, ej beställt material ansvaras ej.

Medlemskap
Svenska Fysikersamfundet har ca 800 individuella medlemmar samt 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, vilket ger kraftigt rabatterat pris på annonser i Fysikaktuellt, kostar 4000 kr per år.
Bli medlem genom ansökan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html>

Omslagsbild: Invändig bild av en halvfull Super-Kamiokande-detektor. © Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo.
Tryck: Trydells, Laholm 2015

Utgivningsdatum för Fysikaktuellt
Nr 1 – 2016, manusstopp 1 feb. Hos läsaren 29 feb.
Nr 2 – 2016, manusstopp 9 maj. Hos läsaren 1 juni.
Nr 3 – 2016, manusstopp 4 sept. Hos läsaren 26 sept.
Nr 4 – 2016, manusstopp 10 nov. Hos läsaren 5 dec.

Stödjande medlemmar

- ALEGA Skolmateriel AB www.alega.se
- Gammadata Instrument AB www.gammadata.net
- Gleerups Utbildning AB www.gleerups.se
- Laser 2000 www.laser2000.se
- Myfab www.myfab.se
- VWR International AB www.vwr.com

Stödjande institutioner

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

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

3	SIGNERAT <i>Anne-Sofie Mårtensson</i>
4-5	AKTUELLT/NOTISER MÅNADENS PROBLEM LJUS I FÖRSKOLAN HELGNÖTTER
6	LISE MEITNER-DAGARNA <i>Anne-Sofie Mårtensson</i>
7	ANNONS NATUR & KULTUR
8-9	PORTRÄTT KATHERINE FREESE <i>Margareta Kesselberg</i>
10-16	NOBELPRISET I FYSIK <i>Mattias Blennow</i> <i>Tommy Ohlsson</i>
17-18	NOBELARKIVET <i>Mats Larsson</i>
19-21	AVHANDLINGEN <i>Mattias Ergon</i>
22-23	INTERVJU MATTIAS ERGON <i>Margareta Kesselberg</i>
24-25	E-ELT (TELESKOP) <i>Dan Kiselman</i>
26-27	BOKRECENSIONER SVARTA HÅL <i>Bengt E Y Svensson</i> THE COSMIC COCKTAIL <i>Ulf Danielsson</i>
28-29	VARDAGENS FYSIK REFLEXMÄSSIGT <i>Max Kesselberg</i>
30	ANNONS WALLENBERGS FYSIKPRIS 2016
31	FYSIKALISKA LEKSAKER <i>Per-Olof Nilsson</i>

” Om man vägrar att se bakåt och inte vågar att se framåt så måste man se upp ”

Det är tid för vaktavlösning i Fysikersamfundet. Efter årsskiftet tar en åtminstone delvis ny styrelse över, och för nuvarande styrelse är det dags att göra bokslut: Vad har åstadkommits under de tre år vi haft medlemmarnas förtroende att styra samfundet, och vad har inte klarats av?

Det finns en hel del att glädja sig över: Nordiska fysikdagarna i Lund för två år sedan, liksom Fysikdagarna i Stockholm förra året, gav en riktig vitaminkick, och flera av våra sektioner har haft egna årliga möten som varit både välbesökta och mycket uppskattade. Tycho Brahes Ven har utnämnts till EPS Historic Site vid en minnesvärd invigning, och det nya upp-lägget av Wallenbergs fysikpris med en hel fysikveckea i Göteborg för både finalister och specialinbjudna fysikintresserade tjejer, har blivit väldigt lyckat. Och nu i höst har vi också fått se Lise Meitner-dagarna födas, mer om dem längre fram i tidningen.

Fysikaktuellt har utvecklats både till innehåll och omfång, och tillsammans med vår årsbok Kosmos fyller den en mycket viktig demokratisk funktion: Här kan vi läsa om aktuell fysik på svenska. Vad gäller de senaste Kosmosnumren vill jag varmt rekommendera Stephan Schwarz artiklar om fysiker i Tredje riket – Tage Danielsson-citatet i rubriken passar särskilt väl in i detta sammanhang.

Men det finns också bekymmer. Antalet individuella medlemmar har minskat under mandatperioden, och det från en redan låg nivå. Det är tyvärr alldeles för få av fysikens vänner som bryr sig om att gå med i Fysikersamfundet. Men Fysikersamfundet behöver både medlemsavgifterna och det stöd i ryggen som en tjock medlemsmatrikel innebär.



Med detta nummer av Fysikaktuellt gör vi ett försök att vända denna utveckling. Den tidning du nu håller i handen skickas inte bara ut till medlemmarna och alla gymnasieskolor som bedriver fysikundervisning, utan den delas också ut till fysikstudenter runt om på landets universitet. Vi erbjuder ett års fritt medlemskap för grundutbildningsstudenter, och hoppas förstås att de som då väljer att bli medlemmar ska vilja fortsätta vara med i Fysikersamfundet även när året är till ända.

Bli medlem du också! Fyll i namn och adress på <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html>
Välkommen!

Anne-Sofie Mårtensson
ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
ORDFÖRANDE I FYSIKERSAMFUNDET

Månadens problem

– för elever som läser fysik på gymnasiet

Använd dina fysikkunskaper och ta chansen att vinna biobiljetter!

Första måndagen i varje månad publiceras ett nytt fysikproblem på Svenska Fysikersamfundets hemsida: <http://www.fysikersamfundet.se/fysiktavlingen/mp.pdf>

Tävla själv eller maximalt fyra i ett lag. Det vinnande bidraget ger en biobiljett till var och en i laget.

Vinnare i oktober blev Sviatlana Sukanava vid Kitas gymnasium, Göteborg.

Månadens problem arrangeras av lektorsgruppen inom undervisningssektionen i Svenska Fysikersamfundet.



Ljus i förskolan: Pris till Järfälla, Eslöv och Tranås

Marianne Bergvall och Ulla Sundén Petersson på avdelningen Hjortronet vid Vallvägens förskola i Järfälla belönas med första pris och 10 000 kr i tävlingen Ljus i förskolan som Svenska Fysikersamfundet och Nationellt resurscentrum för fysik utlyst som en del i firandet av Ljusets år 2015. På Hjortronet har man arbetat med ett ljustema som imponerar både vad gäller fenomeninnehåll och metodval. Allt från skuggor till solförmörkelse och grässtråns sökande efter ljuset har utforskats, och upplevelserna har bearbetats genom dramatiseringar, modellbyggande och målande. Genom projektet har barnens språkliga förmåga stärkts, nya broar har byggts med hemmen och barnen har blivit ännu mer nyfikna på naturkunskap: "När jag blir stor ska jag bli forskare och forska om ljus!"

Andra pris går till Sallerups förskolor i Eslöv där alla förskolor inom rektorsområdet arbetat med ett väl förbättrat gemensamt ljustema under ett helt

år, och skickligt vävt samman planerade aktiviteter med idéer och intressen som uppstått i de olika barngrupperna.

Tallbackens förskola i Tranås får motta tredjepriset. Här har man utgått ifrån barnens fascination inför ljusets olika effekter och möjliggjort ett brett utforskande: Ficklampor, fingerlampor, reflexband, värmeljus, glödlampor, skuggor, mörker, ljusstavar, ljus i vatten, fyrverkerier, UV-ljus och solen! Projektet har presenterats på ett föredömligt sätt, både i en utställning och i ett häfte som barnen fått med sig hem.

Vi gratulerar vinnarna och passar samtidigt på att varmt tacka för övriga bidrag. De goda exempel vi fått in ska samlas i en idébank så att fler ska kunna ta del av det inspirerande materialet. Vi hoppas kunna återkomma nästa år, då med ett nytt tema!

Bilden: Barnen på Vallvägens förskola tänder ett ljus och firar sitt första pris i tävlingen Ljus i förskolan. Foto: Marianne Bergvall



LTH:s julkalender – öppnar dina kunskapsluckor

Genom experiment, studiebesök och humor presenterar LTH-studenterna Ina Rehnholm, Ingrid Odlén och Johanna Hjalte dagligen under december månad fram till julafton ett julkalenderavsnitt. Avsnitten handlar om allt från höghastighetsfilmning och kärlek till programmering och julens smaker. Liksom tidigare år är Docent Mauritsson med på ett hörn, det här året får han hjälp av Ellen Mauritsson som ser till att blöta ner honom ordentligt. Följ helt enkelt med oss på en fullspäckad och lärorik resa mot julafton på LTH:s egna lilla sätt!

www.lth.se/julkalender/2015/

AKTUELLT

Nobelföreläsningar i fysik och kemi
Stockholm 8 dec 2015

<http://kva.se>

Program — Holography and Dualities 2016: New Advances in String and Gauge Theory

Nordita, Stockholm 30 mar – 22 apr 2016. <http://www.nordita.org/holography2016>

The 19th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun

Uppsala 6-10 jun 2016
<http://www.coolstars19.com>

LHCP 2016 — 4th Conference on Large Hadron Collider Physics 2016

Lund 13-18 jun 2016
<http://lhcp2016.hep.lu.se>

European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS) 2016

Göteborg 19-24 jun 2016
<http://exrs2016.se>

Elisabeth Rachlew får KTH:s jämställdhetspris

Elisabeth Rachlew, fysikprofessor på KTH och medlem i Fysikersamfundets styrelse samt tidigare ordförande i sektionen Kvinnor i fysik, har tilldelats Rektors jämställdhets- och mångfaldspris. I motiveringen framhålls att Elisabeth, förutom att vara en förebild, också har varit pådrivande i många sammanhang för att förändra KTH och det vetenskapliga samhället mot ökad jämställdhet: "Elisabeths starka engagemang i KTHs kvinnliga nätverk för professorer och docenter har rönt stor uppskattning. Med idogt arbete har nätverket därmed åstadkommit viktiga bidrag i jämställdhetsarbetet, inte minst för studenterna." Läs mer om priset och en intervju med Elisabeth på <https://campi.kth.se/nyheter/kritisk-granskare-av-jamstalldhet-1.598598>

Satsning på internationella vetenskapstävlingar i budgetpropositionen

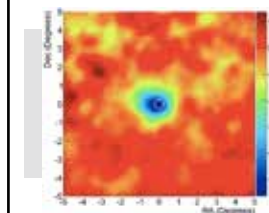
Gymnasieminister Aida Hadzialic presenterade en glad nyhet för Fysikersamfundet och alla andra anordnare av uttagningstävlingar till vetenskapsolympiader när hon besökte Malmö Borgarskola i slutet av september. I budgetpropositionen har regeringen lagt fram ett förslag för att bredda möjligheten till deltagande i internationella vetenskapstävlingar. För 2016 görs en satsning med 1,4 miljoner kronor och för 2017–2019 tre miljoner kronor årligen, utöver de medel som regeringen sedan tidigare fördelar till Skolverket för detta ändamål.

– Ett mycket efterlängtat besked, säger Anne-Sofie Mårtensson, ordförande i Fysikersamfundet. Nu har vi fått den ekonomiska trygghet vi behöver för vårt deltagande i Fysikolympiaden. Dessutom visar beskedet att regeringen förstärkt värdet av att ha den här sortens skolutvecklande verksamhet.

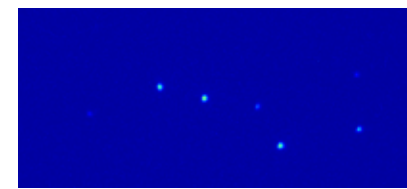
Helgnötter

Fysikaktuelltts redaktion bjuder även i år läsekretsen på ett quiz med fysikanknytning i årets sista nummer. Denna gång gäller det att lista ut vad åtta bilder föreställer.

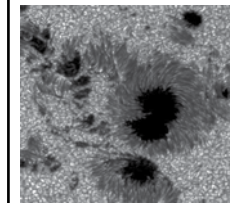
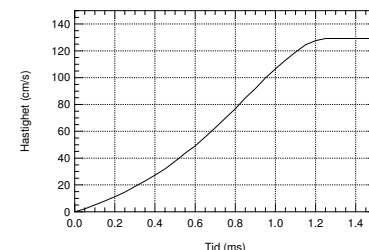
- A** 1 Karlavagnen, fotograferad från La Palma med Jacobus Kapteyn-teleskopet.
X Fotoemissionsbild av nanometerstora laserbelysta antenner av guld, arrangerade så att de efterliknar Karlavagnen.
2 Släpljusfotograferad skålgropsformation (Karlavagnen?) funnen inom världsarvet Hällristningsområdet Tanum.



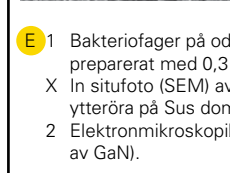
- B** 1 Månen, observerad från Antarktis med hjälp av Ice Cube-projektets neutrinodetektorer.
X IR-foto av spinnkylade nanodroppar på flerskiktade Co/Ni-lager.
2 Supernovaresten NGC 2060 i Stora Magellanska molnet, foto från Hubbleteleskopet.



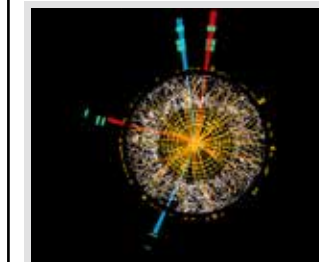
- C** 1 En loppas nästan vertikala rörelse vid upphopp studerat med höghastighetskamera.
X Laserinducerad epitaxiell tillväxt av titanoxid på kiselsubstrat, mätt med kvartskrallmikrobalans.
2 Ljudvågsutbredning i expanderande popcorn, data från konsekutiva mjukröntgenpulser.



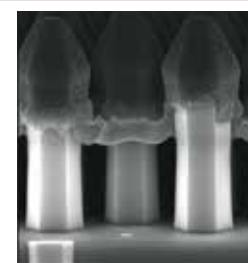
- D** 1 Epidermal brännskada: Excision av eschar med laserterapi, foto Johan Mauritsson, LTH/LU.
X Solens fotosfär: Solfläckar med umbra och penumbra mot en bakgrund av granuler, foto KVA-SST, Göran Scharmer
2 Korrosionsangrepp, Göta älvbron: Släckglödgat gjutstål sensibiliserat genom Cr-karbidutskiljning, foto Jonathan Weidow, CTH



- E** 1 Bakteriofager på odlade herpesvirus, elektronmikroskopifoto (provot preparerat med 0,3 nm tjockt skikt av Au).
X In situ foto (SEM) av vävnadstillväxt på titanimplantat efter 72 timmar i ytteröra på Sus domestica.
2 Elektronmikroskopibild av processade blåa nanotrådslysdioder, (kärna av GaN).



- F** 1 Laserstimulerad fotonemission i näthinnesynapser vid behandling av grå starr.
X Simulering av chockvågsutbredning runt svart hål; Fyra extremt kraftfulla jetstrålar alstras i ackretions-skivorna.
2 ATLAS-händelse 82 614 360; Spår av sönderfallande Higgspartikel i LHC.



- G** 1 Einsteins torn för solobservationer utanför Berlin.
X Institut för precisionsmätning av gravitationskonstanten, Paris.
2 Marconis station för trådlös telegrafi, Cornwall, England.



- H** 1 Fragment av Maxwells demon, tredje prototypen.
X Rester av August Strindbergs alkemiförsök, i huvudsak bariumnitrid.
2 Ett mumifierat långfinger, närmare bestämt Galileis.

Lyckade Lise Meitner-dagar!

Gymnasister från Malmö i söder till Boden i norr fick njuta av fysik under två mycket intensiva oktoberdagar när de allra första Lise Meitnerdagarna genomfördes på AlbaNova universitetscentrum i Stockholm. Arrangemanget var välorganiserat och programmet brett och imponerande: Sören Holst berättade om tidsresor, Katherine Freese om universums mörka sida, Mats Danielsson om framtidens datortomografi, Dorthe Ravensbæk om nya material i batterier, Johan Mauritsen om världens kortaste laserpulser, Magdalena Larfors om strängteori och Mikael Fremling om kvantdatorer. Dessutom fick deltagarna laborera på Ve-

tenskapens hus, pröva på experimentella finaluppgifter från Wallenbergs fysikpris och dissekera fysiken i Hollywoods filmer tillsammans med Seméli Papadogiannakis och Thomas Kvorning.

Lise Meitnerdagarna kunde genomföras tack vare hårt och engagerat arbete från arrangörgruppen: Sofia Svensson, Maja Arvola, Filip Koerfer, och Felix Tellander. Stockholms universitet och Kungliga tekniska högskolan ställde upp som generösa värdar, Svenska kemistsamfundet som mentor och stöttepelare, och vi har fått oumbärligt ekonomiskt stöd från Kungliga och Hvitfeldtska Stiftelsen, Sven och Dagmar Saléns Stiftelse, Jacob Wallenbergs Stiftelse, Tage Swahns Stiftelse och PUA:B Lundqvists minne. Ett stort och varmt tack till er alla!

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
ORDFÖRANDE SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

"Det här är stor skillnad mot att dra klossar inom mekaniken", kommenterar en entusiastisk gymnasist som FA pratar med under ett laborationspass.



Heureka!

INTERAKTIV FYSIK

Interaktiv fysik!

Heureka Interaktiv bok ger dig:

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

Testa på nok.se/provainteraktiv



Gratis fysikhjälp på Facebook!

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



Katherine Freese, astrofysiker och chef för Nordita, är en frisk fläkt som tar alla med storm och fyller rummet, avsett om hon vill eller inte. Hon är en unik kombination av ungdomlig utstrålning som dessutom har lång erfarenhet som framgångsrik forskare och professor vid MIT och University of Michigan USA. På papperet närmar hon sig en ålder när många börjar tänka på att trappa ner. Tvärtom utstrålar hon energi utöver det vanliga och har fokus på framtida utmaningar inom forskningen.



En lysande stjärna mot en mörk bakgrund

FA frågar lite försiktigt var hon får energin ifrån och hon avslöjar att varje dag innehåller ett träningspass. Nästan varje kväll tillbringar hon på ett gym eller simmar. Katie har tidigare simmat och sysslat med vattenpolo på elitnivå och tycker fortfarande att det är mycket bra med träning i någon form.

Hur långt simmar du?

– Det brukar bli ungefär två engelska mil eller drygt 3 km och tar en timme, berättar Katie. Träningen hjälper till att orka med ett högt tempo.

Du kan titulera dig författare, professor, forskare, marknadsförare av forskning och chef för Nordita. Hur gör du för att hinna med alla aktiviteter?

– Jag hinner inte med allt, avslöjar Katie. Forskningen har definitivt blivit lidande under året som gått och jag saknar den verkligen. Dessutom har många resor för Nordita gjort att även annat blivit lidande.

– Jag har jobbat hårt för att synliggöra Nordita internationellt under det år som gått, men varit mycket på resande fot, berättar hon. Nordita har arrangerat två

mycket uppmärksammade internationella konferenser under året och jag hoppas att det kommer att ge Nordita en tydligare plats på kartan. Första konferensen var ”The Spacetime Odyssey Continues”, och den andra, ”The Hawking Radiation conference”. Båda konferenserna drog många kända deltagare till Stockholm, konstaterar Katie med viss stolthet.

Katherine Freese blev för ungefär ett år sedan chef för Nordita, ett internationellt mycket prestigefyllt uppdrag berättar hon. Men hon saknar forskningen så

mycket att från den 1 januari 2016 kommer hon att återgå till forskningen på heltid som professor vid Stockholms universitet, Albanova.

– Jag planerar att jobba halvtid som professor i Sverige respektive USA, berättar hon. Förra året fick jag ett anslag från Vetenskapsrådet (VR) som löper över tio år. Jag kommer att leda en forskargrupp på åtta forskare, sex forskare vid Stockholms universitet och två vid University of Michigan.

Vad lockade dig till Sverige egentligen?

– Det var nog jämställdheten mellan forskare som lockade, konstaterar Katie.

– Men att vara chef för Nordita lockade minst lika mycket, tillägger hon och fortsätter. Det finns möjligheter i Sverige som saknas i USA. Det svenska samhället ställer upp med barnpassning för att ge ett exempel. Du får många gånger som kvinnlig forskare i USA betala ett högt pris om du vill göra karriär och samtidigt skaffa familj och barn.

Hur har det blivit för dig?

– Jag har en son som är 26 år. Fler barn var en ekonomisk omöjlighet, tyvärr. Vi är många kvinnliga forskare som har samma slags erfarenheter. De kvinnliga forskarlönerna var lägre och privat barnpassning kostade rejält med pengar vid den här tiden, berättar Katie.

– Jag brukar försöka framhålla för svenska tjejer att de har ett guldäge för en forskarkarriär med de stödfunktioner som finns att tillgå i det svenska samhället. Dessutom är lönerna i Sverige inte per automatik lägre för kvinnliga forskare, konstaterar Katie.

Katie är född i Tyskland men utvandrade med sina föräldrar till USA redan vid 9 månaders ålder. Hon är uppvuxen i en akademisk familj och har fått med sig både den tyska och den amerikanska kulturen, vilket har varit en fördel tror hon. Båda föräldrarna var positiva till en akademisk karriär i fysik, även om ämnesvalet var hennes eget.

– Jag gillade fysik, men var ganska ensam tjej med det intresset. Det gjorde det inte lättare precis, med en ständig uppförsbacke, berättar Katie.

– Jag har tagit det bästa från båda kulturerna och mixen har blivit framgångsrik, ser hon.

Vilken roll i livet tycker du är viktigast?

– Den viktigaste rollen är som mamma och därefter forskare, svarar Katie utan att tveka.

Vilka personliga egenskaper ser du som viktiga för din forskarkarriär?

–Visst driv och att man vågar lita på sig själv, tror Katie är viktigast. Men det är också viktigt att kunna lyssna in andras synpunkter.

Är det stor skillnad på att vara professor i USA respektive Sverige?

– Ja, det finns skillnader, men svårt att göra en rättvis jämförelse. Det är olika strukturer och förväntningar i samhället, avslutar hon.

Vi har haft ett trevligt lunchmöte och samtalet har varit mycket intressant ur flera perspektiv. Ett möte som man inte glömmer!

FA önskar lycka till med den mörka materien och den framtida forskningen.

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT

Katherine Freese

Född: I Tyskland, uppvuxen i USA av föräldrar med tysk bakgrund

Bor: Lägenhet på Östermalm

Ålder: 58 år

Familj: vuxen son samt bror och brorsbarn

Utbildning:
Princeton University, B.A. in Physics 1977
Columbia University, M.A. in Physics 1981
University of Chicago, Ph.D. in Physics 1984

Nuvarande arbete:
Chef för Nordita, (Nordic theoretical physics institute) Stockholm
Professor University of Michigan och Stockholms universitet

Urval av tidigare arbete
Professor i fysik, University of Michigan (1999-2009)
Visiting Miller Professor in Berkeley 2007
Associate Professor of Physics (with tenure), University of Michigan 1991-99
Assistant Professor of Physics, Massachusetts Institute of Technology 1988-91
Presidential Fellow, University of California, Berkeley 1987-88
Postdoctoral fellow, Institute for Theoretical Physics, University of California, 1985-87
Postdoctoral fellow, Harvard Center for Astrophysics 1984-85

Övrigt (ett urval)
Hedersdoktor vid Stockholms universitet (2012)
Simons Foundation Fellowship in Theoretical Physics in 2012.
Member of the International Advisory Board, Oskar Klein Center for Cosmoparticle Physics, Stockholm, 2009-14
Associate Director, Michigan Center for Theoretical Physics 2003-12
Member of the Executive Board of the American Physical Society 2011-12
General Councilor, American Physical Society 2008-12
Board Member, Astronomy and Astrophysics Advisory Committee (AAAC) reporting to US Congress (2005-2008)
Board Member and Member of Steering Committee, Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, CA (2000-2003)
General Member of the Board, Aspen Center for Physics 1990-2000
Member of the Executive Committee, Michigan Center for Theoretical Physics (2000-2003)

Författare till boken
"The Cosmic Cocktail" (2014) Ges ut på svenska i maj 2016. Den engelska versionen finns recenserad i detta nummer av FA.

Nobelpriset i fysik för neutrinooscillationer



Takaaki Kajita
© Takaaki Kajita

2015 års Nobelpris i fysik tilldelas gemensamt japanen Takaaki Kajita och kanadensaren Arthur B. McDonald "för upptäckten av neutrinooscillationer, som visar att neutriner har massa".



Arthur B. McDonald
© K. MacFarlane, Queen's University/SNOLAB

Vad är neutriner och neutrinooscillationer?

En neutrino är en elementarpartikel som tillhör samma familj av partiklar som t.ex. elektronen. Dessa partiklar kallas leptoner och utgörs av elektroner, myoner, tauoner samt de tre tillhörande neutrinerna. Neutriner är elektriskt oladdade, växelverkar endast via den svaga växelverkan och har mycket små massor. Neutriner produceras t.ex. i jorden, i solen, i atmosfären och i reaktioner vid accelerators och reaktorer. Bland annat är neutriner viktiga i de processer som gör att solen skiner. Fram tills juni 1998 trodde man att de var masslösa. Men resultat från Super-Kamiokande-experimentet i Japan visar att oscillationer mellan de olika så kallade neutrinosmakerna förekommer, vilket i sin tur innebär att

neutriner har massa. Detta innebär vidare att den fysikaliska modell som beskriver elementarpartikelfysiken (den så kallade standardmodellen) måste modifieras för att även kunna beskriva neutrinomassor. Observationen av neutrinooscillationer innebär därför att man har belägg för fysik bortom standardmodellen. Neutrinooscillationsfenomenet uppkommer som en sorts "svävningar" mellan de olika smaktillstånden, liknande svävningarna mellan två närliggande toner inom musiken, men är ett genuint kvantmekaniskt interferensfenomen.

En kort neutrinohistorik

I nära samband med att Takaaki Kajita och Arthur B. McDonald mottar sina Nobelpris firar neutrinerna 85-årsjubileum som ingrediens i vår beskrivning

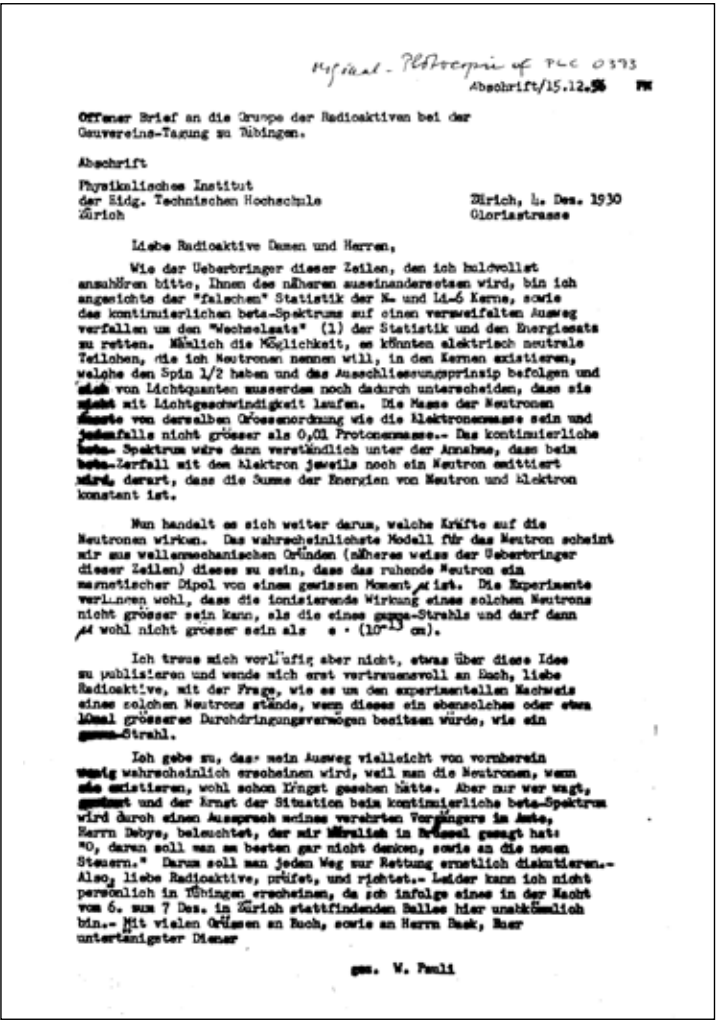
av universum. Året var 1930 och fysiksamfundet hade ingen förklaring till varför partiklarna i betasönderfall visade upp ett kontinuerligt energispektrum. Enligt dåvarande teorier var betasönderfall ett tvåkroppssönderfall och därför borde alla betapartiklar vid sönderfall av en given kärna ha samma energi. Som om detta inte vore nog verkade det inte heller som om rörelsemängdsmomentet var bevarat. Den 4 december 1930 skrev den österrikiske fysikern Wolfgang Pauli (Nobelpristagare i fysik 1945 för Paulis uteslutningsprincip) ett brev, se figur 1 till en konferens i Tübingen, Tyskland. Själv kunde han inte närvara vid konferensen, eftersom han var tvungen att gå på en bal i Zürich, Schweiz. I brevet föreslog han en "desperat åtgärd" för att komma tillrätta med problemet, nämligen existensen av en hittills oupptäckt

neutral partikel. Denna partikel skulle skapas tillsammans med betapartikeln i betasönderfall och därmed bära med sig en del av energin och rädda både energins och rörelsemängdsmomentets bevarande. Pauli kallade den nya partikeln för "neutron" och förutsade att den inte kunde ha en massa större än en hundradels protonmassa.

Den uppmärksamme läsaren noterar säkerligen att en neutron har en massa som är i samma storleksordning som protonmassan. När den brittiske fysikern James Chadwick upptäckte den partikel vi idag kallar för neutron 1932 (en upptäckt för vilken han belönades med Nobelpriset i fysik 1935) stod det klart att detta inte kunde vara den partikel som Pauli postulerat. För att skilja Paulis partikel från neutronen började den italienske fysikern Enrico Fermi (Nobelpriset i fysik 1938) att referera till Paulis partikel som "neutrino" efter italienskans "liten neutral" och i mars 1934 publicerade han en sammanhängande teori för betasönderfall som innefattade en växelverkan mellan en proton, en neutron, en elektron och en neutrino. Det fanns bara ett problem, baserat på kunskap från betasönderfall skulle neutriner växelverka mycket sällan och därmed vara väldigt svåra att upptäcka. Pauli refererade tidigt till detta faktum som "jag har gjort något fruktansvärt, jag har postulerat en partikel som ingen kommer kunna upptäcka".

Det tog 26 år innan amerikanerna Clyde L. Cowan och Frederick Reines kunde utföra det experiment som påvisade neutrinernas existens 1956. De gjorde detta genom att observera så kallat inverterat betasönderfall i vilket antineutriner från reaktionerna i en kärnkraftsreaktor träffar protoner i en vattentank med tillsatt scintillatormaterial och kadmiumklorid och därmed skapar en positron och en neutron. Positronens annihilation med en elektron skapar då ett par gammafotoner som kan detekteras med hjälp av scintillatormaterialet och neutronen fångas in av kadmiumkärnorna och ger därmed ytterligare en gammafoton. Att observera både fotonparet och fotonen från neutroninfångningen samtidigt var en otvetydig signal för neutrinernas

Figur 1: Paulis brev till en konferens i Tübingen 1930 i vilket han föreslår neutrino som en desperat åtgärd för att rädda energins och rörelsemängdsmomentets bevarande i betasönderfall. Engelsk översättning under brevet.



existens och Reines belönades med Nobelpriset i fysik 1995 för denna upptäckt (Cowan dog 1974).

Att neutriner förekommer i olika smaker bevisades först 1962 vid en accelerator i Brookhaven, USA av amerikanerna Leon M. Lederman, Melvin Schwartz och Jack Steinberger (Nobelpris i fysik 1988). De observerade att neutriner som skapas tillsammans med myoner i pion- och kaonsönderfall alltid ger upphov till myoner då de detekteras. De kunde därmed påvisa att dessa neutriner inte är desamma som de neutriner som skapas vid betasönderfall. Den tredje neutrinosmaken, tauneutrino, upptäcktes först 2000 av DONUT-experimentet som den näst sista partikeln i partikelfysikens standardmodell (Higgsbosonen påvisades sist 2012).

Copy/Dec. 15, 1956 PM

Open letter to the group of radioactive people at the Gauverein meeting in Tübingen.

Copy – Physics Institute Zürich, Dec. 4, 1930 of the ETH Gloriastrasse, Zürich

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen, As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, because of the "wrong" statistics of the N- and Li-6 nuclei and the continuous beta spectrum, I have hit upon a desperate remedy to save the "exchange theorem" (1) of statistics and the law of conservation of energy. Namely, the possibility that in the nuclei there could exist electrically neutral particles, which I will call neutrons, that have spin 1/2 and obey

Forts. nästa sida →

→ Forts.

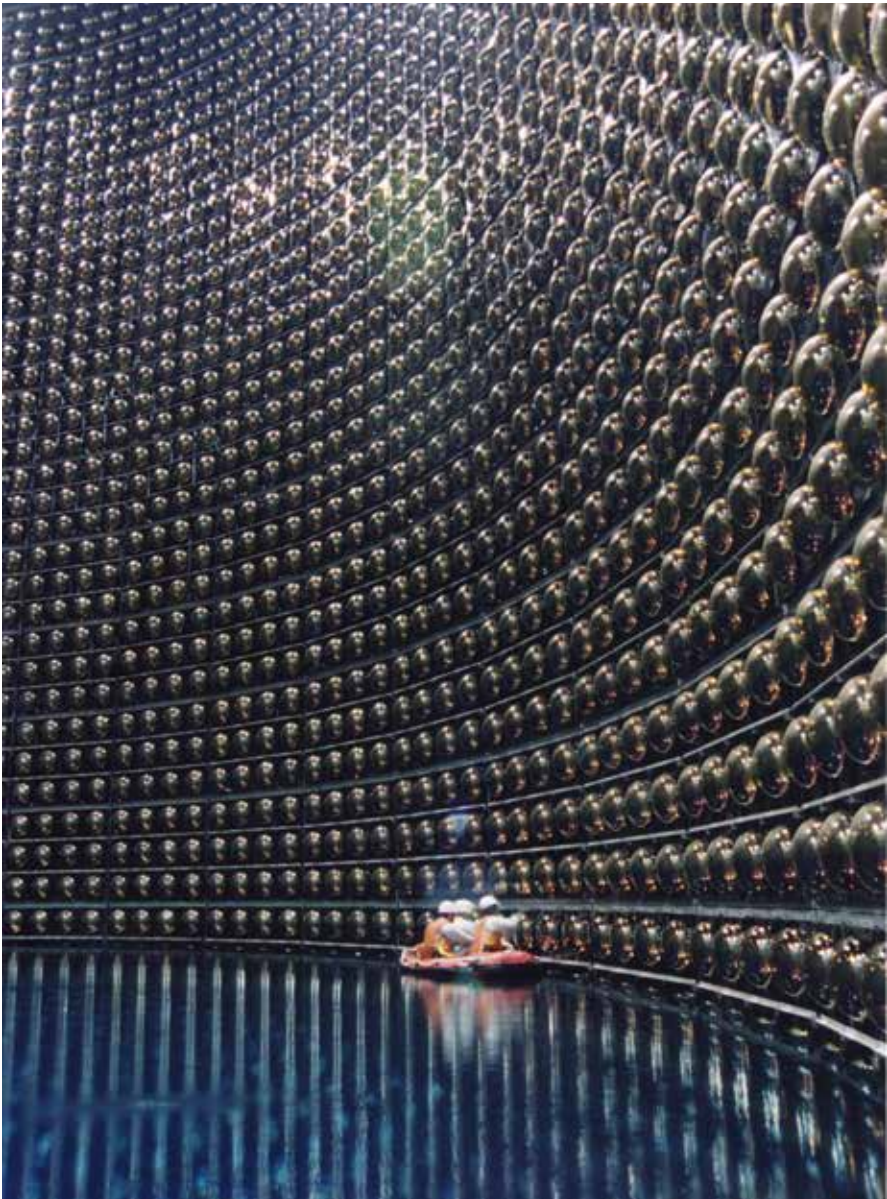
the exclusion principle and that further differ from light quanta in that they do not travel with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass and in any event not larger than 0.01 proton mass. – The continuous beta spectrum would then make sense with the assumption that in beta decay, in addition to the electron, a neutron is emitted such that the sum of the energies of neutron and electron is constant.

Now it is also a question of which forces act upon neutrons. For me, the most likely model for the neutron seems to be, for wave-mechanical reasons (the bearer of these lines knows more), that the neutron at rest is a magnetic dipole with a certain moment μ . The experiments seem to require that the ionizing effect of such a neutron can not be bigger than the one of a gamma-ray, and then μ is probably not allowed to be larger than $e \cdot (10\text{--}13\text{cm})$.

But so far I do not dare to publish anything about this idea, and trustfully turn first to you, dear radioactive people, with the question of how likely it is to find experimental evidence for such a neutron if it would have the same or perhaps a 10 times larger ability to get through [material] than a gamma-ray.

I admit that my remedy may seem almost improbable because one probably would have seen those neutrons, if they exist, for a long time. But nothing ventured, nothing gained, and the seriousness of the situation, due to the continuous structure of the beta spectrum, is illuminated by a remark of my honored predecessor, Mr Debye, who told me recently in Bruxelles: "Oh, It's better not to think about this at all, like new taxes." Therefore one should seriously discuss every way of rescue. Thus, dear radioactive people, scrutinize and judge. – Unfortunately, I cannot personally appear in Tübingen since I am indispensable here in Zürich because of a ball on the night from December 6 to 7. With my best regards to you, and also to Mr. Back, your humble servant signed W. Pauli

[Translation: Kurt Riesselmann]



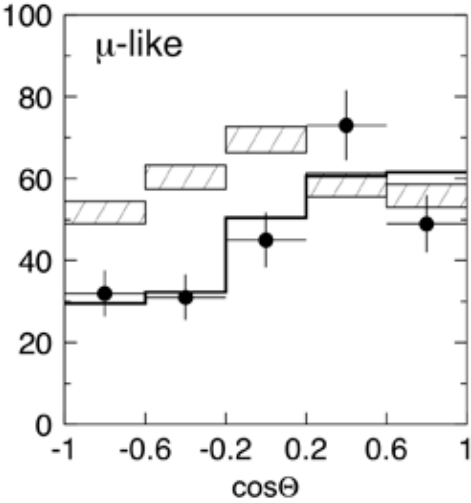
Figur 2: Invändig bild av en halvfull Super-Kamiokande-detektor. Vid vattenytan syns en båt med personer som rengör fotomultiplikatorerna.
© Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo.

Varifrån kommer neutriner?

Neutriner må vara svåra att fånga, men de kan skapas i mycket stora mängder, vilket gör det möjligt att detektera dem. De vanligaste neutrinooskällorna som man använder för neutrinooscillationsexperiment är neutriner från solen, atmosfären, acceleratorer och kärnkraftverk (reaktorer). Super-Kamiokande har gjort mätningar på både atmosfäriska neutriner och solneutriner, medan SNO (den andra aktuella neutrinodektorn) endast har använt solneutriner för sina mätningar. I solen produceras ca $2 \cdot 10^{38}$ neutriner per sekund, vilket betyder att ca 70 miljarder

solneutriner går genom din tumnagel på ca 1 cm^2 varje sekund! Från kosmisk strålning som växelverkar med atomkärnor i jordens atmosfär skapas kaskader av partiklar, där många av dessa partiklar är instabila och producerar neutriner när de sönderfaller. Vid både acceleratorer (såsom LHC) och reaktorer skapas också rikligt med neutriner. En vanlig

Figur 3: Delar av resultaten Super-Kamiokande presenterade 1998. På x-axeln anges $\cos(\Theta)$ där Θ är vinkeln relativt zenit, negativa värden på $\cos(\Theta)$ motsvarar därför neutriner som gått igenom jorden. Vi kan se hur det uppmätta antalet myonneutriner (de runda datapunkterna) är lägre än det förväntade antalet (streckade rektanglar) i dessa riktningar.
© 1998 by the American Physical Society.



kärnkraftsreaktor (termisk effekt 1 GW) producerar ca 10^{20} neutriner per sekund. När en supernova av typ II exploderar utsänds 99 % av dess frigjorda energi i form av neutriner och således utsänds ca $6 \cdot 10^{57}$ neutriner per sekund under ca 10 sekunder. Den senaste supernovan av detta slag som kunde observeras med blotta ögat från jorden var SN1987A, men av det enorma antalet neutriner som utsändes från den detekterades endast 24 neutriner på jorden. Andra neutrinooskällor är Big Bang, kosmiska punktkällor och naturlig radioaktivitet i biologiskt material såsom våra kroppar. T. ex. en människa som väger ca 70 kg producerar ca 5 000 neutriner per sekund från betasönderfall av ^{40}K , vilken är den största källan av naturlig radioaktivitet hos människor och djur.

Super-Kamiokande-experimentet

Experimentet Super-Kamiokande, se figur 2, är en uppgradering av det ursprungliga och mindre Kamiokande (Kamioka Nucleon Decay Experiment) som byggdes i första hand för att försöka uppmäta proton sönderfall, men som även fungerar utmärkt som neutrinodektor. Båda experimentens grundidé går ut på att samla en gigantisk mängd vatten i en stor tank vars sidor täckts med fotomultiplikatorer, en typ av ljuskänslig detektor. Detta kan användas vid neutrinodektion genom att den elektron eller myon som bildas då en neutrino växelver-

kar i detektorn rör sig snabbare än ljusets hastighet i vatten och därmed utsänder så kallad Tjerenkovstrålning som fotomultiplikatorerna kan uppfatta. Detta ger upphov till karaktäristiska ringmönster i detektorn. Då elektronen är mycket lättare än myonen påverkas den mer av växelverkningar med vattnet, vilket leder till att de ringar som skapas av elektroner blir oskarpa medan ringarna som skapas av myoner blir skarpa. Genom att titta på ringarnas form kan man därför avgöra om den neutrino som växelverkat i detektorn var en elektron- eller myonneutrino.

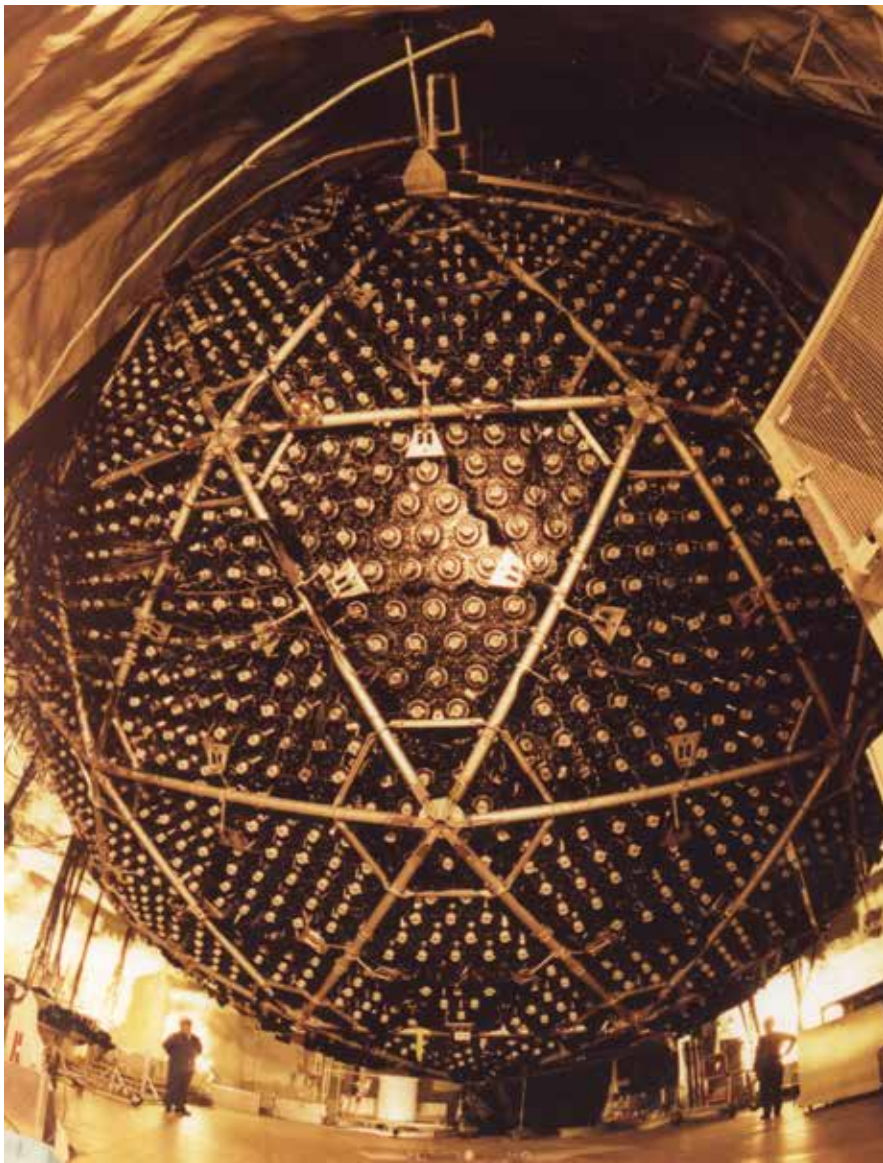
Vattentanken som Super-Kamiokande består av är en upprätt cylinder med en höjd på 41 m och en diameter på 39 m. De 11 146 fotomultiplikatorerna som täcker väggarna har en diameter på 50 cm. Vål fylld innehåller tanken 50 000 kubikmeter vatten som hålls mycket rent genom ett intrikat reningssystem för att de svaga ljusblxtarna som resulterar från Tjerenkovstrålningen skall kunna nå fotomultiplikatorerna så lätt som möjligt.

Super-Kamiokandes största upptäckt, för vilken Takaaki Kajita, som var ledaren för analysen av atmosfäriska neutriner, tilldelats Nobelpris i fysik 2015, publicerades 1998 och berörde mätningar av atmosfäriska neutriner. Genom att använda modeller för hur den kosmiska strålningen skapar neutriner när den träffar jordatmosfären kunde man förutsäga hur många neutriner Super-Kamiokande borde observera. Eftersom det rör sig om neutriner med väldigt hög energi är

riktningen i vilken den resulterande elektronen eller myonen rör sig dessutom starkt korrelerad med riktningen från vilken neutrinoen kom. Detta innebar att Super-Kamiokande kunde dela upp neutrinomätningarna i grupper baserat på vilken riktning de kommit ifrån. Det var genom denna uppdelning som bevisen för neutrinooscillationer framträdde. När man tittade på neutriner som kommit rakt uppifrån stämde både mängden elektronneutriner och mängden myonneutriner väl överens med de förutsägelser som gjorts, men för de neutriner som kom nedifrån och därigenom färdats en längre sträcka saknades en stor del av de myonneutriner som man väntat sig att observera, se figur 3. Samtidigt stämde antalet elektronneutriner fortfarande väl överens med det förväntade antalet. Tolkningen av experimentet är därför att när myonneutriner rör sig en längre sträcka kan de ändra skepnad till tauneutriner. Eftersom tauonen är mycket tung räcker energin i de atmosfäriska neutriner inte till för att detektera tauneutriner. Trots att man påvisat att myonneutriner försvunnit och att detta är beroende på längden neutriner rört sig återstod alltså att påvisa att neutriner verkligen byter skepnad till en annan neutrinosmak och inte försvinner på annat sätt, exempelvis genom att sönderfalla till någon okänd typ av partikel.

SNO-experimentet

Experimentet Sudbury Neutrino Observatory (SNO), se figur 4 på nästa sida, byggdes med det vetenskapliga målet att studera solneutriner. Detta i sig var inget nytt, eftersom solneutriner redan hade uppmätts i flera olika experiment där Homestake-experimentet var det första och för vilket amerikanen Raymond Davis, Jr tilldelades Nobelpriset i fysik 2002. Liksom Super-Kamiokande bestod SNO av en vattentank omgiven av fotomultiplikatorer men i ett mindre format – SNOs detektor bestod av en sfärisk volym med en diameter på endast 12 m innehållandes 900 kubikmeter vatten. Gemensamt för de solneutrinoexperiment som tidigare genomförts var att de var känsliga



Figur 4: Urvändig bild på SNO-detektorn.
Photo courtesy of SNO.

tektorn enbart tungt vatten. Detta gjorde det svårt att se neutralströmsreaktionen då tungt vatten har mycket svårt att fånga upp neutroner varför dessa oftast försvann från detektorn innan detta skedde. Istället genomfördes i denna första fas framför allt mätningar på reaktionen $D + \nu_e \rightarrow p + p + e^-$ som sker genom laddade strömmar och där den resulterande elektronen kan uppmätas genom sin Tjerenkovstrålning. Liksom för tidigare experiment var dock denna reaktion enbart känslig för elektronneutriner och man kunde återigen observera färre elektronneutriner än väntat.

I den andra fasen tillsatte man 2 ton koksalt (NaCl) till det tunga vattnet. Detta i sig var en djärv manöver eftersom det tunga vattnet enbart var till låns och man var tvungen att försäkra sig om att man kunde rena det innan det lämnades tillbaka. Anledningen till denna ändring var att koksalt innehåller kloratomer som är betydligt mer effektiva för neutroninfångning än vad tungt vatten är och ger en karaktäristisk gammafoton med en energi på 8,6 MeV. Efter att ha samlat in tillräckligt med data insåg man att man hade fått jackpott. Det totala flödet av alla neutrinosmaker stämde mycket väl överens med solmodellernas förutsägelser och man kunde 2002 publicera slutsatsen att vissa av elektronneutrinerna på vägen från solens inre till jorden byter skepnad till myon- eller tauneutriner och därmed även bekräfta att neutriner verkligen oscillerar, se figur 5.

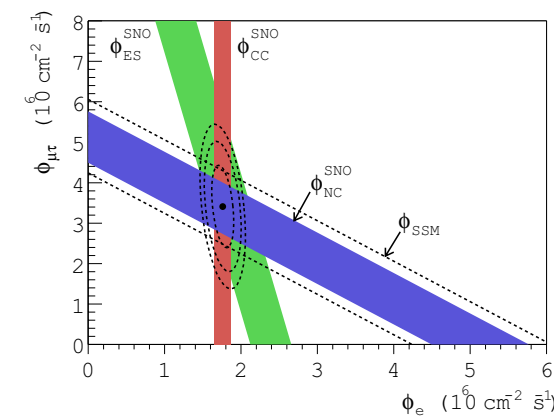
Hur fungerar neutrinooscillationer?

Den fullständiga motiveringen till årets Nobelpris i fysik lyder "för upptäckten av neutrinooscillationer, som visar att neutriner har massa." Vi har hittills gått igenom hur neutrinooscillationer upptäcktes men hur påvisar detta att neutriner har massa? För att komma underfund med hur detta hör samman måste vi dis-

kutera hur neutrinooscillationerna uppstår.

Som vi tidigare nämnt finns det tre olika neutrinosmaker, elektron-, myon- och tauneutriner. Det som definierar dessa smaker är vilken laddad lepton som bildas när neutrion genomgår svag växelverkan genom utbyte av en W-boson. Då alla smaker har samma kvanttal behöver smakerna inte vara desamma som neutrinerna med väldefinierad massa utan kan generellt sett vara en kvantmekanisk superposition av dessa. Vi kallar neutrinerna med väldefinierade massor för ν_1 , ν_2 och ν_3 . Detta är inte en egenskap som är unik för neutriner och laddade leptoner. Även bland kvarkarna växelverkar inte uppkvarken enbart med nerkvarken och charmkvarken växelverkar inte enbart med särkvarken. Istället ser vi bland kvarkarna att exempelvis särkvarken kan övergå i en uppkvark vid utbyte av en W-boson. På samma sätt övergår en elektron inte nödvändigtvis i en ν_1 , utan skulle även kunna övergå i en ν_2 eller ν_3 .

Vad skiljer då neutrinerna från kvarkar i det här avseendet? När det gäller kvarkarna kan vi lätt avgöra vilken kvark som bildats vid en växelverkan enbart genom att se på reaktionens kinematik. Av denna anledning kommer de olika möjliga växelverkningarna bland kvarkarna att skapa tillstånd som mycket fort förlorar sin koherens. I vissa sönnerfall gör skillnaden i kvarkmassorna även att enbart vissa sluttillstånd är tillåtna. När det gäller neutrinerna är de alla mycket lätta (eller masslösa som i standardmodellen). Som en följd av detta skapas inte bara ett av masstillstånd ν_1 , ν_2 och ν_3 i en neutrinoreaktion, utan istället skapas en koherent superposition av alla dessa tillstånd. Även om en liten skillnad i neutrinernas massa skulle leda till att neutrinerna skulle få olika kinematiska egenskaper är detta inte tillräckligt för att bryta koherensen då osäkerheten i de kinematiska storheterna i de experiment vi kan utföra är betydligt större. Vad som dock är väldefinierat är vilken superposition av de olika neutrinerna som skapas vid växelverkningar mellan de olika laddade leptonerna och W-bosoner. Om vi



Figur 5: Begränsningar på neutrinoströmmarna från solen efter SNOs mätningar av neutralströmsreaktionen. De olika banden kommer från olika typer av mätningar och bekräftar att vissa av de ursprungliga elektronneutrinerna bytt skepnad till myon- eller tauneutriner.

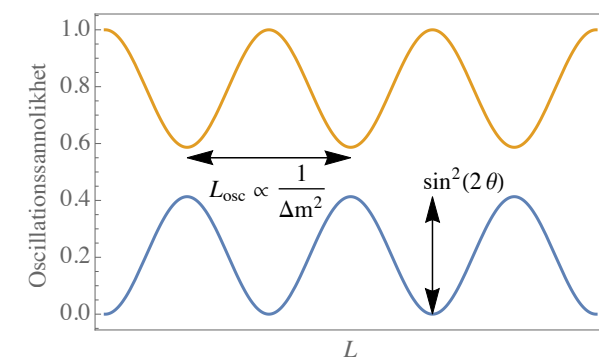
© 2002 by the American Physical Society.

gör en mätning strax efter att en neutrino skapats, så befinner sig neutrion fortfarande i precis samma superposition som den skapades i och beter sig därför på samma sätt som tidigare – en neutrino som skapades i en växelverkan med en elektron kommer att växelverka som en elektronneutrino och så vidare.

Neutrinooscillationer kommer in i bilden när vi studerar neutriner på lite längre avstånd från källan. Om neutriner har massor som bara skiljer sig åt lite grann, så kommer energin för masstillstånd ν_1 , ν_2 och ν_3 att vara olika. Energin för en neutrino som rör sig nära ljusets hastighet med en rörelsemängd p skiljer sig från energin hos en masslös neutrino med samma rörelsemängd med ungefär $m^2 c^3 / 2p$ där m är neutrinos massa och c ljushastigheten. Detta innebär att de olika neutrinotillstånd med tiden samlar på sig olika kvantmekaniska faser och därmed ändras den superposition som en neutrino befinner sig i med tiden. Eftersom neutrinos

möjliga växelverkningar vid utbyte av en W-boson beror på den superposition av masstillstånd som neutrion befinner sig i ändras därmed även dessa med tiden och en neutrino som skapats vid en växelverkan med en elektron kan med en viss sannolikhet skapa en myon eller en tauon vid ett nytt utbyte av en W-boson. Detta fenomen är precis vad som kallas neutrinooscillationer och då fasskillnaderna beror på skillnaden i energi mellan de olika tillstånd är dessa direkt beroende på att neutrinerna har olika massor. I en så kallad tvåsmaksapproximation där vi enbart inkluderar två neutrinosmaker ges sannolikheten att en neutrino oscillerar från en smak till den andra av $\sin^2(2\theta) \sin^2(\Delta m^2 c^2 L / 2\hbar p)$ där θ är en blandningsvinkel, L är sträckan neutrion har färdats och $\hbar$ är Diracs konstant, se figur 6. Blandningsvinkeln är ett mått på hur starkt de olika neutrinosmakerna växelverkar med de olika masstillstånd. Om den är noll så växelverkar varje smak enbart med ett masstillstånd och om den

Figur 6: Oscillationssannolikheterna i en tvåsmaksapproximation som funktion av sträckan L som neutrinerna färdats. Den blåa kurvan



beskriver sannolikheten att neutrinerna byter smak medan den gula kurvan beskriver sannolikheten att neutrinerna behåller sin ursprungliga smak. Amplituden på oscillationerna ges av $\sin^2(2\theta)$, där θ är blandningsvinkeln, och längden för en hel oscillation L_{osc} är omvänt proportionell mot masskvadratskillnaden Δm^2 .

enbart eller till större delen för elektronneutriner samt att de alla uppmätt ett lägre neutrinoströmsflöde än det som förutsagts av de rådande solmodellerna, vilket dock inte borde vara ett problem om neutriner inte byter skepnad eftersom solen inte producerar några myon- eller tauneutriner. Vattentanken i SNO hade dock en egenskap som inget annat experiment tidigare haft. Istället för vanligt vatten innehöll den tungt vatten, det vill säga vatten där väteatomerna till större delen bytts ut mot väteisotopen deuterium vars kärna förutom den enda proton som finns i en vanlig vätekärna också innehåller en neutron.

Ledda av årets Nobelpristagare i fysik

Arthur B. McDonald hoppades forskarna vid SNO kunna mäta det sammanlagda flödet av alla neutrinosmaker genom att observera reaktionen $D + \nu \rightarrow n + p + \nu$ där en deuteriumkärna träffas av en neutrino och på grund av den tillförda energin delas upp i en proton och en neutron. Då denna reaktion, kallad neutralströmsreaktion (eng. neutral current (NC) interaction), inte ändrar på neutrion sker den med samma sannolikhet för alla olika neutrinosmaker. För att kunna observera reaktionen var man tvungen att se den gammafoton som bildas då den frigjorda neutronen uppfångas av en annan atomkärna.

I experimentets första fas innehöll de-

är 45° så växelverkar båda smakerna lika starkt med båda masstillstånden. Parametern $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$ är skillnaden mellan kvadraterna av massorna för tillstånden ν_2 och ν_1 .

Som en direkt följd av observationen av neutrinooscillationer måste därför både blandningsvinkeln θ och masskvadratskillnaden Δm^2 vara nollskilda och neutrinomassorna m_2 och m_1 måste därför vara olika. Givetvis kan de bara vara olika om minst en av neutrinerna är massiv och neutrinooscillationer förekommer därför enbart om neutrinerna har massa.

Grundläggande neutrino-parametrar

Super-Kamiokandes och SNOs upptäckt av neutrinooscillationer innebär således att det är nödvändigt att neutriner har massa och är blandade. Upptäckten var en av de första att ge belägg för fysik bortom partikelfysikens standardmodell. Matematiskt kan man uttrycka det så att de tre smaktillstånden är blandningar av de tre masstillstånden, där varje smaktillstånd är uppbyggt av delar av alla masstillstånd. Det är alltså masstillstånden, och inte smaktillstånden, som har massor. Om massan för det a :te masstillståndet betecknas m_a (där $a = 1,2,3$), så kan man införa masskvadratskillnader för neutrinernas massor: $\Delta m^2_{ij} = m_i^2 - m_j^2$. Endast två av de tre masskvadratskillnaderna är oberoende av varandra. Blandning av tre neutrinomaker kan generellt parametreras av fyra stycken så kallade (leptoniska) blandningsparametrar: tre blandningsvinklar θ_{12} , θ_{13} och θ_{23} samt en CP-brytande fas δ . Blandningsvinklarna är mått på den relativa förekomsten av masstillstånden i de olika smaktillstånden. Historiskt kallades θ_{12} , θ_{13} och θ_{23} solblandningsvinkeln, reaktorblandningsvinkeln och den atmosfäriska blandningsvinkeln, medan Δm^2_{21} och Δm^2_{31} kallades solmasskvadratskillnaden och den atmosfäriska masskvadratskillnaden – på grund av de typer av experiment de först uppmätts i. Idag kallas blandningsvinklarna endast θ_{12} , θ_{13} och θ_{23} och Δm^2_{21} och Δm^2_{31} kallas den lilla respektive stora masskvadratskillnaden. Totalt finns

Parameter	θ_{12}	θ_{13}	θ_{23}	δ	Δm^2_{21}	Δm^2_{31}
Värde	33,5° ±0,8°	8,5° ±0,3°	42,3° ±3,0°	okänt	(7,5±0,2)·10 ⁻⁵ eV ²	(2,5±0,1)·10 ⁻³ eV ²

det alltså sex grundläggande neutrino-parametrar – två masskvadratskillnader och fyra blandningsparametrar. Dessa parametrar måste därför läggas till den utökade standardmodellen. Super-Kamiokande har mätt θ_{23} och storleken på Δm^2_{31} (man har ännu inte kunnat bestämma tecknet på Δm^2_{31}), medan SNO har mätt θ_{12} och Δm^2_{21} . Efter Super-Kamiokande och SNO har även många andra experiment uppmätt flera av neutrino-parametrarna med hög precision. De aktuella experimentellt uppmätta värdena på de grundläggande neutrino-parametrarna sammanfattas i tabellen ovan.

Framtiden – öppna frågor inom neutrinfysik

Neutrinfysiken är idag ett mycket aktivt forskningsområde både experimentellt och teoretiskt och trots att den redan har belönats med fyra Nobelpris i fysik (se nedan), så återstår många fundamentala frågor. Några av dessa är:

- Är neutrinerna sina egna antipartiklar? Som de enda neutrala partiklarna i standardmodellen skulle neutrinerna kunna vara sina egna antipartiklar.
- Finns det något leptoniskt CP-brott?
- Vad är den absoluta neutrinomassskalan? Vad är summan av neutrinomassorna? Neutrinooscillationer avslöjar enbart skillnader mellan neutrino-massorna – inte deras individuella värden.
- Vilka är värdena på de återstående neutrino-parametrarna i den utökade standardmodellen? Vad är tecknet på den stora masskvadratskillnaden? Vad är värdet på den CP-brytande fasen?
- Hur uppstår neutrinomassor? Till skillnad från övriga partiklar i standardmodellen får neutrinerna inte sina massor genom Higgsmekanismen.

MATTIAS BLENNOW OCH
TOMMY OHLSSON,
KTH

Referenser

E. Fermi, *Versuch einer Theorie der -Strahlen. I*, Z. Phys. **88**, 161–177 (1934).

C.L. Cowan, F. Reines, F.B. Harrison, H.W. Kruse, and A.D. McGuire, Detection of the Free Neutrino: a Confirmation, Science **124**, 103–104 (1956).

G. Danby, J.M. Gaillard, K. Goulianos, L.M. Lederman, N. Mistry, M. Schwartz, and J. Steinberger, *Observation of High-Energy Neutrino Reactions and the Existence of Two Kinds of Neutrinos*, Phys. Rev. Lett. **9**, 36–44 (1962).

Super-Kamiokande Collaboration, Y. Fukuda et al., *Evidence for Oscillations of Atmospheric Neutrinos*, Phys. Rev. Lett. **81**, 1562–1567 (1998), **hep-ex/9807003**.

SNO Collaboration, Q.R. Ahmad et al., *Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral Current Interactions in the Sudbury Neutrino Observatory*, Phys. Rev. Lett. **89**, 011301 (2002), **nucl-ex/0204008**.

M.C. Gonzalez-Garcia, M. Maltoni, and T. Schwetz, *Updated fit to three neutrino mixing: status of leptonic CP violation*, J. High Energy Phys. **11**, 052 (2014), **1409.5439**.

Information om gruppen Teoretisk partikelfysik vid KTH

Gruppen i Teoretisk partikelfysik vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH) i Stockholm består av bl.a. professor Tommy Ohlsson och bitr. lektor Mattias Blennow. Gruppen bedriver forskning inom främst neutrinfysik och mörk materia.

Nobelpris i fysik inom neutrinfysik

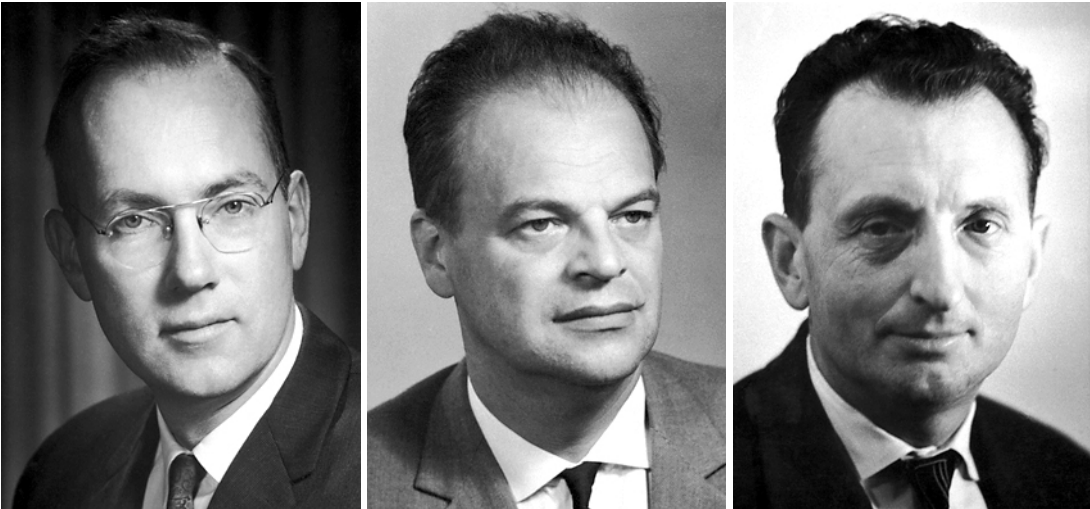
1988: Upptäckten av myonneutrinon (Lederman, Schwartz, Steinberger)

1995: Upptäckten av antielektronneutrino (Reines)

2002: Neutrinoastronomi – detektion av kosmiska neutriner (Davis, Koshiba)

2015: Neutrinooscillationer (Kajita, McDonald)

Nobelpriset i fysik 1964



Charles H. Townes Nikolaj G. Basov Aleksandr M. Prochorov

Ljusets år 2015 börjar lida mot sitt slut, ett år som inleddes med att pionjären inom laserfysiken, Charles Townes, avled i en ålder av 99 år. Därmed var han den sista att gå bort i trion som fick 1964 års Nobelpris i fysik, och eftersom priset dessutom passerat 50-årsgränsen för hemlighållandet av beslutsgången, så kan vi nu ta en närmare titt på de nomineringar, utredningar och överväganden som ledde fram till priset.

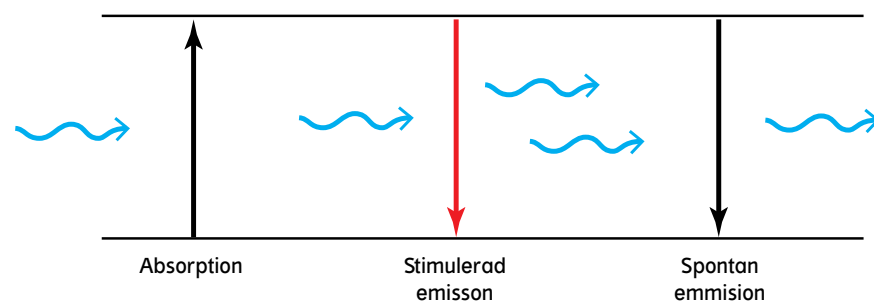
1964 år Nobelpris i fysik gavs till Charles H. Townes (1/2 pris), Nikolaj G. Basov (1/4 pris) och Aleksandr M. Prochorov (1/4 pris) ”för grundläggande arbeten inom kvantelektroniken, som lett till framställning av oscillatorer och förstärkare enligt maser-laser-principen”. Motiveringen är noggrant formulerad. Townes, Basov och Prochorov grundlade kvantelektroniken och formulerade maser-laser-principen. De fick inte priset för att de framställde oscillatorer och förstärkare, och man kan notera att rubinlasern, den första laser som framställdes (av Theodore Maiman), aldrig prisbelönades.

Max Planck hade formulerat sin strål-

ningslag år 1900 genom att anta att energin endast kunde sändas ut i multipler av en minsta enhet – ett ljuskvantum. Albert Einstein lyckades 1917 kvantmekaniskt härleda Plancks strålningslag genom att vid sidan av de välkända processerna spontan emission och absorption införa en tredje process, stimulerad emission (se Figur 1). Stimulerad emission ansågs länge vara ett teoretiskt påfund av marginellt intresse för en experimentalfysiker – frekvensavstämt ljus som infaller mot en samling molekyler kommer att absorberas eftersom nästan samtliga molekyler vid termodynamisk jämvikt befinner sig i det undre tillståndet. När de genom absorption exciterats till det övre tillståndet

kommer den spontana emissionen att driva molekylerna tillbaka till grundtillståndet. Den stimulerade emissionen blir under dessa förhållanden en mycket liten och omätbar process som kan negligeras.

Radartekniken utvecklades mycket under andra världskriget. Akademiska forskare var under kriget involverade i denna utveckling och kunde efter kriget överta utrustning som använts för radarteknik för att utveckla atom- och molekylspektroskopi med mikrovågor. Charles Townes insåg att en möjlighet att utveckla mikrovågsspektroskopin mot kortare våglängder (en millimeter och kortare) vore att ersätta elektronrörsoscillatorer med molekyllära oscillatorer.



Figur 1. Postulerad av Einstein 1917.

Han har själv i en intervju berättat att mer erfarna forskare på hans institution på Columbiauniversitetet ansåg projektet helt ogenomförbart och rådde honom att avbryta. Men han hade tenure (fast tjänst) och ansåg att han kunde fortsätta med forskningsinriktning utan att bry sig om sina mer seniora kollegers åsikter. Sakta växte de komponenter fram som krävdes för att bygga en molekylscillator. En pump som vände upp och ned på populationen i nivå 1 och 2 i Figur 1, och en kavitet som omslöt oscillatorn för att få den nödvändiga förstärkningen. I maj 1954 skickade Townes tillsammans med ett par yngre medarbetare en kort artikel till *Physical Review* där de redovisade sin fungerande molekylscillator baserad på ammoniakmolekylen. Ett år senare kom en längre artikel i samma tidskrift, nu med ett nytt namn – microwave amplification by stimulated emission of radiation, maser. Den stimulerade emissionen hade fått en högst påtaglig funktion – den medgav en lågbrusig, självsvängande oscillator av mycket hög och reproducerbar frekvensstabilitet.

Vid Lebedev-institutet i Moskva hade Nikolaj Basov och Aleksandr Prochorov liknande tankegångar som Townes, och den 19 januari 1954 lämnade de ett manuskript som publicerades (först på ryska, sedan i översättning till engelska) i *Journal of Experimental and Theoretical Physics, USSR*. I motsats till Townes redovisade de endast principerna för en molekylscillator, inte en fungerande sådan.

Det är helt klart att Townes å ena sidan och Basov och Prochorov å den andra, kom fram till maser-principen helt oberoende av varandra. År 1958 publi-

cerade Townes tillsammans med Arthur L. Schawlow en artikel i *Physical Review* med titeln *Infrared and Optical Masers*. De visade här hur man i princip kan konstruera en maser i det infraröda och optiska området – d v s principen för det vi nu kallar laser.

Samma år, 1958, började de första nomineringarna av Charles Townes komma. Erik Hulthén, ledamot av Nobelkommittén för fysik, skrev en kort utredning som konstaterade att det var för tidigt att överväga ett Nobelpris. De första nomineringarna av Basov och Prochorov kom 1960, bl a av Erik Ingelstam, professor i fysik på KTH. Det gjordes nya utredningar av medlemmar av Nobelkommittén, Erik Hulthén 1960, Bengt Edlén 1962 och Erik Rudberg 1962. Utredningarna pekade mot ett kommande pris till Townes ensam. 1964 fick Townes 29 nomineringar, men även Basov och Prochorov fick nomineringar. Några nomineringar från Sovjetunionen gällde bara den mer seniora Prochorov (men alla inkluderade Townes), medan Basovs och Prochorovs chef, D. Skobel'tzyn, nominerade båda tillsammans med Townes.

Nobelkommittén gav nu i uppdrag till Olof Rydbeck, den svenska radioastronomins fader, att skriva en utredning. Rydbeck skrev en mycket utförlig och väl genomtänkt rapport där han till slut kom fram till att det mest rättvisande vore att ge halva priset till Townes och låta Basov och Prochorov dela den andra halvan, en okonventionell fördelning när priset ges till tre personer med samma motivering; fram till 1964 användes bara tredjedelsprincipen i sådana fall. Townes arbeten hade fått större genomslag, han hade

byggt och tillämpat sin maser för olika fysikaliska problemställningar, och han hade formulerat laser-principen. Rydbeck såg bara en svaghet hos Townes; han hade inte insett att ett tre-nivå-schema skulle vara ett mer effektivt sätt att åstadkomma den nödvändiga populationsinversionen. Det hade däremot Basov och Prochorov insett redan från början, något som fällde avgörande för Rydbeck när han skulle formulera sitt prisförslag. Nobelkommittén köpte Rydbecks argumentering och lade fram förslaget som framgår av andra avsnittet ovan. Förslaget diskuterades därefter i Vetenskapsakademiens fysik-klass, som också gick på Nobelkommitténs linje, men inte enhälligt. Några ansåg att priset skulle gå till Townes ensam. Slutligen beslutade Vetenskapsakademien i plenum att dela ut 1964 års Nobelpris i fysik i enlighet med Nobelkommitténs förslag. För första (men inte sista) gången delades Nobelpriset i fysik mellan fysiker från både USA och Sovjetunionen. Den berömda sovjetiske fysikern Vladimir Fock fick som han hade hoppats på i sitt nomineringsbrev, daterat den 20 december 1963 i Leningrad: "Tilldelandet av ett Nobelpris till en ryss [Fock nominerade bara Prochorov och Townes] en amerikan skulle utan tvivel göra det bästa intryck på världssopinionen".

Man fråga sig hur det gick för de som också nominerades tillsammans med Townes och som ansågs ha gjort bidrag till laserutvecklingen. Bra, får man säga. Alfred Kastler fick ensam 1966 års Nobelpris i fysik och Arthur L. Schawlow fick 1981 dela ett halvt pris med Nicolaas Bloembergen, en annan laserpionjär; den andra halvan gick det året till Kai Siegbahn.

Lasern gjorde sin filmdebut i James Bondfilmen *Goldfinger*. Filmen hade premiär i London den 17 september 1964, endast sex dagar efter att Nobelkommittén för fysik (Erik Rudberg, Bengt Edlén, Oskar Klein, Kai Siegbahn) hade enat sig om att föreslå maser-laserprincipen för prisbelöning.

Jag är tacksam för tillgång till Kungliga Vetenskapsakademiens Nobelarkiv.

MATS LARSSON
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Den kollapsande stjärnans gåta

Massiva stjärnor slutar sina liv när kärnan kollapsar till en neutronstjärna eller ett svart hål. Den oerhörda mängd gravitationell energi som frigörs omvandlas huvudsakligen till fritt flyende neutriner, men den lilla andel som absorberas är tillräcklig för att ge upphov till de spektakulära fenomen som vi observerar som supernovor. Gasen hettas upp och slungas ut i rymden med höga hastigheter – upp till en tiondel av ljusets – och berikar omgivningarna med grundämnen skapade under stjärnans liv och under själva explosionen. På så sätt bidrar supernovorna till att skapa nya generationer av stjärnor, rikare på de tyngre grundämnena som utgör förutsättningen för steniga planeter som jorden och i förlängningen även för uppkomsten av liv.

Att förstå supernovor kräver avancerade modeller för hur stjärnor utvecklas, hur själva explosionen går till och hur den expanderande gasbubblan ger upphov till det ljus som vi observerar. En nyckelfråga inom forskningen är vilka typer av stjärnor som ger upphov till vilka typer av supernovor.

Stjärnors utveckling

En stjärnas liv kan beskrivas som en kamp mellan gravitationen, som vill dra samman stjärnan, och trycket, som vill expandera den. Här har tillståndsekvationen, som beskriver hur storheter som tryck, täthet och temperatur förhåller sig till varandra, avgörande betydelse. Om gravitationen växer snabbare än trycket när tätheten ökar är tillståndet instabilt, vilket kan leda till gravitationell kollaps. Intressant nog är detta precis vad som inträffar när en stjärna föds ur ett interstjärnt gasmoln och när massiva stjärnor dör genom att kärnan kollapsar.

Mellan dessa ytterligheter, där allting sker mycket snabbt, utvecklas stjärnor extremt långsamt. Trycket skapas av värmen som lagrats i gasen, men eftersom stjärnor kyls av genom strålning måste de hela tiden värmas upp för att balansen ska upprätthållas. I unga år sker detta genom att stjärnan krymper (och därmed hettas upp), men när temperaturen har blivit tillräckligt hög tar kärnreaktioner vid som den viktigaste värmekällan. Den första och viktigaste är fusion av väte till helium. En stjärnas energiförbrukning (per massa) är förvånansvärt låg, och stjärnor liknande solen kan förbränna sitt väte under många miljarder år.

När vätet i kärnan har förbränts går utvecklingen snabbare. Kärnan krymper för att balansera gravitationen, hettas därvid upp och när temperaturen blivit tillräckligt hög tar nästa fusionsprocess vid. På så sätt förbränns askan från den föregående förbränningen successivt till allt tyngre grundämnen och resultatet blir en lökliknande struktur där väterik gas omger heliumrik gas som i sin tur omger gas rik på tyngre grundämnen.

Hur stjärnan slutar sitt liv avgörs av tillståndsekvationen. Om stjärnan är mindre än cirka tio solmassor hamnar gasen i ett specifikt kvantmekaniskt tillstånd, där trycket inte längre beror av temperaturen. Tillståndet är stabilt och leder till att kärnreaktionerna successivt avtar: stjärnan blir en så kallad vit dvärg.

Stjärnor större än cirka tio solmassor går ett helt annat öde till mötes. Fusionsenergi kan bara utvinas när grundämnena lättare än järn slås samman. Därför kan kärnreaktionerna inte längre utveckla den värme som krävs för att balansera gravitationen när kärnan väl utgörs av järn. Av olika anledningar förändras också tillståndsekvationen så att kärnan blir instabil och inte längre kan balansera gravitationen genom kontrollerad kontraktion. Därför återstår bara en möjlighet: gravitationell kollaps, ofta kallad för kärnkollaps. Detta är slutpunkten för en massiv stjärnas liv, och vad som följer – en supernova, ett gammastrålningsutbrott eller eventuellt ingenting observerbart – beror på de komplicerade processer som styr kollapsen av kärnan.

Supernovor

Under själva kollapsen befinner sig kärnan i fritt fall mot sitt centrum, och utgången avgörs återigen av tillståndsekvationen. Är kärnans massa mindre än ungefär fyra solmassor uppstår ett nytt stabilt tillstånd när tätheten närmar sig en atomkärnas: en neutronstjärna bildas. Är massan större än så finns inget stabilt tillstånd som kan förhindra en fullständig kollaps. Gravitationen triumferar, och resultatet blir ett svart hål.

En typisk massiv stjärna tros kollapsa till en neutronstjärna och följas av en supernova, men vissa supernovor och så

- Respondent: Mattias Ergon
- Avhandlingen framlagd den 27 maj 2015 vid Stockholms universitet, Naturvetenskapliga fakulteten, Institutionen för astronomi.
- Titel på avhandlingen: *SN 2011dh and the progenitors of Type I Ib supernovae*
- Länk till avhandlingen <http://su.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:800078>
- Handledare: Professor Jesper Sollerman, SU (huvudhandledare) och Claes Fransson, SU
- Opponent: Professor Victor P. Utrobin (ITEP, Moskva)

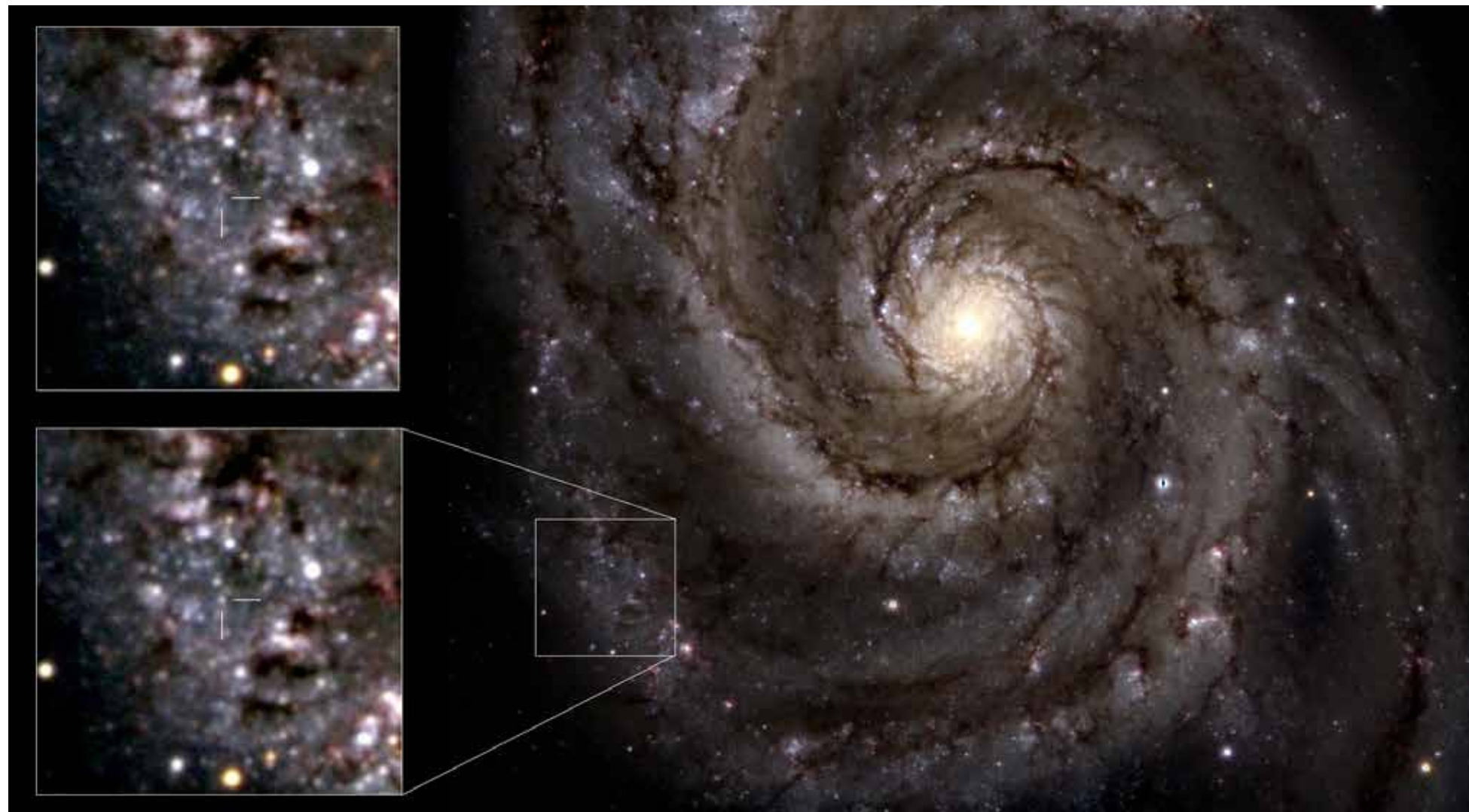
kallade gammablixtar kan höra samman med bildandet av svarta hål. Processen som leder från kärnkollaps till explosion är komplicerad och bara delvis förstådd, men det är helt klart att bara en bråkdel av den gravitationella energi som frigörs räcker som bränsle. Vad som händer därefter, när skalet på stjärnan slits itu av den kraftiga chockvågen, hettas upp och slungas ut i rymden, tror vi oss ha bättre förståelse för. I avhandlingen använder jag den kunskapen för att simulera de supernovor vi observerar.

Historiskt har ett antal supernovor observerats i Vintergatan, senast av Tycho Brahe och hans lärjunge Johannes Kepler under renässansen. I modern tid upptäcks supernovor i andra galaxer dagligen med hjälp av automatiska genomsökningar av himlen med stora teleskop. Supernovorna delas in i ett antal olika typer beroende på vilka ämnen som ger avtryck i deras spektrum. Vissa är rika på väte (typ II), andra på helium (typ Ib), medan vissa innehåller mest tyngre grundämnen (typ Ic). Skillnaderna beror antagligen på hur mycket av stjärnans skal som förlorats, till exempel genom de starka stjärnvindar som förekommer i massiva stjärnor. (Dessutom finns supernovor av typ Ia vilka sannolikt härrör från termonukleära explosioner av vita dvärgar.)

En nyckelfråga är vilka stjärnor som ger upphov till vilka supernovor. Även om vissa framsteg har gjorts är sambandet fortfarande tämligen oklart. Mest vedertaget är att röda superjättar – stjärnor som är enormt stora (cirka 1000 solradier) men relativt svala (cirka 3000 grader) – ger upphov till väterika typ IIP supernovor.¹ Sambandet har bekräftats genom direkta observationer av stjärnorna med hjälp av bilder tagna före explosionen, vilket är möjligt om supernovan exploderat i en närbelägen galax och något av de största teleskopen råkat observera området av en lycklig slump.

En fråga som diskuterats livligt på senare tid är möjligheten att vissa supernovor, i synnerhet de vätefattiga, härrör

¹ De flesta typ II supernovor är av under-typen IIP, vilka karaktäriseras av en mer eller mindre konstant ljusstyrka under den tidiga ogenomskinliga fasen.



från dubbelstjärnesystem. Forskningen visar att stjärnvindarna ökar i styrka med den ursprungliga massan, och att de mest massiva stjärnorna därför kommer att förlora sitt väterika skal innan kärnan kollapsar. Problemet är bara att så pass massiva stjärnor verkar vara sällsynta i jämförelse med de vätefattiga supernovorna. Flera undersökningar antyder också att stjärnorna som föregår dessa har relativt låga massor. Därför är det möjligt att vätefattiga supernovor härrör huvudsakligen från dubbelstjärnesystem, där väteskalet förlorats i ett så kallat Roche-lobe flöde till en närbelägen kompanjonstjärna. Ett sätt att avgöra saken är att så noggrant som möjligt försöka uppskatta massorna på stjärnorna som exploderade. Direkta observationer är att föredra men samtidigt ytterst ovanliga, och en alternativ metod är att försöka räkna baklänges med utgångspunkt från supernovorna. Den här metoden har jag använt i min

avhandling för att undersöka typ IIb supernovor, och i synnerhet den närbelägna 2011dh.

Supernovan 2011dh och andra typ IIb supernovor

Den 20 januari 2005 riktas det rymdbaserade Hubbleteleskopet mot den närbelägna Virvelgalaxen (M51), och bilder tas av det område där supernova 2011dh senare kommer att explodera. Undersöker man platsen för supernovan upptäcker man en gul anonym stjärna, som såvitt man kan se inte skiljer sig från miljoner andra i denna galax. Hade vi kunnat se, eller på annat sätt mäta vad som händer i kärnan, hade vi dock dragit en annan slutsats. Här utvecklas enorma energimängder, temperaturen överstiger en miljard grader, och under de sex år som följer kommer det syrerika plasmat att förbrännas till järn i rasande fart.

Vid tolvtiden den 30 maj 2011 kollapsar kärnan på en tidsskala som kan räknas i millisekunder och den efterföljande chockvågen som sliter sönder stjärnan når ytan några timmar senare.² Supernovan observeras av ett stort antal astronomer världen över, både professionella och amatörer, och följs sen noggrant av flera forskargrupper med hjälp teleskop känsliga för allt från röntgenstrålning till radiovågor. I avhandlingen presenteras omfattande observationer gjorda av vår forskargrupp, och sammantaget är supernova 2011dh en av de bäst observerade någonsin.

Det relativt svaga avtrycket av väte i supernovans spektrum, som sakta klingade av med tiden, är karakteristiskt för typ IIb supernovor, och innebär troligen

² Virvelgalaxen ligger på ett avstånd av ungefär 30 miljoner ljusår, så i själva verket inträffade supernovan tidigt under den neogeniska perioden på jorden.

att dessa härrör från stjärnor som förlorat det mesta av sitt väterika skal. För att bekräfta detta och undersöka i detalj vilken stjärna som exploderade har jag och mina kollegor använt oss av ett flertal oberoende metoder. Förutom de direkta observationerna, som kan jämföras med simuleringar av stjärnors utveckling, har vi använt oss av simuleringar av explosionen och den efterföljande supernovan. Simuleringarna baseras både på den tidiga (cirka tre månader långa) ogenomskinliga (nebulära) fasen där mängden tyngre grundämnen skapade i det inre av stjärnan kan uppskattas. Man kan tycka att direkta observationer av stjärnan borde vara tillräckliga, men riktigt så enkelt är det inte. Dessutom är det viktigt att jämföra med metoder som bygger på observationer av supernovan, vilket ju är vad man vanligen har tillgång till.

Glädjande nog är resultaten från de

olika metoderna samstämmiga, och ger en entydig bild av en stjärna med relativt låg ursprunglig massa (ungefär 12 solmassor) som förlorat det mesta av sitt väterika skal. Vid explosionen verkar skalet fortfarande ha varit vidsträckt (ungefär 300 solradier) och bestått av extremt uttunnad gas.

I avhandlingen presenteras också en undersökning av ett tjugotal andra typ IIb supernovor där vi så systematiskt och noggrant som möjligt försöker bestämma stjärnornas ursprungliga massor. Genom att simulera ett stort antal möjliga supernovaexplosioner av stjärnor med varierande ursprunglig massa, i sin tur simulerade från unga år till randen av kärnkollaps, kan vi uppskatta den ursprungliga massan på stjärnorna. Metoden som används är densamma som för supernova 2011dh: den baseras på den tidiga ogenomskinliga fasen, och bygger på jämförelser mellan simuleringar och observationer av den totala ljusstyrkan och hastigheten hos den expanderande gasen.

Resultatet tyder på att de allra flesta typ IIb supernovor härrör från stjärnor med relativt liten ursprunglig massa (mindre än femton solmassor). Även om osäkerheten är stor, så krävs det förmodligen en betydligt större ursprunglig massa för att en stjärna ska förlora sitt väterika skal genom stjärnvindar, vilket betyder att supernova 2011dh och de flesta andra typ IIb supernovor sannolikt härrör från dubbelstjärnesystem, där det väterika skalet istället förlorats till en kompanjonstjärna. På sätt och vis är det ingen överraskande slutsats, eftersom forskningen visar att en stor andel av de massiva stjärnorna befinner sig i täta dubbelstjärnesystem, men de allt starkare bevisen för att detta gäller just typ IIb supernovor är ändå ett viktigt framsteg.

Många problem återstår fortfarande att lösa innan sambandet mellan supernovorna och stjärnorna som föregår dem är klarlagt, men som så ofta inom vetenskapen så leder den ibland något krokiga vägen sakta men säkert framåt.

MATTIAS ERGON
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Tid och rum försvinner med blicken ut i universum

Barndomens sommarlov gav Mattias Ergon mersmak för astronomi. Det platta landskapet på Södra Öland och den låga horisonten gjorde att stjärnornas värld upptäcktes tidigt. På farföräldrarnas gård fanns ett mindre teleskop som bidrog till ett fördjupat intresse för alla frågor där ute som sökte svar.



Teleskopen på Öland blev över tiden större och mer avancerade. Ett amatörastronomiskt sällskap bildades och är fortfarande aktivt.

– Idag finns ett cirka tre meter högt observatorium på vår tomt med avancerad utrustning som vi lånat av sällskapet, berättar Mattias.

Han berättar att under en period, innan den digitala revolutionen, gjorde de observationer och fotograferade himlen och hade ett eget fotolaboratorium i huset på landet. Det var mycket spännande att ta fram bilder och titta på olika fenomen.

Är astronomi ett släktintresse?

– Ja, det kan man säga. Intresset väck-

tes när jag fick ett mindre teleskop av farmor, och snart var hela familjen engagerad. Bland annat byggde farsan ett observatorium som var föregångaren till det vi har i dag, berättar Mattias.

Men inte förrän mitt i livet bestämde sig Mattias för att doktorera i astronomi. Vägen dit gick via "Fysikerlinjen" vid Stockholms universitet på 80-talet och sedan följde över femton yrkesverksamma år inom it-branschen.

Varför blev det it-branschen?

– Det var där jobben fanns vid den här tiden, berättar Mattias. Det var brist på välutbildade dataprogrammerare så det var där man hamnade.

– Jag trivdes bra med programme-

ringsarbetet, men åren gick och jag kände att det saknades något ytterligare i tillvaron. Det behövdes nya utmaningar, konstaterar Mattias

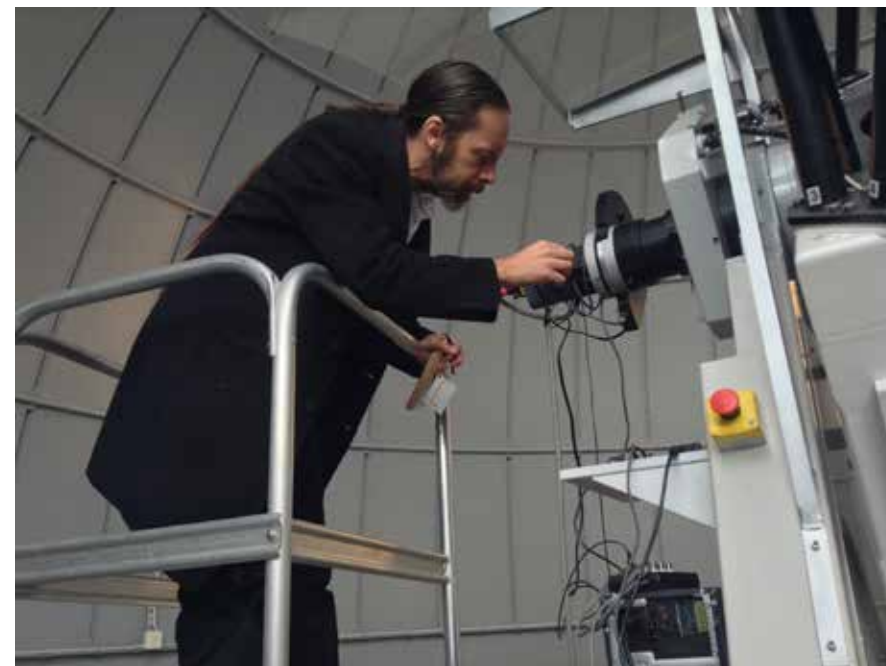
Vad gjorde du för att hitta en motvikt till dataprogrammerandet?

Musiken, konsten och teatern blev ett bra komplement till datajobbet för att hitta balans i tillvaron, berättar Mattias.

– Jag kommer från en konstnärsfamilj, båda mina föräldrar är konstnärer och musiken och konsten låg nära tillhands och blev ett bra komplement.

Vilka musikinstrument hanterar du?

– Under min uppväxt gick jag på den kommunala musikskolan och lärde mig



att spela trumpet, vilket gav mig en bra grund inom musiken. Men idag spelar jag inte särskilt mycket, avslöjar Mattias.

Vilken slags musik ägnade du dig åt?

– Jag spelade framförallt i ett rockband, säger Mattias. Under en period var det min huvudsakliga sysselsättning och vi spelade mycket både i Stockholm och runtom i landet. Men då försvann teatern förstås, konstaterar Mattias som under ett år även gick på teaterskola och arbetade halvtid.

Hur kommer det sig att du trots allt hamnade i den akademiska världen?

– Det är en svår fråga att svara på, säger Mattias. Från början var det nog att något skulle man bli och fysik var jag duktig i. Ämnet var roligt.

Under vårt samtal så framgår att skolan inte uppfyllde Mattias förväntningar och behov. Matematik, fysik och några ytterligare ämnen var roliga och spännande att fördjupa sig i.

– Men mina kunskaper varierade väldigt och jag kände mig inte bekväm i skolan, säger Mattias. Fysikintresset hängde i och efter naturvetenskapligt gymnasium satsade Mattias på fysikerlinjen vid Stockholms universitet. Trots avsaknad av akademisk tradition i familjen så saknades

inte naturvetenskapligt intresse och Mattias berättar att han hade starkt stöd av sin pappa i sitt val av utbildning.

Efter fysikerlinjen hamnade han som datorprogrammerare under 15 år vid ett dataföretag. Det var ett ganska vanligt yrke för en fysiker vid den här tiden. Jag tyckte om mitt arbete men man utvecklas som individ och jag kände att jag ville lära mer om andra områden. Astrofysiken

■ Mattias Ergon
Ålder: 47 år
Bor: Lägenhet i Hammarbyhöjden
Familj: Mor, bror och brorson

■ Utbildning
Naturvetenskaplig linje, Bandhagens gymnasium, Stockholm (1986)
Fysikerlinjen vid Stockholms universitet (1995)
Kompletterande universitetskurser i astronomi (2008-2009)
Doktorsexamen vid Stockholms universitet, maj 2015

■ Nuvarande arbete:
Forskare vid Institutionen för astronomi, SU

■ Tidigare arbete, främst:
Dataprogrammerare (1995-2008)

■ Fritidsintressen:
Musik, teater, litteratur, konst

hade alltid lockat mig och nu fick jag chansen lite oväntat eftersom företaget skulle omstruktureras och förändras. Jag gick tillbaka till universitetet och började läsa kompletterande astronomikurser som jag behövde för att bli behörig att läsa vidare inom astronomi.

– Nu är jag fast i ämnet, konstaterar han.

Vägen till en avhandling har inte varit spikrak för Mattias som hunnit komma mitt i livet. Varför dröjde det innan du började att doktorera?

– Jag har gjort flera u-svängar i livet och efter 15 år som dataprogrammerare ville jag göra något nytt, berättar Mattias. Jag behövde nya utmaningar. Astronomiintresset har alltid funnits och av en lycklig slump blev det ekonomiskt möjligt att komplettera och fördjupa kunskaperna i astronomi och doktorandstudier i astrofysik.

Nu känner jag att jag hittat hem. Mitt astronomiintresse från barndomen har äntligen fått en chans.

Hur känns det att doktorera när man är mitt i livet?

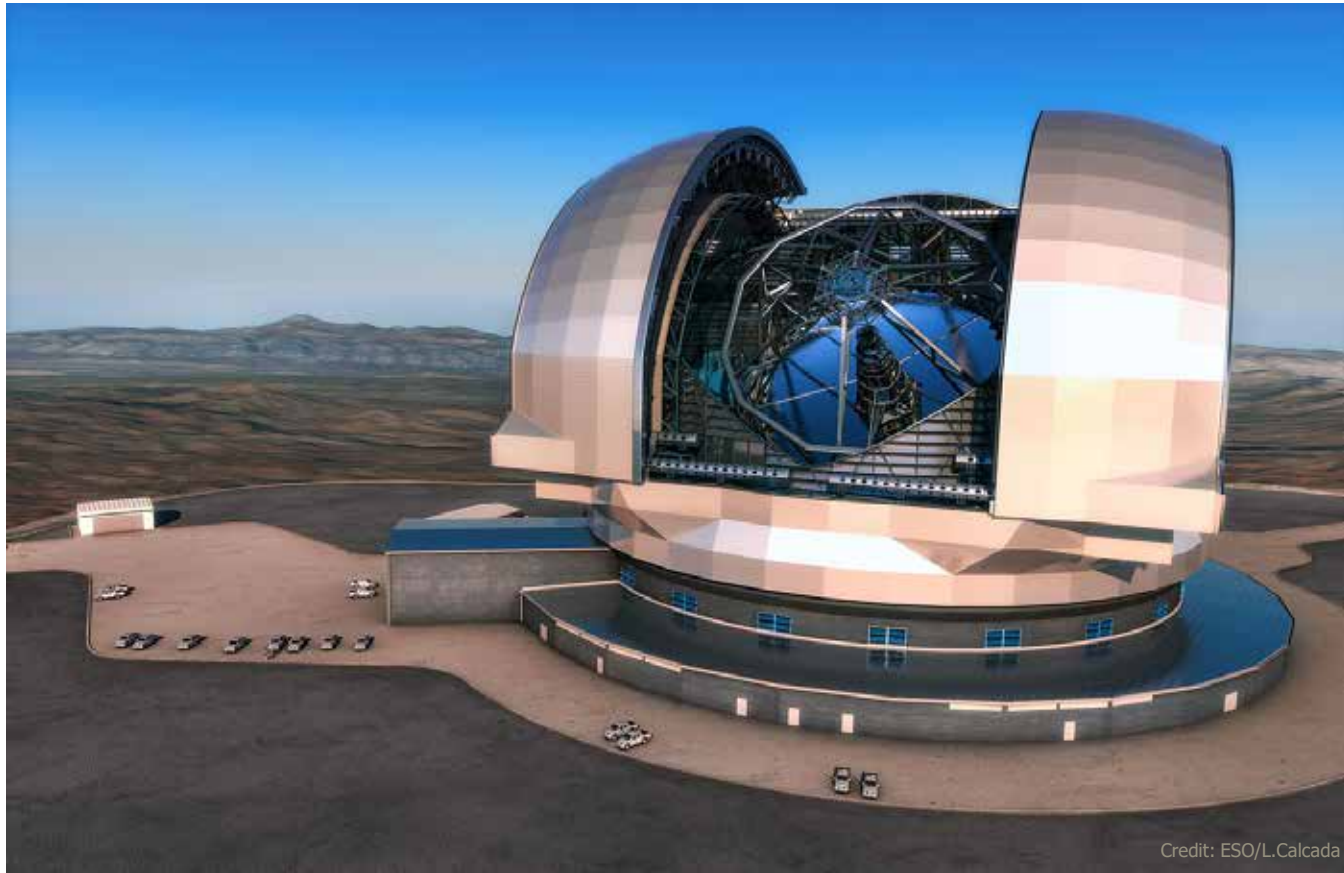
– Jag har inget behov av karriär. Det är en skön frihet att det inte finns en massa måsten som förföljer mig som annars yngre forskare kan drabbas av.

Planerar du någon postdoc?

– Jag har för närvarande en tillfällig tjänst på AlbaNova universitetscentrum och söker ett antal mer långvariga tjänster, bla ett tre-årigt internationellt stipendium från VR som jag tror skulle passa mig bra. Det skulle göra det möjligt för mig att jobba med en spännande forskargrupp i Belfast som forskar på det jag doktorerat på, berättar Mattias.

FA tackar för spännande visning av AlbaNovas teleskop i samband med intervjun.

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT



Credit: ESO/L.Calcada

E-ELT

Om du har ett teleskop och ska skryta om det ska du inte tala om hur långt eller tungt det är. Ej heller hur mycket det förstör. Nej, ett teleskops viktigaste egenskap är dess öppningsdiameter, dvs storleken på huvudspegeln ifall det nu är ett spegelteleskop.

Teleskopets ljussamlade area växer förstås med kvadraten på diametern. Trots all teknisk utveckling med exempelvis miniatyrisering av elektronik så kommer en teleskopbyggare inte ifrån de grundläggande fysikaliska begränsningarna. Därför behöver astronomerna teleskop med allt större öppningsdiameter. Det gör det möjligt att avbilda ljussvaga objekt som tidigare varit osynliga. Men framför allt gör det att ljuset kan analyseras bättre genom högre spektral, spatial och temporal upplösning.

Världens största optiska teleskop ska byggas på berget Cerro Armazones mitt i Atacamaöknen i norra Chile. Teleskopet kallas E-ELT, vilket ska uttydas European Extremely Large Telescope. Europeiska sydobservatoriet, Eso, driver projektet som är efterträdaren till Very Large Telescope – en uppsättning om fyra stycken 8-meterteleskop. När efterträdaren till dessa planerades funderades det först på ett teleskop i 100-metersklassen som benämndes OWL – Overwhelmingly Large Telescope. Så småningom blev dock öppningsdiametern nedputad till 39 m och

namnet blev det något mer modesta Extremely Large Telescope.

För att kunna genomföra E-ELT-projektet behövs pengar från utanför Esos nuvarande medlemsländer. Längre har man hoppats på Brasilien men den politiska processen där är långsam. I december 2014 beslutade man att starta bygget ändå, men med lägre hastighet där pengar sparas genom att en del komponenter i projektet försenas. Dock kommer det för astronomer och teleskopbyggare spännande ögonblicket "first light" inte senareläggas utan planeras äga rum år 2024.

Den gigantiska huvudspegeln ska inte göras i ett stycke. En sådan glasmästarprestation är för närvarande omöjlig. Den görs i stället som 798 stycken hexagonala segment. Varje segment är 1,4 m tvärs över och de är endast 50 mm tjocka. Teleskopspeglar i fria luften kommer så småningom att bli dammiga. På mindre teleskop måste man då och då rengöra spegeln eller ta ur den ur teleskopet och belägga den med ett nytt reflekterande aluminiumskikt. För E-ELT skulle detta vara ett gigantiskt och tidskrävande projekt som skulle göra teleskopet oanvändbart för lång tid. Därför kommer man att ha extra spegelement tillgängliga så att speglarna successivt tas ut för rengöring eller ytbeläggning. Med en takt på två segment om dagen kommer hela spegeln att förnyas på 18 månader.

Efter den stora huvudspegeln träffar ljuset en sekundärspegel med en diameter som är inte mindre än fyra meter. Efter ytterligare en reflektion når ljuset den adaptiva spegeln. Den blir 2,60 meter i diameter och ska ändra form 1000 gånger i sekunden med hjälp av 6000 aktuatorer. Detta för att parera de förvrängningar av ljusets vågfront som orsakas av turbulens i jordens atmosfär. På så sätt ska man få diffraktionsbegränsade bilder med en upplösning som närmar sig fem millibågsekunder i nära infrarött. (Diffraktionsbegränsade bilder i synligt ljus kommer nog att kräva en ny generation adaptiv optik.) Det betyder att teleskopet skulle kunna separera strålkastarna på en bil på 50000 km avstånd. För att veta hur spegeln ska deformeras måste den inkommande vågfrontens form mätas upp. I princip låter det sig göras genom att man observerar en ljusstark stjärna. Men det är ju inte ofta som en sådan finns precis bredvid ett intressant objekt. Därför utrustas teleskopet med flera kraftiga lasrar som skapar konstgjorda stjärnor när de belyser ett lager på ca 90 km höjd i jordens mesosfär där det naturligt finns natriumatomer som sprider ljus i de bekanta D-linjerna.

E-ELT ska inneslutas i en kupol som skydd mot vädret. Kupolen blir givetvis gigantisk, 75 m hög. Till en början såg teleskopprojektörerna detta som ett stort



Credit: ESO/L.Calcada

problem. Skulle industrin kunna klara av något sådant? Men konstruktionen är till sin storlek och konstruktion faktiskt inte alldeles olik en fotbollsstadion som nuförtiden ofta byggs med rörliga tak.

ESOs medlemsländer

Belgien, Danmark,
Frankrike, Finland, Italien,
Nederländerna, Polen, Portugal,
Spanien, Sverige, Schweiz,
Storbritannien, Tjeckien,
Tyskland, Österrike

E-ELT kommer att bli världens största optiska teleskop. Projektet har medtävlare som dock inte kommer upp i samma storlek. Giant Magellan Telescope (GMT) kommer att ha en öppning om 24,5 m tvärsöver men en ljussamlade area motsvarande en cirkel med 21,6 m radie. GMT ska uppföras vid Las Campanas i Chile. På Hawaii har man börjat bygga Thirty-Meter Telescope (TMT) med 30 m öppning (ingen överraskning!). TMT har dock för närvarande politiska problem med en lokal opinion

som protesterar mot teleskopbyggandet på Maunakea.

Till de vetenskapliga målen hör att studera jordlika exoplaneter. Större exoplaneter kan få sina atmosfärer analyserade. Teleskopets ljussamlade förmåga och upplösning gör det möjligt att studera individuella stjärnor i galaxer ut till Virgohopen – därmed kan galaxernas bildningshistoria skrivas. Man kommer också att leta efter de första stjärnorna i universum och se hur galaxerna bildades. (Ser man långt bort ser man samtidigt tillbaka i tiden.) Givetvis kommer kosmologin att kunna dra nytta av E-ELT, kanske kan man lära sig mer om den mörka energi som dominerar universum. Till de än mer fantasieggande projekten hör letandet efter variationer i naturkonstanterna över kosmiska tidsrymder och avstånd.

Genom Sveriges medlemskap i ESO kommer svenska astronomer att få tillgång till allt detta.

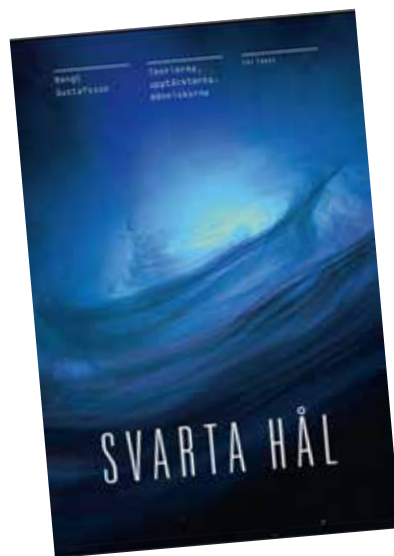
DAN KISELMAN
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Personligt och lärt om kosmiska hål

Svarta hål är fascinerande föremål. Populärt uttryckt är de objekt som har så stark tyngdkraft att inte ens ljus kan nå ut från dem. I sin moderna form är de en direkt förutsägelse av Einsteins allmänna relativitetsteori, som i år firar sitt hundraårsjubileum. De svarta hålen står i centrum för de senaste decenniernas försök att hitta en teori som förenar den allmänna relativitetsteorin med kvantmekaniken. Och astronomerna har upptäckt objekt ute i rymden som bara kan förklaras som svarta hål. Kort sagt, svarta hål är värda att begrundas både för vad vi vet om dem och vad vi inte vet.

Det är precis detta Bengt Gustafsson gör i sin nya imponerande bok med titeln just Svarta hål. Bengt – som på omslaget till boken ges den dubbeltydiga och mycket träffande beskrivningen ”stjärnfysiker” – tar oss med på en medryckande resa. Boken täcker det mesta man som lekman kan vilja veta om hålen. Den behandlar inte bara de mera fysikaliska och astronomiska aspekterna på dem. Med sin breda bildning – Bengt är ju kort sagt en modern renässansmänniska – kan han som få beskriva såväl de rent naturvetenskapliga och matematiska aspekterna på hålen som deras historiska bakgrund och allmänskulturella ställning.

Till exempel reder han en gång för alla (?) ut varifrån själva benämningen ”svart hål” kommer, vem som införde den i dess nuvarande tekniska betydelse, och när. Den skildringen tar oss från ett fångelsehåll i Calcutta över en gästgivargård i



Svarta hål. Teorier, upptäckter, människor
Bengt Gustafsson
Fri Tanke förlag, 2015
ISBN: 9789187513398
Antal sidor: 463

Malmö och en kvinnlig vetenskapsjournalist med flygcertifikat fram till forskare som Robert Dicke, som var den förste att använda termen i vetenskapliga sammanhang, inte John Wheeler som ofta påstås.

Den vetenskapliga utvecklingen står självfallet i centrum för boken. Vi får en i verkligt god mening populär beskrivning av vad ljus är, hur den tyske astronomen och fysikern Karl Schwarzschild genast efter att Einstein färdigställt sin allmänna relativitetsteori fann den lösning till ekvationerna som svarar mot en centralsymmetrisk massfördelning, hur den singularitet (oändlighet) som finns i denna lösning gav upphov till mycket debatt och hur det pånyttfödda intresset för allmän relativitetsteori på 1960-talet ledde till ett antal klarlägganden (bland annat att singulariteter under vissa allmänna förutsättningar är ofrånkomliga). En uppsjö astronomiska observationer ledde också till övertygelsen att svarta hål verkligen finns som astronomiska objekt,

dels som resultat av tunga stjärnors dödsryckningar, dels som gigantiska (upp mot miljarder solmassor) svarta hål i centrum på många galaxer.

Ett nytt kapitel i de svarta hålen historia skrevs när Jacob Bekenstein och Steven Hawking började undersöka deras termiska egenskaper, vilket bland annat ledde till förutsägelsen att svarta hål har en temperatur och därmed sammanhängande värmestrålning, så kallad Hawkingstrålning. Vi förs ända fram till idag med beskrivning av hur samspelet mellan allmän relativitetsteori och partikelfysikens kvantfältteori leder till ett antal ännu olösta problem. Det allra mesta är på en nivå så att var och en med gymnasiekunskaper i fysik bör kunna hänga med.

Som nämnts varvas bokens fysikaliskt-astronomiska inslag med utblickar åt olika håll, inte minst kring de personer som på ett eller annat sätt kan knytas till vad som har hänt inom vetenskapen. Det mycket förtjänstfulla personregistret

i boken upptar närmare 400 namn; de allra flesta personerna får i varje fall en kortare presentation. Det blir här en hel del kuriosor, från en kvinna som på 1700-talet visades upp för att hon påstått ha fött 15 kaniner (!) över filmstjärnan Hedy Lamarr och hennes patent på så kallad frekvenshoppning inom radiotekniken till mörk-materia-upptäckaren Fritz Zwicky som ansåg att ”alla på universitetet skulle hjälpas åt att regelbundet städa toaletterna för att inte förlora kontakten med verkligheten, och han föregick själv med gott exempel.”

Bengt måste ha haft rätt roligt när han skrev sin bok. Den glädjen förmedlar han också framgångsrikt till läsaren.

BENGT E Y SVENSSON
LUNDS UNIVERSITET

Cocktail – för dig i farten



The Cosmic Cocktail
– Three parts dark matter
Katherine Freese
Förlag: Princeton University Press
Utgivningsår: 2014-05
ISBN: 9780691153353
Antal sidor: 264
Språk: engelska
(Kommer på svenska i maj 2016)

Kathie Freese är professor i teoretisk fysik vid universitetet i Michigan, USA, och sedan en tid också vid svenska Stockholms universitet. Hon är ledande inom området universums mörka materia och vill nu berätta populärvetenskapligt om sin forskning. Boken hon skrivit är en cocktail blandad av mörk materia, sentida fysikhistoria och en rejäl skvätt med Kathie Freese själv som glatt poserar på flera bilder.

Boken är välskriven och vederhäftig. Hon berättar ingående om planerade och hittills genomförda experiment och observationer med syfte att avslöja vad den mörka materien är för någonting. Den astro- och partikelfysik som krävs introduceras skickligt på vägen och utgör en viktig del av behållningen med boken vilken kan betraktas som en ganska komplett populärvetenskaplig introduktion till ämnet.

Kathie Freese är optimist. Hon tror

som de allra flesta forskare att den mörka materien utgörs av någon slags okänd partikel och hon är rätt säker på att vi vet vilken inom något decennium. Det är bara det allra sista av bokens nio kapitel som handlar om mörk energi, den största bestandsdelen i den kosmiska cocktailen. Kathie Freese ser den som en betydligt knepigare gåta och hyser inte lika stora förhoppningar om en snar lösning. Strängteori och multiversum är hon skeptisk till och berörs bara flyktigt.

Personligen har jag haft stort utbyte av hur boken sammanställer och redovisar de otaliga utförda och planerade experimenten rörande mörk materia – det är många förkortningar att hålla reda på. Möjligen kan mer allmänt intresserade läsare tycka att Kathie Freese gräver lite väl djupt här och var men det beror förstås på vad man är ute efter.

ULF DANIELSSON
UPPSALA UNIVERSITET

Reflexmässig

Runt sekelskiftet 1900 fanns knappt tvåhundra personbilar i Sverige. Antalet hade 1925 vuxit till omkring 60 000 och ökningen bara fortsatte. Ökade gjorde också antalet olyckor och i den svenska vägtrafikstadgan av 20 juni 1930 bestämdes att cykel som framfördes på väg skulle vara försedd med en röd reflex baktill. Denna utgjordes av en speglade plåt, täckt av en röd glasplatta ibland med inpräglade linser (kattöga).

Poängen med en reflex är att den inte bara speglar ljuset från till exempel en bilstrålkastare, utan dessutom i den riktning ljuset kom ifrån. Bilisten ser då reflexen tydligt i mörker även på långt avstånd.

Reflexer (retroreflektorer) bygger på två olika geometrier, kubhörns- respektive sfärisk.

Kubhörnsreflektor

Kubhörnsretroreflektorn, ofta förkortat hörnreflektor eller kubhörn, består av speglade ytor sammansatta så att de bildar innerhörnet av en kub. En ljusstråle som reflekteras i alla tre ytorna kommer alltid att vara riktad antiparallellt med den riktning den kom ifrån, se figur 1. Prova att titta in i de tre speglarna i ett kubhörnsarrangemang. Man ser sitt ansikte uppochnar och hur man än flyttar huvudet eller vrider arrangemanget är bilden stilla.

En vanlig reflexbricka har två motvända hoplimmade sidor med luft emellan. Sidorna har en skyddande yta av

hårdplast och är uppbyggda av gjutna kubhörn också av plast, vars spetsar är vända inåt reflexen och luftspalten. Kubhörnen är avskurna längs ett plan parallellt med reflexytan (111-planet) och de liksidiga trianglar som då bildas, sammansätts sex och sex i ett hexagonalt mönster. Fördelen är att hexagonen helt fyller upp en yta och inte lämnar någon glipa mitt i.

Även binas bikakemönster är hexagonalt. Det är mest lönsamt eftersom det åtgår minst vax per areaenhet, dvs. för lika lagringsutrymme. En cirkel har störst area-omkretskvot, men är inte yttäckande (om lika stora cirklar), och av de yttäckande figurerna har hexagonen störst area-omkretskvot (är mest cirkellik).

De reflekterande ytorna hos ett kubhörn har inte spegelbeläggning, utan utnyttjar totalreflektion. Ljuset måste därför komma in så pass rakt att infallsvinkeln är större än 42 grader, för plast med brytningsindex $n \approx 1,5$, vid respektive reflektion i kubhörnets ytor. I figur 4 visas detta i en 2-dimensionell figur. Vid rakt infall (infallsvinkeln = 45 grader), svart stråle, reflekteras allt ljus i infallsriktningen. Blir infallsvinkeln mindre, röd stråle, förloras en del ljus vid andra reflexionen och försvinner in i reflexen. Diamant med sitt höga brytningsindex ($n \approx 2,4$) klarar betydligt snedare infall och kan ändå återkasta ljuset, vilket förklarar dess popularitet som smyckesten.

Den reflekterande folie som används i reflexband, flytvästar och vissa väg-



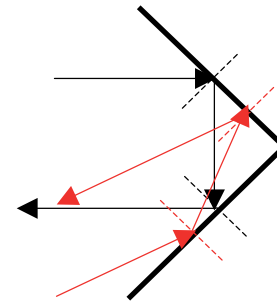
Figur 1: Författarens spegelbild i en kubhörnsreflektor.



Figur 2: Isärtagen reflexbricka, där den vänstra delen är rättvänd och reflekterar tillbaka ljuset. Den högra delen är felvänd och den ser man igenom och därför syns både det vita och svarta underlaget. Obs! De strålar som korsar högra delen och när kameran, måste ha infallit snett mot brickan, då allt ljus som infaller rakt reflekteras.



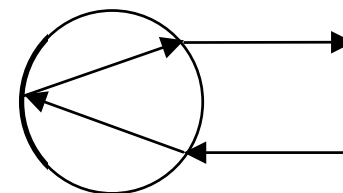
Figur 3: Biram med hexagonala honungsfyllda fack. Den står lutad på ett bord i frukostmatsalen på ett hotell i Berlin, och dess innehåll droppar sakta ner påbejd av gravitationen.



Figur 4: Svart ljusstråle totalreflekteras vid bägge reflektionerna, medan röd ljusstråle kommer in för brant vid sin andra reflexion. Där blir det ingen totalreflektion och en del ljus kommer att förloras och fortsätta igenom.



Figur 5: Förstorad bild av reflekterande plastfolie på vägschild med mikroskopisk hörnreflektorsstruktur. Varje stor ruta är 4-5 mm längs diagonalen.



Figur 6: Den infallande ljusstrålen bryts och reflekteras därefter mot en metallfolie vid sfärens bakkant, bryts på nytt och lämnar sedan sfären i motsatt riktning.

skyltar bygger också på principen med kubhörn. Tunn plast med mikroskopisk hörnreflektorsstruktur för vägschildar (DG=Diamond Grade) har 0,2-0,3 mm per kub. Se figur 5.

Sfärisk reflektor (kattöga)

En annan typ av retroreflektor är den sfäriska, ibland kallad glintreflektor (glint = ljusglimt). En transparent sfär verkar som en positiv lins med bildplan vid eller strax bakom sfären. En spegel placerad i bildplanet reflekterar ljuset så att ett parallellt ljusknippe kommer att reflekteras i riktning mot den ursprungliga ljuskällan. Se figur 6.

Benämningen kattöga kommer av att kattens och en del andra djurs ögon har en retroreflektoreffekt liknande den hos glintreflektorer. På spegelns plats, strax bakom näthinnan, har katten en reflekterande hinna (tapetum lucidum) som återkastar ljuset. Detta passerar alltså näthinnan två gånger, vilket ger bra mörkerseende på bekostnad av synskärpan. Vi människor har istället den mer blodrika åderhinnan (koroidea), därav röda ögon vid fotografering med blix. Moderna kameror minskar problemet genom en förblit som krymper pupillen, så att mindre av det reflekterade ljuset från åderhinnan når kameran.

Idag används kattögeprincipen genom att sfäriska transparenta glaspärlor limmas på en metallfolie. Om glaspärlornas och limmets brytningsindex anpassas till varandra, kommer anordningen att reflektera ljusstrålar i samma riktning de kom ifrån.

Reflexprestanda

Vid mätning av reflexens prestanda belyses den i olika vinklar med en lampa med en viss färgtemperatur och som ger en belysning mätt i lux, och det ljus som studsar tillbaka mäts i candela. Resultatet anges i millicandela per lux (mcd/lx) eller i enheten CIL (Coefficient d'Intensité Lumineuse). CIL-värdet beror på färg, storlek och tillstånd hos reflexen. Reflexförmågan hos vita, gula och röda reflexer

är ungefär 100 %, 62 % respektive 25 %. CIL-värdet är proportionellt mot reflektorns area och för retroreflekterande material mäter man relativt materialets area i kvadratmeter, således i candela per lux och kvadratmeter ($\text{cd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$). Det finns numera en europastandard för personreflexer, CE EN 13356, som även fastställts som svensk standard, SS EN 13356. För att synas bra på en mörk landsväg rekommenderas att en reflex har ett CIL-värde på minst 400.

Infallsvinkeln har stor betydelse, och till exempel har en lastbil stor separation mellan strålkastaren och förarens öga jämfört med en personbil. En bakreflex på en cykel syns därför bättre från personbilen än från lastbilen på samma avstånd från reflexen. Vissa bakreflexer har tre sektioner i vinkel och kan därför ses bättre från sidorna, samtidigt som den effektiva arean minskar. Reflektorer med glaspärlor (kattögon) reflekterar bredare, till priset av att synas sämre på kortare avstånd. När det regnar kommer vattnet på reflexen att sprida ut ljuset före reflektionen och därmed försämrar reflexens effektivitet.

Stora avstånd

Reflektorer används även vid större avstånd, såsom vid projekteringsmätning, eller utsättningar innan ett bygge påbörjas, för att hus, broar eller vägar ska hamna rätt och få rätt mått.

Radarreflektorer till sjöss görs av plåt, ofta med åtta kubhörn riktade åt olika håll. De reflekterande ytorna måste vara elektrisk ledande och många gånger större än våglängden hos radarns mikrovågor (upp mot 10 cm) för att fungera.

Vid Apollo-färderna 11, 14 och 15 placerades hörnreflektorer av kvarts på månen, vilket gjort det möjligt att mäta avståndet till månen, numera med mm-precision.

LAGEOS (Laser Geodynamics Satellites) är satelliter med hörnreflektorer av kvarts, för mätningar av plattetektonik, kontinentaldrift och jordens form (geoiden).

MAX KESSELBERG
FYSIKUM
STOCKHOLMS UNIVERSITET



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2016

KVALIFICERINGSTÄVLING

28 januari på din skola

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

1:a pris 3 × 5 000 kr	4:e pris 3 × 2 000 kr
2:a pris 3 × 4 000 kr	5:e pris 3 × 1 500 kr
3:e pris 3 × 3 000 kr	6:e – 10:e pris 3 × 1 000 kr

Anmäl dig till din fysiklärare!

FYSIKVECKA OCH FINALTÄVLING

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

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

Läs mer på www.fysikersamfundet.se/fysiktavlingen

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

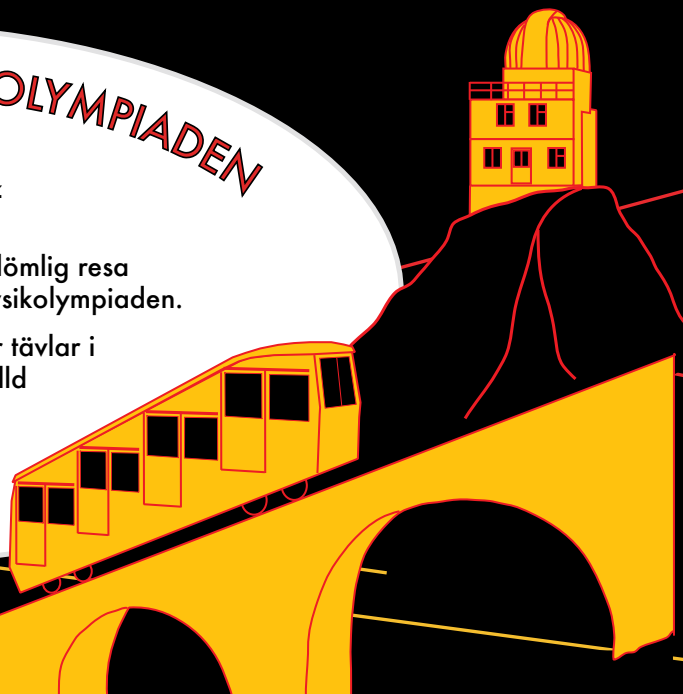
INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

10–18 juli i Zürich, Schweiz

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

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

Kanske blir det du som får åka!



FYSIKALISKA LEKSAKER



Bild 1

Putt-putt-båten

Putt-putt-båten är en leksak med en mycket enkel värmemaskin utan rörliga delar, se bild 1. Den omnämndes i litteraturen redan i slutet av 1800-talet och var särskilt populär på 1940–50-talen under olika namn. Båten drivs med t ex ett stearinljus eller rödsprit. Namnet kommer från det knattrande ljud som de flesta av dessa båtar ger ifrån sig. Du kan köpa båten på nätet (ClaraElf, 45 SEK) eller lätt tillverka en från många tips på nätet.

Båten innehåller en vattentank och vanligtvis två parallella utblåsningsrör från tanken, se bild 2. Båten fungerar också med bara ett rör, men då blir det svårare att fylla röret och tanken med vatten innan starten. När tanken värms upp förångas en del av vattnet där. Den expanderande ångan trycker ut vatten i rören och båten rör sig framåt p g a reaktionskraften. Ångbubblan kondenserar och det bildas ett vakuum, som drar tillbaka vatten genom rören in i tanken. Förloppet upprepas i min båt med 18,8 Hz, vilket jag uppmätt från putt-putt-ljudet på 37,6 Hz. Ljudet förstärks genom ett membran på tanken. Dessutom observerar jag en frekvens på 8300 Hz, troligen härrörande från tankens/rörens vibration. Observera att vattnet blåses ut och in i

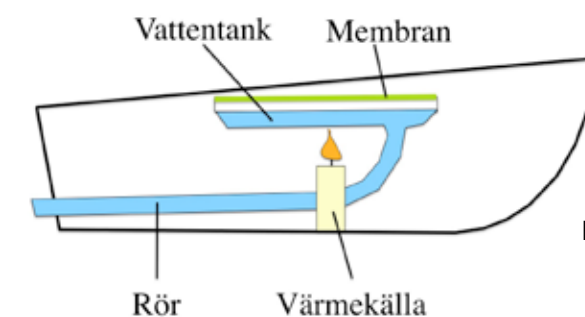


Bild 2

båda rören samtidigt och cirkulerar inte runt som ibland påstås. Luften i tanken fungerar som en fjäder och underhåller oscillationen. Löst luft i vattnet frigörs dock med tiden och släpps ut då och då så att oscillationen kan fortsätta.

Det kan tyckas märkligt att båten inte skakar fram och tillbaka genom den oscillation jag beskrivit ovan. När vattnet blåser ut tar det med sig en rörelsemängd. Eftersom rörelsemängden totalt bevaras kommer båten att röra sig framåt. När vattnet sedan sugas in i rören uppstår på samma sätt initialt en bakåtriktad kraft på båten. Denna kraft kommer dock att motverkas av en lika stor kraft när det inåtgående vattnet stöter emot tanken.

Därför uppstår ingen nettokraft på båten under insugningsfasen. Båten kommer således att i medel gå framåt. Det påstås ofta i litteraturen att avsaknaden av en bakåtriktad kraft skulle bero på att vattnet strömmar in från olika håll. Detta argument utgör i vårt sammanhang dock inte en relevant förklaring (Eur. J. Phys. vol 32, sid 1213, år 2011.)

Effektiviteten hos maskinen är låg, typiskt 0,1%. Båten är därför inte så användbar som maskin, men ett utmärkt verktyg vid utbildning i termodynamik eller som en lärorik underhållning.

PER-OLOF NILSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

ATOMFYSIK & RADIOAKTIVITET

Dimkammare med Peltierkylning

Perfekt demonstrationsenhet då den är termoelektriskt kyld och med endast tillsats av lite isopropylalkohol ges möjlighet till en kontinuerlig visning av spår efter radioaktiv strålning. Med hjälp av den medföljande alfastrålkällan, en toriumvolframstav (2%), är spåren synliga inom 10 min.

Stl: 400x250x180mm

Vikt: 2.5kg



PRIS: 7 750 kr art nr: XAR040010

PASCO INTERFACE

Anpassade för Fysik

Universal Interface 550

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

NYHET



KAMPANJPRIS: 5 995 kr art nr: UI-5001

NY FYSIKKATALOG

Saknar du vår nya FYSIK katalog?

140 sidor med spännande laborativ fysikutrustning. Beställ katalogen på info@gamdata.se



Gamdata representerar nu Frederiksen Scientific, en dansk tillverkare av laborativ fysikutrustning av världsklass. I samarbete med Frederiksen Scientific erbjuder vi följande introduktionspris som en uppstart på vårt samarbete:

ERBJUDANDE

Köp laborativ utrustning för minst 3 000 kr ur Gamdatas Fysik - Teknik - Biologi - Kemi sortiment så erbjuder vi er att köpa Frederiksen Scientific Spänningsaggregat 24V AC/DC för 3 465 kr.

Spänningsaggregat 24V AC / DC

Introduktionspriset gäller fram till 31/12-2015 och för köp av max 6 st spänningsaggregat per kund. Ordinarie pris 4 950 kr. Se specifikation i nya fysikkatalogen eller på www.gamdata.net



INTRODUKTIONSPRIS: 3 465 kr art nr: 364000

Corporate Headquarters
Sweden
+46 18 56 68 00

Gamdata Instrument AB
Box 2034
750 02 UPPSALA

www.gamdata.se
info@gamdata.se

Sweden
+46 18 56 68 00

Finland
+358 40 773 1100

Norway
+47 330 96 330

Webshop
www.gamdata.net