

f Fysikaktuellt

NR 2 • JUNI 2018

Mörk materia

Läs sid 9–16

ISSN 0283-9148

Göran Gustafsson-
pristagare 2018:
Sara Strandberg

Sid 6–8

Vad är en
gravitationslins?

Sid 17–19

Unga
forskare

Sid 24–27

Svenska Fysikersamfundet

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

Ordförande: Anne-Sofie Mårtensson,
anne-sofie.martensson@hb.se

Sekreterare: Joakim Cederkäll,
joakim.cederkall@nuclear.lu.se

Skattmästare: Lage Hedin, lage.hedin@physics.uu.se

Adress: Svenska Fysikersamfundet,
Institutionen för fysik och astronomi,
Uppsala universitet,
Box 516, 751 20 Uppsala

Postgiro: 2683-1

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

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

Sektioner

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

Kosmos

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

Fysikaktuellt

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

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

Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras ej.

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

Medlemskap

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

Stödjande medlemskap kostar 4000 kr per år.

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

Medlemsförmåner

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

Omslag: Omslagsbilden visar Bullet-hopen där den synliga och osynliga massan separeras när två hopar kolliderar. De heta gasmolnen i rosa utgör den dominerande delen av den synliga massan i de två hoparna, och de blå områdena indikerar var den osynliga massan syns, uppmätt med hjälp av "gravitationslinsteknik" (se sidan X). Bild: X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch et al.; Optical: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.; Lensing Map: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.

Layout: Göran Durgé

Tryck: Trydells, Laholm 2018



Stödjande medlemmar

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

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för fysik
- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för rymd- och geovetenskap
- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap – MC2
- Göteborgs universitet – Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad – IDE-sektionen
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för tillämpad fysik
- Linköpings universitet – Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Linköpings universitet – Institutionen för naturvetenskap och teknik (ITN)
- Lunds universitet – Fysiska institutionen
- Lunds universitet – Institutionen för astronomi och teoretisk fysik
- 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
Gabriella Stenberg Wieser
- 4-5 AKTUELLT/NOTISER
- 6-8 GÖRAN GUSTAFSSON-PRiset I FYSIK
PRISTAGARE SARA STRANDBERG
Margareta Kesselberg
FORSKNINGSPROJEKT:
ORDNING I ALLT
Sara Strandberg
- 9-16 MÖRK MATERIA
Christian Ohm
- 17-19 GRAVITATIONS LINNS
Ariel Goobar
- 20-21 ASTRONOMI
GAIA-bild
Dan Kiselman
- 22-23 WALLENBERGPRiset
Anne-Sofie Mårtensson
- 24-27 UNGA FORSKARE
FINALUTSTÄLLNINGEN 2018
Margareta Kesselberg
INTERVJU MED
DAVID HAMBRAEUS
Margareta Kesselberg
GYMNASIEARBETE ÅK 3
David Hambræus
- 28-30 VARDAGENS FYSIK
HISSNANDE FAKTA
Max Kesselberg
- 31 FYSIKALISKA LEKSAKER
HOMOPOLÄRA MOTORER
Per-Olof Nilsson
- 32 ANNONS
Gammadata



Vem ska få uppdraget att dela med sig?

Hösten 2016 hade nya Fråga Lund premiär och jag blev plötsligt en kändis. Trots att min mamma hade varnat mig så var jag inte beredd på vilken genomslagskraft det skulle ha. Gammel-tv var förlegat trodde jag, men tittarsiffror på strax över miljonen betyder att mer än var tionde person jag möter på stan har sett mig berätta om fysik. Förvånansvärt många av dem känner dessutom både igen mig och tar tillfället att prata lite mellan hyllorna i den lokala matbutiken. Det är fantastiskt vilket intresse som finns. Folk tycker att fysik är väldigt roligt om man tar sig tid att prata med dem. Är det då värt att lägga ner tid på det? Och vem ska ta sig den tiden?

De flesta fysiker tycker absolut det är en viktig uppgift: Det är en del av vårt uppdrag; det är nödvändigt att inspirera unga till en naturvetenskaplig karriär och att upprätthålla vetenskapens ställning i ett samhälle där forskningsresultat och personliga åsikter ibland tillmätts samma vikt. Men vem ska få uppdraget att göra det?

Jag får ofta höra att jag borde lägga ner mer av min tid på det: "Du är ju bra på sådant där och du gillar ju det". Ja, det är jag och ja, det gör jag. Men jag är bra

på en massa andra saker också som jag vill göra. Och anledningen till att jag tycker det är så roligt att jobba med exempelvis Fråga Lund är att jag har tillräckligt med tid för att arbeta med det andra jag jag älskar att göra: planera rymdprojekt, handleda studenter och doktorander, programmera och skriva forskningsartiklar. Det gäller att hitta en bra balans precis som med allt annat.

Jag lagar inte alltid mat hemma även om jag tycker om att laga mat, lika lite som jag låter min man sköta hela ommålningen av huset.

Vi gör det för lätt för oss om vi lämnar över ansvaret för utåtriktad verksamhet till någon annan. Vi måste alla hjälpas åt. Det är som disken i en studentkorridor. Det är ingens mamma som bor där. Det är heller ingen bra idé att utse en professionell diskare bland studenterna även om någon av dem gillar att diska. Disken är ett gemensamt ansvar och det är bara färdigt att låtsas något annat.

GABRIELLA STENBERG WIESER
INSTITUTET FÖR RYMDFYSIK

Valberedning pågår!

I höst är det val av styrelse för Fysikersamfundet för perioden 2019–21. Enligt stadgarna ska valberedningen försöka se till att styrelsen på bredast möjliga sätt representerar fysikens områden och institutioner i landet. Har du förslag på kandidater – kanske du själv? – kan du kontakta valberedningen:

Ann-Marie Pendrill

(Ann-Marie.Pendrill@fysik.lu.se)
som är sammankallande,

Kerstin Ahlström

(kerstin.ahlstrom@edu.boras.se),

Max Kesselberg

(max.kesselberg@yahoo.se),

Stephan Pomp

(stephan.pomp@physics.uu.se),

Gabriella Stenberg-Wieser

(gabriella@irf.se).

Lissabon Portugal

Den 49:e internationella fysikolympiaden arrangeras i Portugal, Lissabon 21 – 29 jul.

Sverige representeras av fem gymnasister som kommer från Umeå i norr till Malmö i söder: **Hugo Ekinge**, Platengymnasiet i Motala, **David Hambræus**, Lugnetgymnasiet i Falun, **Axel Järnbäcker**, Katedralskolan i Växjö, **Oliver Lindström**, Minervagymnasiet i Umeå och **Adam Warnerbring**, S:t Petri gymnasium i Malmö.

I Fysikaktuellt nummer tre kommer reportage från resan.

Våra medlemsförmåner:

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

Lise Meitner-dagarna 2018

I höst är det dags igen. Planeringen av Lise Meitner-dagarna 2018 är i full gång och kommer i år att bli större än någonsin. Den årligen arrangerade fysikkonferensen för gymnasie studenter blir i höst utökad till tre dagar. Den 16-18 november samlas fysikintresserade elever från hela landet för en helg fylld av laborationer, finmiddag och föredrag av kända fysiker.

I år är det ett stjärnspäckat schema med talare som Gabriella Stenberg Wieser och nobelpristagaren Franck Wilczek. Eleverna kommer även att få testa på olika laborationer, både med

Vetenskapens Hus och Wallenbergs Fysikpris.

Det finns fortfarande ett fåtal platser kvar. Vill er skola vara med på konferensen så kan ni gå in och anmäla er på vår hemsida: www.lisemeitnerdagarna.se senast den 11 juni. Kan ni på egen hand eller via företag/föreningar/stiftelser sponsra era platser ska ni ange detta vid anmälan och varpå ni är garanterade platser vid konferensen. Ifall ni vill att vi ska sponsra era platser kan ni ange detta istället så hör vi av oss ifall det blir möjligt. Vi tillämpar "först till kvarn"-principen så se till att anmäla er så fort som möjligt!

Har ni några frågor nås vi bäst på mejl: info@lisemeitnerdagarna.se



EUSO i Ljubljana: Vinprovning!

EUSO, förkortning för European Union Science Olympiad, är en lagtävling för naturvetenskapligt intresserade ungdomar under arton år. I år arrangerades tävlingen i Ljubljana i Slovenien, och två svenska lag fanns med bland de 52 tremannalag som i början av maj gjorde upp om medaljerna: Erik Göransson, Felix Nord & My Pohl, respektive Hugo Spencer, Johan Holmberg & Julia Mårtensson.

Tävlingsuppgifterna är i huvudsak experimentella och inkluderar såväl biologi som fysik och kemi, och det krävs både god samarbetsförmåga och ordentliga ämneskunskaper för att klara av dem på ett bra sätt. De slovenska arrangörerna valde

Slovenska guiden Marusa med Felix, My & Erik till vänster och Johan, Julia & Hugo till höger.

att ha vin som tävlingstema och de tävlande fick göra vinrelaterade undersökningar på alla upptänkliga sätt, från att identifiera flygfän i vinodlingar till att mäta viskositeten för olika viner. Det blev ett riktigt lyckat upplägg, och hela det veckolånga arrangemanget var välorganiserat och mycket trevligt.

I november äger den svenska uttagningstävlingen till EUSO 2019 rum, och på euso.se finns information om denna, och om hur man anmäler sig. Nästa år är det Portugal som är värdland för olympiaden.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON,
FYSIKMENTOR

#Hurvetdudet?

Den 22 april 2017 genomfördes March for Science i mer än 600 städer världen över. I Sverige hölls manifestationer i Göteborg, Luleå, Stockholm, Umeå och Uppsala. Syftet, som Svenska Fysikersamfundet bland en stor mängd organisationer ställde sig bakom, var att stå upp för vikten av att vetenskap och forskningsbaserad kunskap används i samhället.

Behovet av att trycka på vikten av forskningsbaserad kunskap finns givetvis kvar, och därför genomförs nu en fortsättning av 2017 års manifestation. Den internationella uppföljningen kallas Science Marches On. I Sverige har vi ju valår och därför kommer årets kampanj att få en lite annorlunda form. Den utgår från en fråga som kan ställas både till beslutsfattare, medmänniskor och oss själva: "Hur vet du det?". Målet är att vetenskapliga fakta ska lyftas fram mer än tidigare när politiska förslag debatteras under vårlåret 2018.

Kampanjen, som givetvis är partipolitiskt obunden, stöds av ett 70-tal organisationer, däribland Svenska Fysikersamfundet. Andra organisationer som ingår är en rad akademier, forskningsfinansierare, museer, föreningar, fackförbund, branschorganisationer, de flesta svenska universitet m.fl. Liksom förra gången står

Vetenskap & Allmänhet för koordinationen.

Den officiella lanseringen av kampanjen skedde den 14 april med en debattartikel och en manifestation på Norrmalmstorg i Stockholm, en marsch från MAX IV till ESS i Lund och en manifestation i Luleå. Under kampanjen försöker vi skapa uppmärksamhet kring vikten av vetenskaplighet i samhällsdebatten genom sociala och traditionella medier, olika evenemang från de medverkande organisationerna, deltagande i Järvaveckan och Almedalen, med mera. Via kampanjen har det också tagits fram frägekort, tänkta att kunna överlämnas till exempel till politiker som en påminnelse om grunderna för en sund vetenskaplig argumentation.

Alla medlemmar och andra uppmuntras att stödja kampanjen. Både små och större insatser välkomnas. Förslag på vad du kan göra och annan information finns på kampanjens hemsida, <https://hurvetdudet.nu>.

SVANTE JONSELL,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
FYSIKERSAMFUNDETS
KONTAKTPERSON
I KAMPANJEN

Kom ihåg!

ForskarFredag
28 september

Sveriges mest spridda vetenskapsfestival! Varje år sedan 2006, den sista fredagen i september. Samordnas av föreningen Vetenskap & Allmänhet. Läs mer: <https://forskarfredag.se/>

Astronomins dag och natt
29 september

Astronomins dag och natt gör det fantastiska med astronomin och universum tillgängligt för folk i hela Sverige. Den 29 september 2018 firas Astronomins dag och natt för sjunde gången. Arrangemanget koordineras av Svenska Astronomiska Sällskapet. Läs mer: <http://www.astronominsdag.se/>

Fysikaktuellt tillönskar alla
trevlig läsning och en solig sommar!



Rättelse:

EPS 50 år: Utbildningskommitté inrättades redan 1975

I förra numret av Fysikaktuellt presenterades en historik om European Physical Society (EPS) som i år fyller 50 år. EPS:s kommitté PHYSICS EDUCATION bildades dock tidigare än vad som framgår där, redan 1975. Förste ordförande var Aloysio Janner, Nijmegen. Lennart Samuelsson, Linköpings Universitet var svensk ledamot och efterträdde Janner som ordförande efter fem år. Under slutet av 1970-talet, diskuterade kommittén om det vore möjligt att skapa en europeisk motsvarighet till American Journal Of Physics. Resultatet blev, att i samarbete med IOP Institute of Physics, starta en tidskrift för fysikutbildning på universitetsnivå, European Journal of Physics. IOP Publishing svarar för utgivningen, och EPS bidrar med förslag till ledamöter i dess Editorial Board.

Under tiden 1995-2000 var Lennart Samuelsson Honorary Editor för European Journal of Physics. Det dagliga arbetet med tidskriften sköttes då av Jill Membrey. Vid varje årsmöte med EPS kunde Lennart Samuelsson redovisa en vinst till EPS från utgivningen, och Inkomsten medverkade till att årsavgiften för medlemskap i EPS inte behövde höjas.

Utbildningskommittén upphörde omkring 1990 på grund av låg aktivitet. Tack vare insats av Gunnar Tibell, Uppsala universitet, återupprättades kommittén år 2000.

Årets Göran Gustafsson- pristagare i fysik söker svaret på universums gåtor

Priset tilldelas Sara Strandberg, lektor vid Stockholms universitet "för sin experimentella forskning om Supersymmetri och dess potentiella roll för den Mörka materian. Genom att hon ansvarar för detektorssystem samt att hon kombinerar analysarbete och metodutveckling med nya koncept för utvärdering av data har hon en ledande roll i ett fält där forskningen sker i stora samarbeten."



Sara Strandberg är verksam inom experimentell partikelfysik och har en viktig roll inom ATLAS-experimentet vid CERN, i Schweiz. Om hon hittar bevis för att supersymmetriska partiklar existerar kommer hon kunna lösa en rad av universums gåtor.

Sara Strandbergs forskning handlar bland annat om vår nuvarande teori för mikrokosmos, den så kallade standardmodellen, där 17 elementarpartiklar byg-

ger upp materien. Problemet med modellen är att den har vissa tillkortakommanden. Bland annat saknas möjligheten att beskriva gravitation och mörk materia. Sara Strandbergs mål är att utvidga standardmodellen så att den blir mer heltäckande. Hon vill förstå vilka som är materiens minsta beståndsdelar och vilka krafter som verkar mellan dem.

En del av Strandbergs forskning har bedrivits genom experiment vid partikelacceleratoren i CERN –

samma accelerator där den så kallade Higgspartikeln upptäcktes 2012. Där har hon letat efter elementarpartiklar som förutsägs av olika utvidgningar av standardmodellen. En tänkbar utvidgning är att det för varje elementarpartikel i standardmodellen finns en "supersymmetrisk partikel" som har liknande egenskaper men en större massa. Den lättaste av dessa supersymmetriska partiklar skulle kunna vara den som utgör den mörka materien.

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT /KVA INFO



Foto: Markus Marcetic/Sveriges unga akademi

Göran Gustafssonprisen

Priserna utdelas årligen sedan 1991 inom områdena matematik, fysik, kemi, molekylärbiologi och medicin av Göran Gustafssons stiftelse för naturvetenskaplig och medicinsk forskning. Prishomineringar kommer från landets universitet och högskolor och bereds av Kungl. Vetenskapsakademien, som också överlämnar prisen. Stiftelsen förvaltar ett kapital om cirka en miljard kronor.

Göran Gustafssonpristagarna 2018 har gjort betydelsefulla insatser inom sina respektive områden. Priset består av 4,5 miljoner i forskningsanslag, samt ett personligt pris på 250 000 kronor. Prishomineringar kommer från landets universitet och högskolor och bereds av Kungl. Vetenskapsakademien, som också överlämnar prisen. Läs mer om donatorn Göran Gustafsson och stiftelsen på www.gustafssonsstiftelse.se

Ordningen i allt

– jakten på universums minsta beståndsdelar

Under drygt hundra år har fysiker bit för bit mejslat fram den så kallade standardmodellen, som i och med upptäckten av Higgspartikel vid CERN år 2012 är en komplett teori i den mening att den är internt konsistent och kan användas för att göra precisa förutsägelser. Den har också visat sig vara oerhört framgångsrik och bekräftats med otroligt hög precision av en mängd partikelfysikexperiment världen över. Men det finns en hel del fakta som pekar på att standardmodellen inte kan vara den slutgiltiga teorin för universum. Bland annat innehåller den ingen partikel som kan utgöra den mörka materia som vi vet att ca 23 procent av universum består av. Den kan inte heller förklara varför universum tycks bestå uteslutande av materia, trots att det i teorin finns en klar symmetri mellan materia och antimateria. Att förstå hur standardmodellen ska utvidgas för att bli mer allomfattande har därför högsta prioritet inom dagens partikelfysikforskning.

Ett av partikelfysikens olösta mysterier rör Higgspartikelns massa. I standardmodellen ger toppkvarken, som är den tyngsta kända partikeln, ett mycket stort bidrag till Higgspartikelns massa. Detta bidrag måste balanseras av en finjusterad fri parameter i teorin för att er hålla den uppmätta Higgsmassan. Men bidraget från toppkvarken kan istället tyglas på ett mer naturligt sätt genom att utvidga standardmodellen med en



Foto: Eva Dalin/ Stockholms universitet

supersymmetrisk partner till toppkvarken. Bidragen till Higgspartikelns massa från toppkvarken och dess supersymmetriska partner har motsatt tecken och tar därmed helt eller delvis ut varandra. Supersymmetri är en lovande teori eftersom den inte bara förklarar Higgsmassan utan även ger upphov till en partikel som kan utgöra den mörka materian. Dessutom kan supersymmetri hjälpa till att förena de fundamentala naturkrafterna. En annan naturlig förklaring till den låga Higgsmassan är att de partiklar vi tror är odelbara i själva verket är sammansatta objekt. Även denna grupp av teorier

förutspår nya partnerpartiklar till toppkvarken som skulle kunna upptäckas vid LHC.

Samtidigt står vi inför det faktum att experimenten vid LHC redan samlat in data i sex år utan att några tecken på fysik bortom standardmodellen observerats. Om den nya fysiken är inom räckhåll för LHC är signalen antingen så svag att ytterligare data behövs för att skilja den från bakgrunden, eller så gömmer den sig i ett ännu utforskat område. Det senare scenariot motiverar en breddning av sökandet. Vi måste helt enkelt tänka i nya banor och vända på alla stenar i jakten på nya partiklar. Tack vare finansiering från Knut och Alice Wallenbergs och Göran Gustafssons stiftelser har vi fått möjlighet att bygga upp ett forskningsprogram där teoretiska och experimentella fysiker från Chalmers, Uppsala och Stockholm samarbetar för att leta efter toppkvarkens eventuella partnerpartiklar med data från ATLAS-experimentet vid LHC. Inom projektet ska vi både konstruera nya teorier och undersöka de utforskade experimentella signaturer som dessa teorier förutsäger. Eftersom planen är att ATLAS-experimentet ska fortsätta att samla in data ända till 2035 finns det goda skäl att investera i bättre analysmetoder. Än så länge har LHC bara levererat ca 3 procent av den förväntade datamängden. Det ska bli oerhört spännande att se om något gömmer sig i de resterande 97 procenten.

SARA STRANDBERG
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Mörk materia:

Håller ihop vårt universum och knyter samman forskning om det allra minsta och det allra största

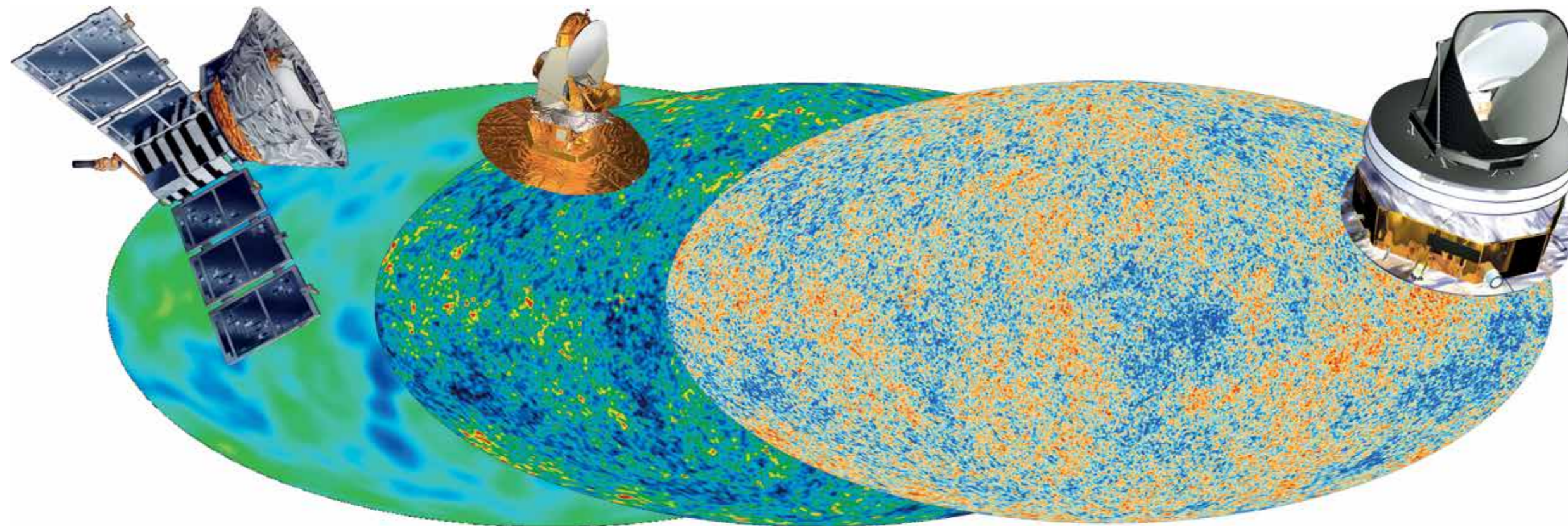
Den amerikanska astronomen Vera Rubin brukar nämnas som en av de första som gjorde observationerna som tydligt och systematiskt visade att det finns en okänd sorts materia i galaxer som är osynlig, och att det finns mycket mer av den än av den vanliga materia vi känner till. Eftersom denna materia inte interagerar med ljuspartiklar, fotoner, har den kommit att kallas mörk materia, men genom sin gravitationskraft inverkar den på hur stjärnor och galaxer rör sig i universum. I en artikel publicerad 1970 studerade Rubin och hennes kollegor Vintergatans närmsta riktiga granne, spiralgalaxen Andromeda. Genom att mäta fotonerna som färdats i 2,5 miljoner år från Andromeda till jorden kunde de se att stjärnorna i utkanten av galaxen hade mycket högre hastighet än man väntat sig, givet den massa man kunde se i form av andra stjärnor i galaxen. Som jämförelse kan vi

tänka på vår måne. Den hålls i omloppsbana runt jorden på grund av en exakt balans mellan dess hastighet, dess avstånd till jorden, och jordens massa. Skulle den färdas långsammare skulle gravitationskraften få månen att krascha in i jorden, och skulle den färdas snabbare skulle den slungas ut och försvinna iväg i solsystemet. Såvitt vi vet är det precis samma fysik som ansvarar för rörelsen av större objekt och strukturer vi ser i universum, Newtons gravitationslag förfinad genom Einsteins allmänna relativitetsteori styr rörelsen av stjärnor i galaxer och galaxer i galaxhopar. För att hålla stjärnorna i utkanten av Andromeda i omloppsbana vid de uppmätta hastigheterna räcker inte gravitationskraften från den synliga materian i galaxen till, utan det krävs ytterligare osynlig materia som kan dra dem inåt.

Går man tillbaka i arkiven finner man ännu tidigare observationer av så kall-

ad galaxdynamik som indikerade att det fanns ytterligare massa som var osynlig. Schweiz-amerikanen Fritz Zwicky (1933) nämns ofta, och numer, efter en återupptäckt för bara några år sedan av en gammal artikel från 1930, bör även svensken Knut Lundmark som var verksam vid Lunds universitet nämnas i dessa sammanhang. Dessa tidigare artiklar fick relativt liten spridning och trots deras existens var resultaten från Rubin oväntade, och det skulle ta tid innan de fick den uppmärksamhet de förtjänade. Upptäckten gjordes i vad Rubin själv har kallat för "ett forskningsprogram ingen skulle bry sig om". Hon hade en tydlig uppförsbacke då hon som kvinna slog sig fram i ett forskningsfält som då i ännu större utsträckning än idag var dominerat av män, och kanske kan det ha bidragit till att resultaten inte uppmärksammades lika mycket då som nu.

Men huvudanledningen till att en



Figur 1: Fluktuationerna i den kosmiska bakgrundsstrålningen uppmätta av COBE (1992), WMAP (2003) och Planck (2013). Bild: NASA / WMAP Science Team, ESA and the Planck Collaboration.

överväldigande samsyn uppstod bland astronomer och fysiker att den mörka materian verkligen finns, är att det har tillkommit flera viktiga observationer av helt andra slag, framför allt i och med eran av "precisionskosmologi". Den kosmiska bakgrundsstrålningen utgörs av elektromagnetisk strålning med frekvenser i mikrovågsområdet och är otroligt uniform oavsett åt vilket håll man än tittar i rymden. Den har en fantastiskt viktig betydelse för vår förståelse av universums utveckling, och den innehåller enorma mängder information om hur universum såg ut ca 380 000 år efter Big Bang. När vårt tidiga universum expanderade kylades det samtidigt av, och vid den här tidpunkten sjönk temperaturen så mycket att de första atomerna kunde bildas. Tidigare hade elektroner och protoner rört sig fria i ett plasma, och fotonerna kunde då inte färdas särskilt långt innan de spreds genom interaktioner med elektriskt laddade partiklar. Efter att atomkärnorna och elektronerna parats ihop och bildat neutrala väteatomer blev universum för första gången genomskinligt och ljuset

kunde färdas fritt. Och det är resterna av denna svartkroppsstrålning, nedkyld till 2,7 K på grund av universums fortsatta expansion sedan dess, som utgör den kosmiska bakgrundsstrålningen. Den upptäcktes oväntat av de amerikanska fysikerna Arno Penzias och Robert Wilson när de experimenterade med en antenn för radioastronomi på Bell Labs i New Jersey 1964. Upptäckten av strålningen som hela universum badar i var ett fundamentalt genombrott, betraktades som en bekräftelse av Big Bang-teorin, och belönades sedermera med Nobelpriset i fysik 1978. Kosmologer har de senaste decennierna byggt flera satelliter för att mäta pyttesmå variationer i denna strålning, motsvarande ungefär en tusendels procent, så noggrant som möjligt. Hur dessa variationer ser ut som funktion av riktning i universum är det som visat sig så viktigt för förståelsen av den mörka materian.

För att kunna göra noggranna mätningar av detta behöver man komma utanför atmosfären och med hjälp av tre satelliter med ungefär 10 år mellan har

dessa fluktuationer mätts med högre och högre precision. Figur 1 visar hur från COBE (1992), till WMAP (2003) och Planck (2013) vinkelupplösningen förbättrades med nära en faktor 100 och temperaturkänsligheten förfinades med en faktor 15, vilket resulterade i en otroligt detaljerad bild med tydliga fluktuationer även på små storleksskalor. Sammanställer man hur stora skillnaderna mellan uppmätta värden är mellan två punkter som funktion av deras vinkelavstånd, dvs enklare beskrivet som de relativa temperaturskillnaderna för synliga fläckar som funktion av fläckstorlek, framträder ett mönster med periodiska toppar. Amplituderna på dessa toppar beror starkt på hur mycket vanlig och mörk materia som fanns i universums ungdom, men även universums geometri och ålder. En modell med mörk materia passar all mätdata perfekt vid mindre vinklar (se de anpassade kurvorna i figur 2), medan modeller utan mörk materia inte klarar av att beskriva den observerade distributionen.

Ett annat övertygande argument är att

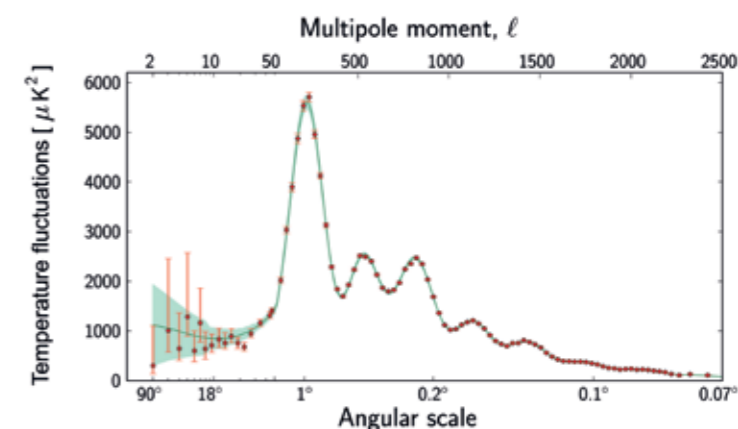
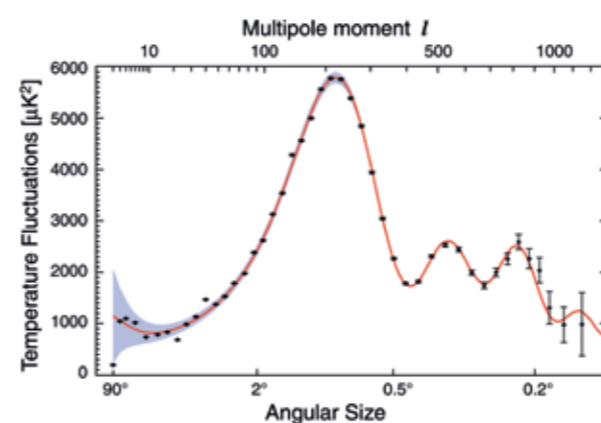
förekomst av icke-relativistisk (så kallad "kall") mörk materia tillåter storskaliga strukturer av vanlig materia att formas under universums utveckling. I datorsimuleringar baserade på Big Bang-teorin utan den mörka materian hinner de små lokala densitetsvariationerna förstärkas så att lättare grundämnen bildas och ge upphov till den kosmiska bakgrundsstrålningen, men atomerna skulle inte ha hunnit buntas ihop till större strukturer, så inga stjärnor och galaxer bildas. I sina

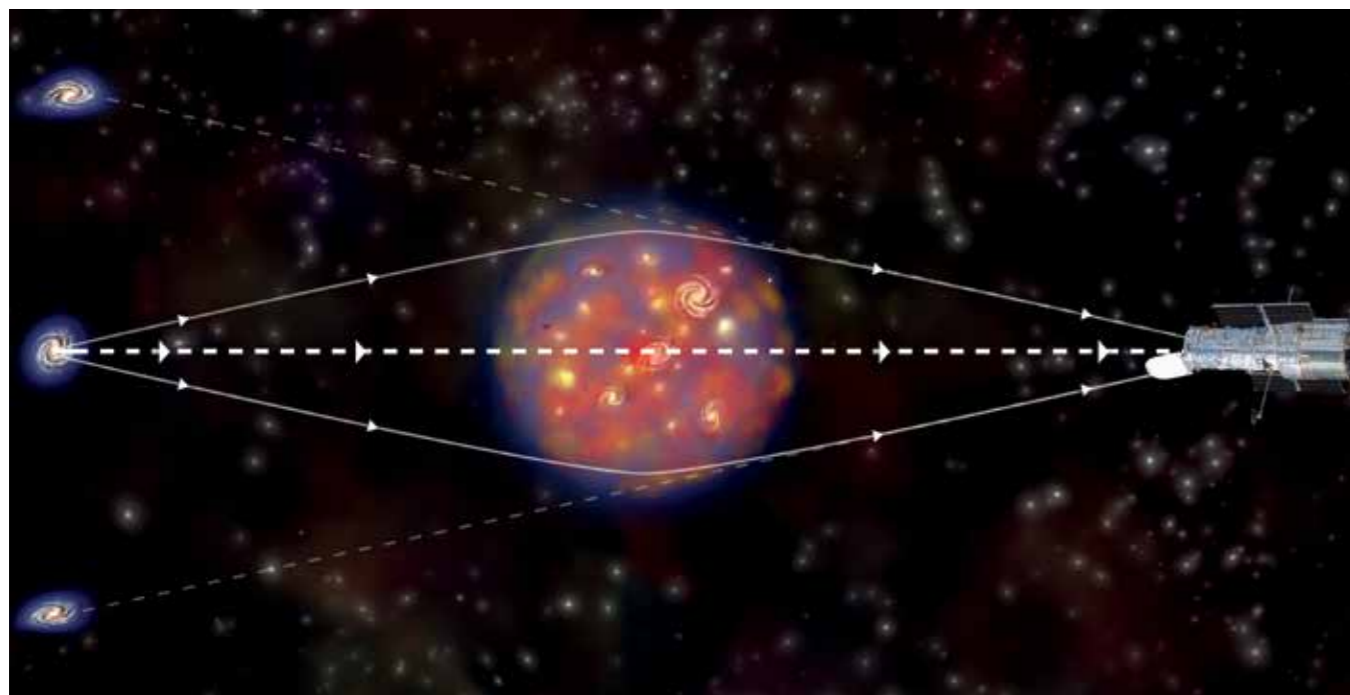
tidiga skeden var universum dominerat av strålning, och strålningen interagerade med protoner och elektroner och jämnade på så sätt ut små ojämnheter i deras densiteter och motverkade att de klumpade ihop sig. Den mörka materian påverkas inte av strålningen och kunde därför skapa frön av ojämnheter i hur massan var fördelad, vilka sedan kunde påverka distributionen av den vanliga materian på grund av sin gravitationskraft när universum blev genomskinligt. I modeller med mörk materia ger de större variationerna i fördelningen av den mörka materian

en förstärkning av ojämnheter i fördelningen av den vanliga materian, och storskaliga strukturer hinner formas och utvecklas till det universum vi ser idag.

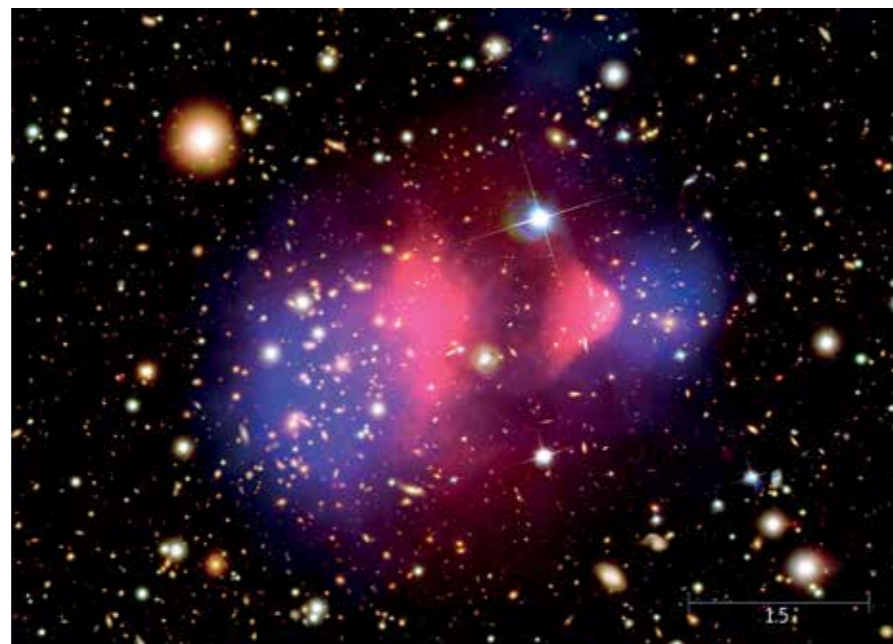
Slutligen, enligt den allmänna relativitetsteorin kan massiva objekt böja ljusets bana, så stora anhopningar av mörk materia kan agera som en så kall-

Figur 2: Temperaturskillnader mellan punkter i den kosmiska bakgrundsstrålningen som funktion av vinkelavstånd mellan punkterna uppmätt av WMAP till vänster och med dramatiskt förbättrad noggrannhet av Planck till höger. Bild: NASA / WMAP Science Team, ESA and the Planck Collaboration.





lad gravitationslins (se Figur 3). Genom att noggrant mäta störningar i bilden av galaxer långt bort kan man se effekten av gravitationskraften på objekt som befinner sig mitt emellan, och på så sätt indirekt se att (och var) den mörka materian finns. En observation som ofta omnämns som bevis för att den mörka materian existerar är den så kallade Bullet-hoppen, en kollision av två galaxhopar nästan 4 miljarder ljusår bort, avbildad i Figur 4 med hjälp av bland annat NASA:s Chandra-satellit. Om man gör antagandet att de två hoparna består av stjärnor, gas och mörk materia tar en häftig bild form. De tre komponenterna påverkas på olika sätt av kollisionen, och man kan därför särskilja dem. Stjärnorna, som kan ses i optiska våglängder, passerar mestadels förbi varandra oskadda. De heta gasmolnen som mättes via deras röntgenstrålning (rosa) utgör i dessa hopar den absoluta merparten av den vanliga materian. Gasmolnen interagerar med varandra elektromagnetiskt under kollisionen och saktas därför ner. Den mörka materian, här visad med blå färg, mättes indirekt via gravitationslinismetoden ovan. Genom att mäta störningar i ljuset från källor bakom Bullet-hoppen kan man alltså indirekt se den mörka materian genom att dess massa ger upphov till gravitatio-



Figur 4: Bullet-hoppen som visar hur den synliga och osynliga massan separeras när två hopar kolliderar. De heta gasmolnen i rosa utgör den dominerande delen av den synliga massan i de två hoparna, och de blå områdena indikerar var den osynliga massan syns, uppmätt mha gravitationslinstekniken. Bild: X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch et al.; Optical: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.; Lensing Map: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.

Figur 3: Illustration av konceptet för en gravitationslins, där ljuset mellan källa och observatör till synes böjs på grund av gravitationsinverkan av massiva objekt mitt emellan. Bild: NASA/CXC/M. Weiss.

nell påverkan på ljusets bana. Bilden som framträder visar en tydlig separation mellan gasmolnen i rosa som står för den dominerande delen av den vanliga materian i hoparna, och den osynliga massan i blått som ger upphov till den gravitationella inverkan på avbildningen av bakgrundsobjekten, dvs den mörka materian. Sedan det här uppmärksammades 2005 har det betraktats som ett speciellt starkt argument för den mörka materians existens, framför allt då det är väldigt svårt att förklara den här bilden med modeller utan mörk materia.

Sammantaget ger observationerna beskrivna ovan en entydig och övertygande bild: vårt universum består av mycket mer mörk materia än vanlig! Dessa oberoende mätningar av väldigt olika egenskaper av vårt kosmos indikerar konsekvent att universum domineras av mörk materia, och att all den materia vi känner till och förstår bara utgör ungefär 15%.

Men vad består den mörka materian av? Ingen vet. Men det finns gott om förslag och teorier. All materia vi känner till är gjord av partiklar, så det ligger nära till hands att tänka att mörk materia också gör det. Alla de observationer vi gick igenom ovan – och som tillsammans tyder på den mörka materians existens – kräver att den mörka materian interagerar via gravitationskraften. Kopplingar till den elektromagnetiska växelverkan verkar inte finnas, dvs den interagerar inte med fotoner och är därmed transparent för ljus. Den interagerar heller inte via den starka kärnkraften, men den skulle kunna koppla till den svaga kärnkraften. En av de mest populära kandidaterna för att förklara den mörka materian har sedan flera årtionden varit en så kallad *weakly interacting massive particle*, eller WIMP. Dessa förekommer naturligt i flera föreslagna utvidgningar av partikelfysikens standardmodell, till exempel modeller som bygger på supersymmetri. En WIMP, dvs en massiv partikel som växelverkar via den svaga kärnkraften, förväntas befinna sig i termisk jämvikt med de partiklar vi känner till från standardmodellen, om bara temperaturen är tillräckligt hög. Det betyder att i univer-

sums tidiga utveckling krockade vanliga partiklar med varandra och skapade mörk materia, och vice versa, hela tiden. När universum expanderade och kylades av sjönk energidensiteten till slut under det tröskelvärde då den inte längre räckte till för att processer som skapar mörk materia skulle uppstå spontant. Den densitet av mörk materia som rådde då fixerades, och den mörka materian ”frös ut” från alla processer förutom växelverkan via gravitationskraften. En WIMP med en massa i storleksordningen 100 gigaelektronvolt (GeV) skulle enligt simuleringar av universums utveckling frysa ut vid en densitet som skulle ge precis den andel mörk materia vi ser i universum idag. Detta otroliga sammanträffande brukar kallas för WIMP-miraklet och är en stor anledning till att WIMP-idén är så taltalande.

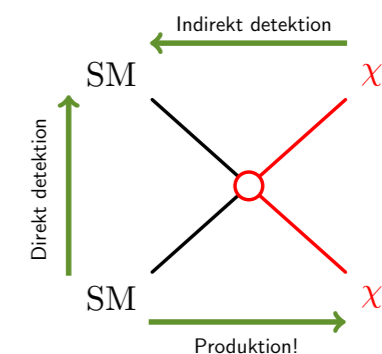
Det finns flera andra förslag på hypotetiska partiklar som skulle kunna utgöra den mörka materian, till exempel axioner, en tyngre och steril typ av neutrino, eller gravitino – den supersymmetriska partnern till partikeln som förmedlar gravitationskraften. (Dessa partiklar kan ha massor från bråkdelar av en elektronvolt till flera teraelektronvolt.)

Partikelfysiken har under det senaste århundradet gjort framsteg inom både teori och experiment för att förstå exakt vad som bygger upp vårt (synliga) universum på mindre och mindre storlekskala. Från molekyler till atomer till atomkärnor till de partiklar som bygger upp neutroner och protoner (kvarkar), elektroner och andra så kallade leptoner, och de partiklar som förmedlar krafterna genom vilka dessa byggstenar interagerar med varandra. Efter ett par års datatagning kunde ATLAS- och CMS-kollaborationerna vid CERN:s LHC konstatera 2012 att Higgs-partikeln äntligen var hittad, nästan 50 år efter att den förutspåts. Därmed hade den sista ingrediensen i partikelfysikens standardmodell blivit verifierad experimentellt.

Å andra sidan har astronomer det senaste årtusendet tittat ut i universum, utforskat Vintergatan och mäter nu signaler från objekt och system miljarder ljusår bort med en imponerande precision. Observationerna har blivit så detaljerade och

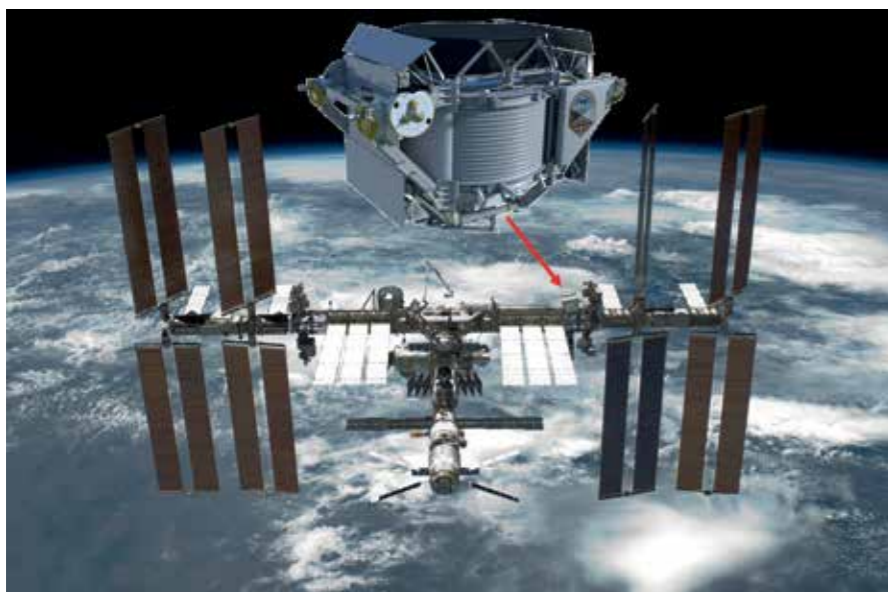
modellerna så sofistikerade, att de nu kan ge rekommendationer för vad vi bör leta efter inom partikelfysiken.

Hur letar vi då efter svaret på frågan om vad som utgör den mörka materian? Byggt på antagandet att det är en partikel som interagerar på något sätt med partiklarna vi känner till i standardmodellen (SM) kan vi tänka oss flera processer enligt Figur 5. I diagrammet finns två standardmodellpartiklar och två χ -partiklar som representerar mörk materia. Beroende på vilket håll vi låter tiden gå i diagrammet får vi en av tre processer. Vi tittar först lite kort på två stycken som använder sig av den mörka materia som finns i universum, och sedan berättar jag i lite mer detalj om hur vi försöker skapa egen mörk materia i laboratoriemiljö för att kunna studera den.



Figur 5: Diagram som visar tre olika möjliga processer där mörk materia och partiklar i standardmodellen (SM) växelverkar. Bild: Christian Ohm.

Indirekt detektion: Om tiden går från höger till vänster i Figur 5 börjar vi med två χ och skapar vanlig materia. Här interagerar alltså den mörka materian med sig själv och annihileras, dvs förgör sig själva – precis på det sätt en partikel och dess antipartikel gör när de möts. De kan då skapa fotonpar, elektron-position par, eller kvark-antikvark par som bildar tex protoner. Sannolikheten för att det här ska hända är högre där densiteten av mörk materia är hög, och för att kunna göra mätningar av partiklarna som skapas behöver vi komma utanför vår skyddande



Figur 6: AMS-experimentet som letar efter tecken på mörk materia via indirekt detektion i omloppsbana runt jorden på den internationella rymdstationen ISS.
Bild: NASA / AMS Collaboration.

Figur 7: XENON-experimentet som letar efter mörk materia genom direkt detektion.
Bild: XENON Collaboration.



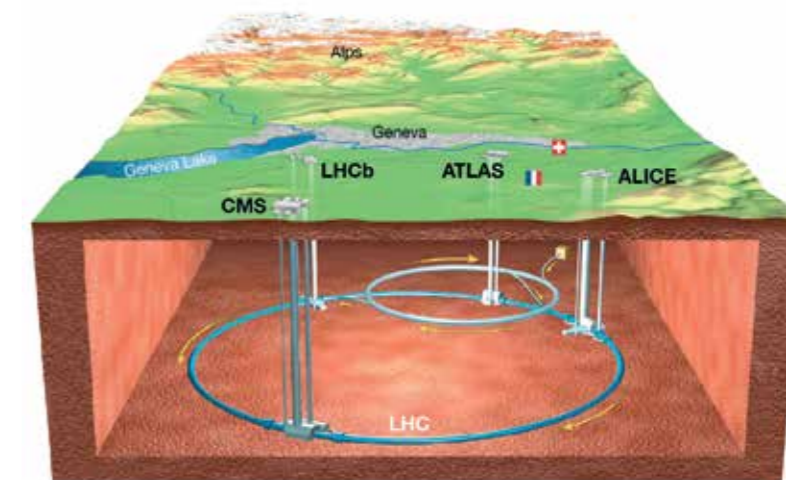
atmosfär. Figur 6 visar Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), ett experiment som sitter monterat på den internationella rymdstationen ISS som är i omloppsbana runt jorden och letar efter bland annat tecken på mörk materia via indirekt detektion. Om mörk materia skulle visa sig i ett experiment som bygger på den här principen skulle det vara till exempel genom en oväntad form på energispektrumet för till exempel fotoner eller den relativa förekomsten av positroner och elektroner som funktion av deras energi.

Direkt detektion: Tittar vi i stället på diagrammet i vertikal riktning börjar vi med en mörk-materia-partikel och en standardmodellpartikel och slutar

med samma uppsättning – dvs ett slags spridningsprocess. Då den mörka materian högst ovilligt interagerar med SM-partiklar är signalerna väldigt ovanliga, så metoden kräver otroligt känsliga detektorer som kan känna av de ytterst blygsamma energidepositioner som kollisionen ger upphov till i form av rekyl i en atomkärna (eller elektron). Då dessa händelser förväntas vara väldigt sällsynta behöver experimenten dessutom designas så att de har en väldigt låg bakgrund. Eftersom beräkningar indikerar att jorden möter en "vind" av mörk materia när den färdas genom rymden med 220 km/s kan dessa detektorer befinna sig på jorden och helt enkelt vänta in att en mörk-materia-partikel ska krocka med atomerna inuti.

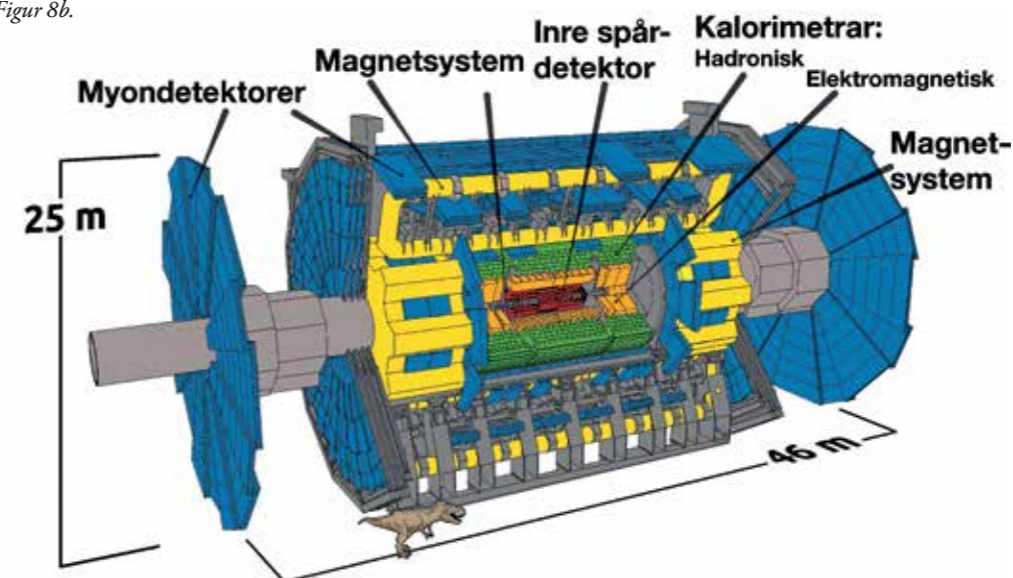
Ett sådant experiment, XENON1T (Figur 7), finns i ett laboratorium i italienska Gran Sasso, djupt under de skyddande bergen för att skärmas av från de högenergetiska partiklar från rymden som annars ger bakgrundssignaler i detektorn. Detektorn utgörs av en tidsprojektionskammare med flera ton flytande xenon, nogsamt renat från radioaktiva isotoper.

Produktion: den sista processen börjar med SM-partiklar och producerar mörk materia. Genom att förlita sig på egen närproducerad mörk materia blir man oberoende av antaganden som påverkar hur väl vi förstår fördelningen av mörk materia runt jorden och i universum, men å andra sidan krävs höga energier



Figur 8a.

Figur 8b.



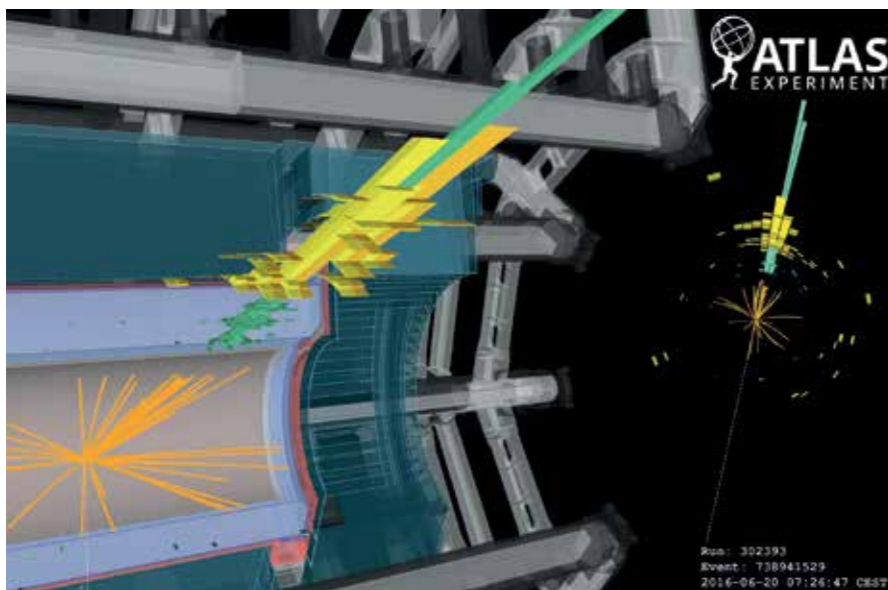
Figur 8: a) Partikelacceleratorn Large Hadron Collider (LHC) och dess experiment, och b) ATLAS-experimentet som letar efter mörk materia som produceras i kollisionerna som LHC skapar.
Bild: CERN / ATLAS Collaboration.

på SM-partiklarna vilket medför enorma experimentella anläggningar. CERN-laboratoriets Large Hadron Collider (Figur 8a) är inhyst i en 27 km lång cirkulär tunnel utanför Genève, 100 m under gränsen mellan Schweiz och Frankrike. Här accelereras protoner till en energi av 6,5 teraelektronvolt (TeV) motsvarande 99,999999% av ljusets hastighet i vakuum. Strålar av protoner i motsatt riktning styrs rakt mot varandra på fyra ställen runt ringen, och på varje sådant ställe har man låtit bygga stora detektorer för att studera processerna som uppstår i kollisionerna. En sådan detektor är ATLAS-experimentet i Figur 8b. Från varje sida av ATLAS kommer 100 miljarder protoner inklämda på volymen av

ett hårstrå in mot mitten där de korsar varandra. Uppmot 60 protonpar kolliderar i detektorns mitt utspridda över en linje på ett par cm, och i varje individuell kollision skapas typiskt ett hundratal nya partiklar från rörelseenergin av de kvarkar och gluoner som utgör protonerna som växelverkar med varandra i kollisionen. Partiklarna från kollisionerna mäts sedan med det 20-tal detektorsystem som utgör ATLAS-experimentet för att kunna identifiera vilka typer av partiklar som skapades och mäta deras vinklar och rörelsemängder. Allt detta sker 40 miljoner gånger per sekund, dygnet runt under merparten av varje år. Anledningen att vi gör det så svårt för oss själva är att processerna och partiklarna vi vill studera

är otroligt sällsynta. Eftersom de allra flesta kollisionerna är ointressanta finns ett så kallat triggersystem som i realtid väljer ut vilka kollisioner som mätdata ska sparas för. Lite förenklat kan man säga att det är de kollisioner som ger de mest högenergetiska partiklarna som är de intressantaste, och av 40 miljoner sparas ungefär 1000 stycken för detaljerad analys varje sekund. I varje kollision rekonstrueras sedan elektroner, myoner, tau-leptoner, fotoner, och så kallade jets (skurar av hadroner, dvs partiklar som består av kvarkar) av datoralgoritmer innan de skickas ut till datorcentra utspridda i världens alla hörn för analys av forskargrupper.

Den maximala energin som finns att



Figur 9: En visualisering av en kollision som ATLAS-detektorn registrerade i juni 2016. De orangefärgade linjerna i lägre vänstra hörnet representerar rekonstruerade spår från laddade partiklar som kommer ut från kollisionspunkten. De gröna och gula boxarna representerar energi uppmätt i kalorimetrarna, i det här fallet från en högenergetisk jet. Till höger i bild visas en projektion i det transversella planet, dvs det som är vinkelrätt mot de inkommande protonstrålarna. Här visas den saknade rörelsemängden med en streckad linje, i precis motsatt riktning jämfört med energidepositionerna.

Bild: CERN / ATLAS Collaboration

tillgå för att skapa till exempel mörk materia i dessa kollisioner är begränsad av hur starka magneter vi kan bygga. För att hålla partiklarna i omloppsbana vid högre energier behöver vi kraftfullare magneter för att böja deras bana – inte helt olik hur den mörka materian behövs för att hålla stjärnorna med hög hastighet i utkanten av galaxerna i omloppsbana i Vera Rubins observationer!

Så hur skulle det se ut i ATLAS-detektorn om mörk materia skapades i en kollision? Som beskrevs tidigare interagerar den mörka materian med väldigt låg sannolikhet med vanlig materia, och det gäller även materian vår detektor är byggd av. Så den mörka materian försvinner ut utan att registreras. Men vi kan se den genom indirekta mätningar av de andra partiklarna som skapas i samma kollision eftersom de partiklar som undgår detektion resulterar i en obalans i rörelsemängden när man summerar ihop bidragen från alla partiklar i sluttillståndet. På så sätt kan man leta efter processer som producerar mörk materia på flera sätt, till exempel

- i ett sönderfall av en Higgs-partikel, tillsammans med många andra partiklar,
- i en lång sönderfallskedja med flera kortlivade partiklar
- tillsammans med en enstaka högenergetisk jet (se Figur 9)

Trots att kollisionen i Figur 9 ser ut som vi förväntar oss hur det kan se ut när mörk materia skapas i ATLAS-experimentet så finns det andra kända processer som förutspås av standardmodellen som ger en liknande signatur i detektorn, och det är först efter en statistisk analys av stora datamängder som man kan dra några slutsatser. Hittills har vi inte hittat några tecken på mörk materia vid LHC, men jakten fortsätter. Nya idéer och nya analyser i mer komplexa sluttillstånd håller på att undersökas och data samlas in i högre tempo än någonsin. Till slutet på nästa år förväntas vi ha ca fem gånger så mycket mätdata som vi har publicerat resultat med hittills.

De tre typerna av experiment som letar efter svaret på gåtan med den mörka materian kompletterar varandra väl. Det finns många fria parametrar för de partiklar vi letar efter, och beroende på massa, styrkan på kopplingar till olika SM-partiklar och annat så har vissa experiment bättre förutsättningar än andra att upptäcka dem. Dessutom skulle en upptäckt som använder bara ett experiment ha svårt att bestämma egenskaperna på mörk-materia-partikeln, och här blir kombinationen av flera experiment särskilt kraftfull.

Så för att sammanfatta: observationer av de allra största strukturer vi känner till, gjorda över enorma avstånd, styr nu

vad vi letar efter i experiment på jorden som studerar det allra minsta vi känner till. Så förutom att rent fysiskt hålla ihop våra stjärnor och galaxer i omloppsbana med sin gravitationskraft knyter även den mörka materian ihop forskningsfälten astronomi, kosmologi, astrofysik och partikelfysik. Vera Rubin skrev en gång att ingen har lovat oss att vi ska få leva i eran då alla mysterier i vårt kosmos kommer att lösas – men med tanke på den spännande utvecklingen tycker jag att vi har goda anledningar att vara hoppfulla angående svaret på gåtan med den mörka materian.

CHRISTIAN OHM,
FORSKARE I PARTIKELFYSIK VID KTH
OCH MEDLEM I ATLAS-
KOLLABORATIONEN
SEDAN 2006

Är du intresserad av att veta mer om hur vi söker efter mörk materia med partikelkollisioner, eller vill du rentav hjälpa till? CERN har flera program för både studenter på gymnasie- och universitetsnivå såväl som för gymnasielärare för att komma och lära sig mer och arbeta med projekt på plats. Det finns dessutom gott om resurser online – kolla in www.cern.ch (webben uppfanns på CERN)

Upptäckten av en gravitationellt linsad supernova öppnar för ny era inom kosmologi

En av grundpelarna i Einsteins *Allmänna Relativitetsteori* är att rum-tiden kröks runt tunga kroppar. En följd av teorin är att ljusstrålar som färdas nära stjärnor eller galaxer kan ändra riktning. Gravitationen fungerar alltså som en optisk lins, som avböjer och fokuserar ljus. Det var därför en stor triumf för Einstein när en astronomisk expedition ledd av den brittiska astronomen Arthur Eddington kunde mäta avböjningen av ljuset som passerade nära solen under en solförmörkelse i maj 1919. Eddington kunde visa att den uppmätta avböjning av ljuset, $\theta = 1,74$ bågsekunder, motsvarade förutsäggelsen från relativitetsteorin,

$$\theta = \frac{4GM}{bc^2}$$

där G är Newtons gravitationskonstant, M är massan på "linsen" och b är närmaste avståndet mellan ljusstrålen och mittpunkten på den gravitationella linsen. I Eddingtons experiment var alltså M solens massa, och b solradien.

Fritz Zwicky, som annars är mest känd för att bl. a. ha postulerat förekomsten av mörk materia i universum, var den första att förstå att gravitationell avböjning av ljus inte bara var en raritet som bekräftade relativitetsteorin, men kunde också användas för att väga himlakroppar. Idén som han publicerade 1937, var att man skulle kunna uppskatta massan av hela galaxer och även galaxhopar genom att mäta avböjningsvinkeln på ljuset från bakomvarande galaxer. Kruxet är att det är extremt sällsynt med galaxer med olika rödförskjutningar som råkar vara tillräckligt nära i siktlinjen för att effekten

ska vara mätbar. Men i de fall som denna slumpmässiga linjering sker, kan det uppstå ett fascinerande optiskt fenomen: flera bilder av en enstaka källa kan uppträda, något som brukar kallas "stark linsning". För att detta ska möjligt bör vinkelseparationen vara inom den s.k. Einsteinradien,

$$\theta_E = \left(\frac{4GM}{c^2} \cdot \frac{D_{LS}}{D_L D_S} \right)^{1/2}$$

där D_L , D_S och D_{LS} är avstånden (*) från Jorden till linsen (L) respektive källan (S), medan D_{LS} är avståndet mellan linsen och källan.

För typiska galaxmassor och kosmologiska avstånd är Einsteinradien runt en bågsekund, ca 2000 gånger mindre än vinkeln som månen upptar, dvs väldigt liten i förhållande till hela himlasfären där galaxerna är fördelade.

Det tog ända fram till 1979 innan astronomer kunde visa att två närliggande kvasarbilder, QSO 0957+561A och QSO 0957+561B, 6 bågsekunder ifrån varandra och båda med en kosmologisk rödförskjutning på $z=1,41$, var i själva verket två bilder från *en och samma* kvasar, gravitationellt linsad av en förgrundsgalax, med rödförskjutning $z=0,355$. Ett flertal system med "multipla bilder" av en och samma källa, kvasarer och galaxer, har detekterats i optiska bilder med hög vinkelupplösning, och Zwickys föreslagna metod används numera rutinmässigt för att väga några av universums största galaxhopar, med tiotals starkt linsade bak-

grundsgalaxer, oftast med hjälp av Hubbleteleskopet.

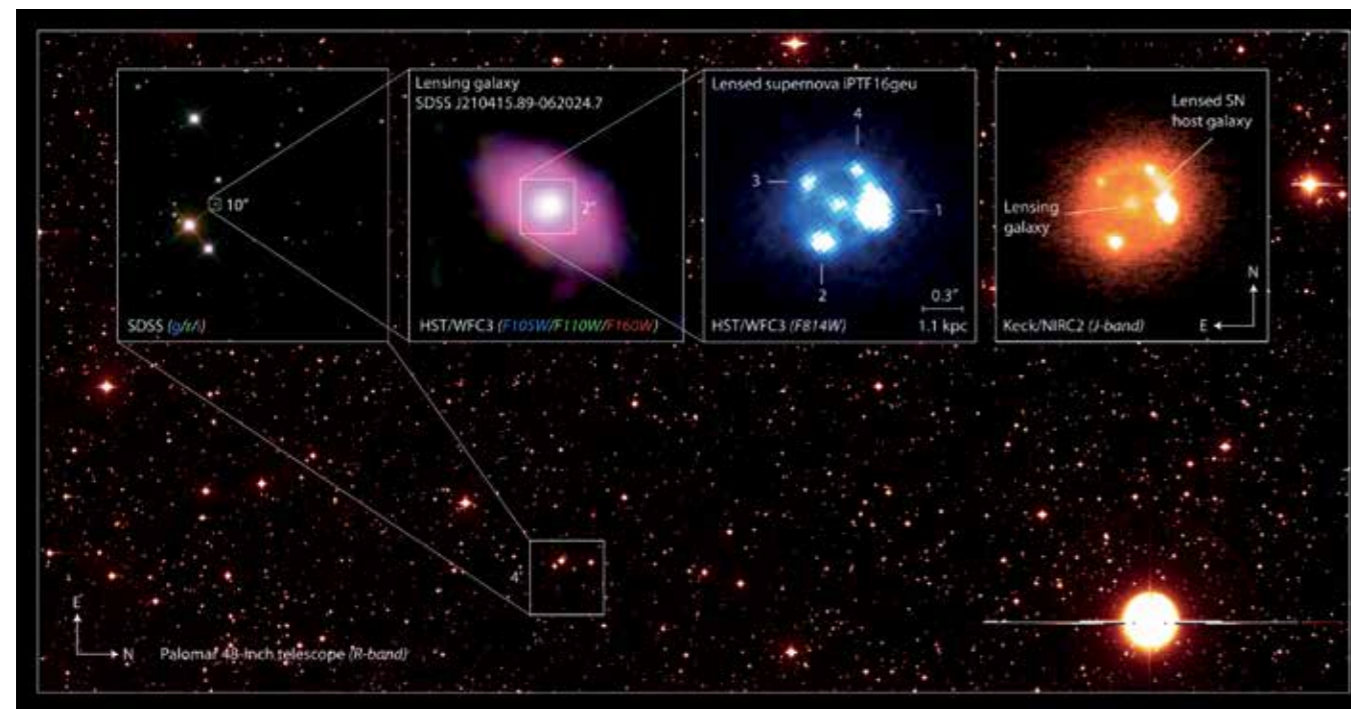
Norska astronomen Sjur Refsdal var en av de som tog starkt intryck av Zwickys resonemang och 1964 kom han med ytterligare en banbrytande idé: om man kunde hitta "multipla" bilder av en supernovaexplosion så skulle man, utöver vinkelseparationen mellan bilderna, också kunna mäta *tidsskillnaden* mellan bildernas ankomsttider. Att bilderna inte kommer fram samtidigt till observatören på jorden beror på att strålarna färdas olika långt. Dessutom varierar strålarnas relativistiska tidsdilatation, beroende på hur nära centrum på linsgalaxen de passerar. Refsdal visade att mätningen av tidskillnaden mellan bilderna kan användas för att mäta universums expansionshastighet, Hubblekonstanten, H_0 . Detta är särskilt viktigt idag, då olika tekniker för att bestämma H_0 ger motstridiga resultat, något som vissa kosmologer hävdar beror på brister i hur man modellerar universums sammansättning. Skulle detta bekräftas skulle det vara ett av de största genombrotten i fundamental fysik på ett par decennier.

(*) Det finns olika mått på avstånd i kosmologiska sammanhang. Det som avses här är vinkeldiameteravståndet.

Refsdals idé var revolutionerande, dock inte utan praktiska svårigheter. Om det nu var så svårt att hitta multipla bilder av himlakroppar med nästan oändlig livslängd, kvasarer och galaxer, hur skulle man då någonsin kunna hitta något så sällsynt och kortlivat som en linsad supernova, som bara kan observeras i någon månad innan intensiteten falnat avsevärt? Tyvärr hann Refsdal (som dog 2009) aldrig uppleva fenomenet han beskrev,

men till slut hittades en supernova med multipla bilder som kallats efter honom. Genom en av de största observationsprogrammen som utförts med Hubbleteleskopet, upptäcktes "supernova Refsdal" år 2015 bakom jättegalexhopen MACS J1149.6+2223, som agerade som en gigantisk lins. Detta var visserligen en stor framgång, men för att svara på kosmologiska frågor med nödvändig noggrannhet räcker det inte med en enstaka händelse, det krävs åtminstone ett tiotal för att få den nödvändiga statistiska noggrannheten. Därtill var det en kärnkollaps-supernova, vars intensitet varierar kraftigt från ett event till ett annat och inte kan modelleras på ett enkelt sätt.

Figur 1. Sammansatt bild som visar den gravitationellt linsade Typ Ia supernovan iPTF16geu, observerat med olika teleskop. Bakgrundsbilden är en vidvinkelvy från observatoriet i Palomar i södra Kalifornien. Bilden till vänster är taget med Sloan Digital Sky Survey, och visar linsgalaxen och dess omgivning. Övriga bilder visar en 20x inzooming med Hubbleteleskopet i optiska våglängder samt Keck I nära infrarött som fångar upp de fyra bilderna av supernovan iPTF16geu samt dess värdgalax (cirkelsegment), gravitationellt linsade av förgrundsgalaxen. Bilden sattes ihop av Joel Johansson.

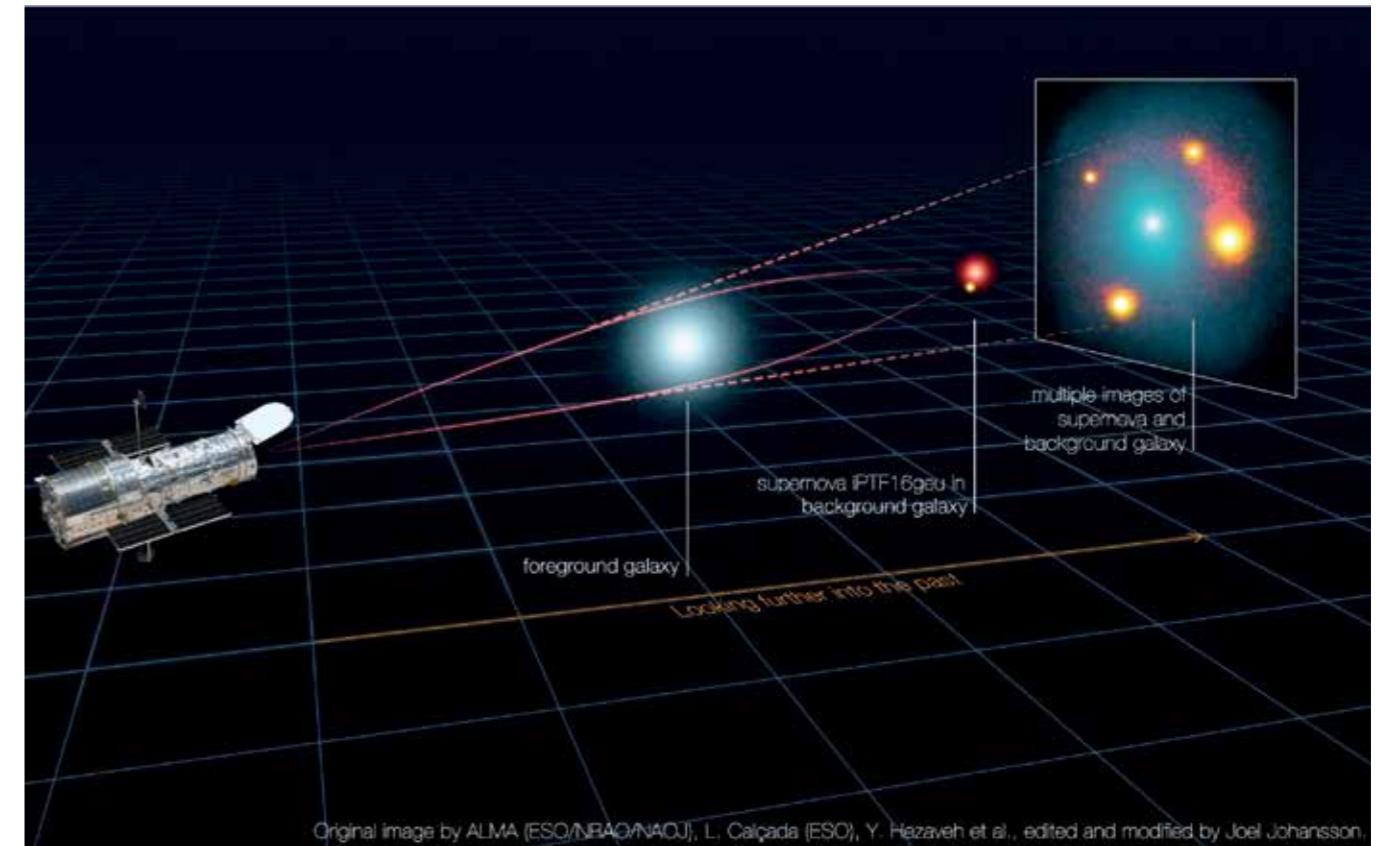


Idealet är att hitta ett system där den linsade supernovan är av "Typ Ia", dvs den sorten som används som standardljus för avståndsmätningar i kosmologi. Det var till exempel genom avståndsmätningar till Typ Ia supernovor som upptäckten att universums expansion accelererar kunde göras (Nobelpriset i Fysik 2011), se Fysikaktuellt 3, 2017.

Det är här det nya genombrottet skedde. För att hitta sällsynta fenomen i universum krävs det att man letar över stora kosmiska volymer. Detta är svårt att kombinera med användningen av Hubbleteleskopet, som har ett mycket litet kamerafält, på bara några bågminuter i kvadrat. Dessutom användes rymdteleskopet till många andra projekt så dess tillgänglighet är kraftigt begränsat. Vid Palomarobservatoriet i Kalifornien finns å andra sidan ett 1,2-meter teleskop (P48, där 48:an anger spegeldiametern mätt i tum) som är helt dedicerat till att söka efter supernovor och andra tidsberoende fenomen. Projektet "the intermediate Palomar Transient Factory" (iPTF) använde sig av ett robotiserat teleskop med en kamera med väldigt stort fält på 7,2 kvadrater. Efter en minuts datainsamling i en riktning riktades kameran mot ett nytt

fält och så fortsatte man hela nätter igenom och avbildade således mycket stora delar av himlasfären. Under de följande nätterna observerade teleskopet samma delar av himmelen och kunde snabbt upptäcka förändringar mellan bilderna från olika nätter, "transienta" fenomen, bl.a. drygt tre tusen supernovaexplosioner. Emedan galaxernas förändras bara under väldigt långa tidsskalor, på närmare miljarder år, kan en supernova detekteras bara timmar efter explosionen, då det strålar nästan lika starkt som en hel galax. Supernovaupptäckterna från P48:an följdes upp med ett grannteskoop på 60-tum i Palomar (P60) som genom spektroskopiska observationer fick fram supernovornas rödförskjutning och genom att mäta atomsammansättningen (via emission och absorptionslinjer) också avgöra vilken typ av supernova man hade hittat, till exempel om det handlade om kosmologifavoriten, en Typ Ia supernova.

Söndagen den 2:a oktober 2016, under en rutingenomgång av den gångna nattens observationer, såg jag något mycket märkvärdigt i de data som kom från Palomar. En Typ Ia supernova, iPTF16geu, med rödförskjutning $z=0,409$, som var drygt 50 gånger ljusstarkare än vad det borde ha varit. Rent statistiskt



så var detta extremt signifikant: 30 standardavvikelser. Vid närmare granskning kunde man också se att, mellan supernovans värdgalax och jorden, fanns ytterligare en galax vid $z=0,216$. Efter nya observationer var saken klar: det måste röra sig om gravitationell linsning som fokuserade ljuset från supernovan! Dock var vinkelupplösningen i bilderna från Palomar mycket grov, runt 2 bågsekunder som bäst, så eventuella multipla bilder kunde inte skönjas med de data vi hade. En hektisk tid följde med ansökningar om tidskritiska observationer med Hubbleteleskopet och de största markbaserade teleskopen, VLT i Chile och Keck teleskopen i Hawaii. Efter några dramatiska nätter med tekniska svårigheter att genomföra observationerna, fick vi bilderna från Keck och Hubbleteleskopet som bekräftade att vi hade upptäckt den första starkt linsade Typ Ia supernovan, med hela fyra multipla bilder, som visas i Figur 1 och schematiskt förklaras i Figur 2. Upptäckten publicerades i tidskriften *Science* [1].

Observationer med hög vinkelupp-

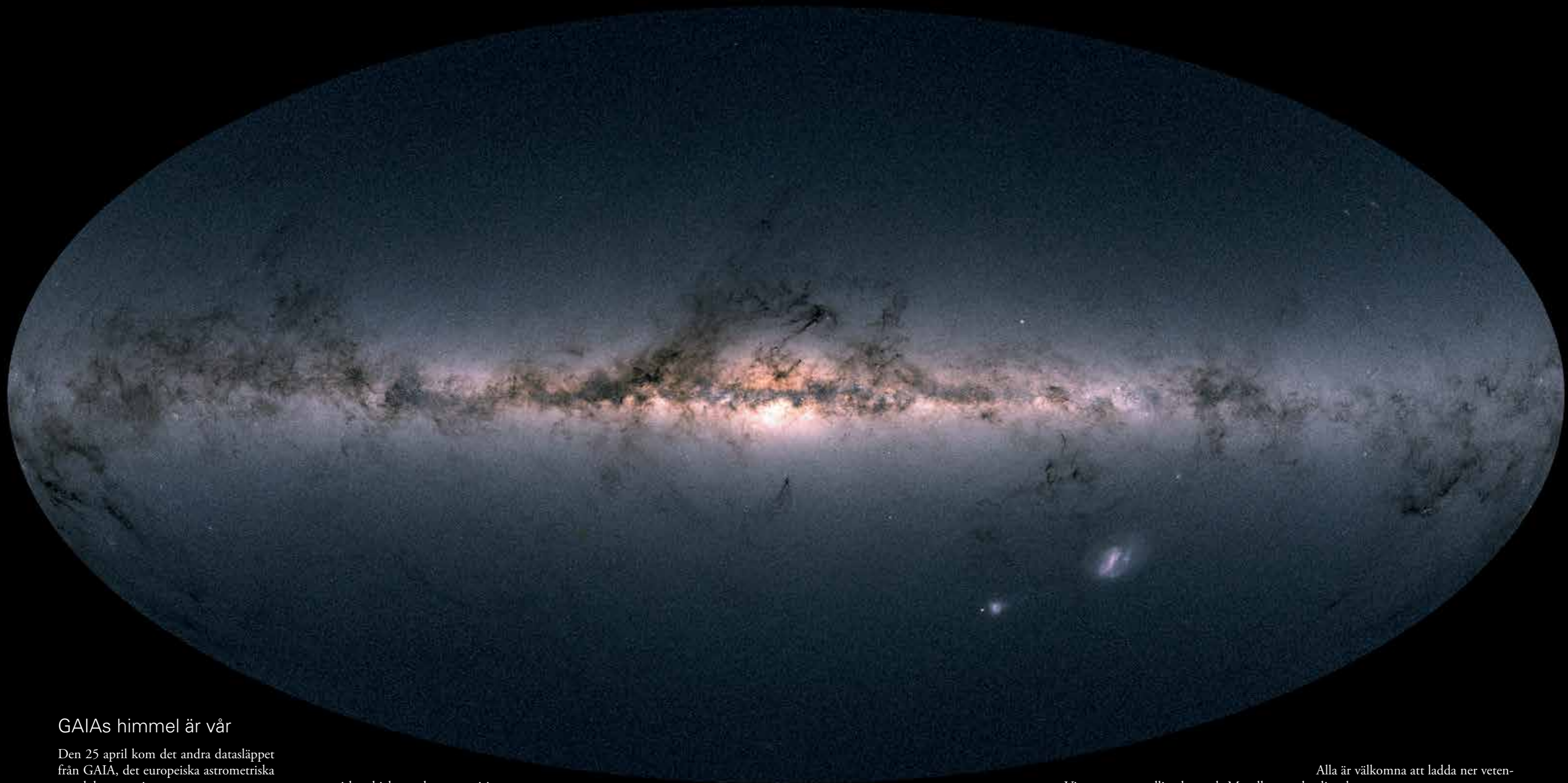
lösning i Figur 1 visar ännu ett intressant fenomen: utöver "galaxlinsen", pekar skillnaderna mellan de fyra supernovabilderna på att åtminstone en av ljusstrålarna fått extra fokusering, troligen av kompakta strukturer i siktlinjen, möjligen svarta hål. På det hela taget rymmer upptäckten många intressanta följdfrågor, en av dessa är kopplat till den stora förstärkningen, drygt 50 gångers förstoring, som är mycket större än vad vi kunde ha väntat oss. Är iPTF16geu bara en statistisk avvikelse eller finns det något fundamentalt fel med vår gravitationsmodell? Mätningarna av tidsskillnaden mellan supernovabilderna är ännu inte avslutade. Även om mätningarna av universums expansion från just denna supernova inte skulle ge oss en bättre uppskattning av Hubblekonstanten än vad vi redan har idag, så kan man känna stor optimism. Den lätthet med vilken vi hittade den gravitationellt linsade supernovan får mig att tro att vi borde kunna hitta många fler med samma teknik och nu med den drygt 10 gånger bättre kameran vid P48, med ett projekt som kallas the *Zwicky Trans-*

ient Facility (ZTF). Allt tyder på att vi nu har ett nytt sätt att studera krökningen av rum-tiden och universums expansion. Det kan vi ha stor nytta av för att förstå egenskaperna av det "mörka universum", en av vår tids största vetenskapliga gåtor.

Bildreferens: Originalbild från ALMA (ESO/NRAO/NAOJ), L. Calçada (ESO), Y. Hezaveh med flera, bearbetad av Joel Johansson.

ARIEL GOOBAR,
FYSIKUM, STOCKHOLMS UNIVERSITET
OSKAR KLEINCENTRET

Referens: [1] Goobar, A. et al, "iPTF-16geu: A multiply imaged, gravitationally lensed type Ia supernova", *Science*, **356**, 291, 2017



GAIAs himmel är vår

Den 25 april kom det andra datasläppet från GAIA, det europeiska astrometriska rymdobservatoriet.

GAIA kretsar kring solen i en bana utanför jorden, i Lagrange-punkten L2. Sedan 2014 har GAIA skannat av himlen och mätt positioner och ljusstyrkor för

astronomiska objekt med stor precision.

När den samlat på sig flera observationer av varje objekt kan man börja räkna fram avstånd och rörelser.

Bilden föreställer hela himlen och

visar den samlade ljusstyrkan från alla GAIA-stjärnor. 1,7 miljarder stycken finns med i detta datasläpp. Vi ser vintergatsbandet sträcka sig runt hela himlen.

De mörka molntrasorna är just moln. Interstellära moln där små stoftkorn sprider stjärnljuset och dämpar utsikten.

I nedre högra delen av bilden syns

Vintergatans satellitgalaxer: de Magellanska molnen.

GAIAs slutliga katalog dröjer ytterligare flera år, men dess omvälvning av astronomin har redan börjat.

Alla är välkomna att ladda ner vetenskapliga data:

<http://gea.esac.esa.int/archive/>

eller leka med visualiseringar:

<https://zah.uni-heidelberg.de/institutes/ari/gaia/outreach/gaiasky/>



Bilden till vänster: Tjugofyra gymnasister, från Abbekas i söder till Boden i norr, deltog i årets fysikveckan i Göteborg. Foto: Adam Arvidsson.

Till höger: Guldmedaljören Björn Magnusson (liggande) och övriga svenska wallenbergfinalister efter prisutdelningen i Tallinn. Övre raden: Samuel Andersson, Adam Warnerbring, Lukas Werner, Alexandru Golic, Arvid Lunnemark, Teodor Bucht, Axel Lokrantz, Johanna Lidholm, Emil Ingelsten, Johan Karlsson, Hugo Eberhard och David Hambraeus. Sittande: Hugo Ekinge, Oliver Lindström, Axel Jernbäcker, Simon Paulsson, och Sigfrid Stjärnholm.

Nedan: Alla tävlande i Nordic-Baltic Physics olympiad 2018 med de svenska deltagarna, inklusive maskoten Sven, längst till vänster.



Björn Magnusson på guld- och förstaplats

Björn Magnusson från Katedralskolan i Lund plockade hem tredjeplatsen och en guldmedalj när XV Northic-Baltic Physics Olympiad avgjordes i Tallinn den 24–26 april. Han blev dessutom bäste experimentalist i den mycket hårda konkurrensen där cirka 80 gymnasister från Estland, Finland, Lettland, Saudiarabien (!) och Sverige deltog. Den fina placeringen gjorde att han också säkrade förstaplatsen i årets upplaga av Wallenbergs fysikpris.

Förutom guld fick svenskarna med sig tre silver, fem brons och tre hedersomnämningar från den nordisk-baltiska olympiaden. Johanna Lidholm från Polhemsskolan i Lund utmärkte sig särskilt genom att bli bästa tjej i tävlingen. Tävlingsuppgifterna var rejält utmanande denna gång, och olympiaddeltagarna fick bland annat ta itu med att studera ett ubåtshaveri, spela magnetbiljard och göra en väderprognos. Totalsegrare blev Richard Luhtaru från Estland med Aleksi Kononen från Finland på andra plats. Hela resultatlistan finns här:

https://www.ioc.ee/~kalda/iphoe/NB-PhO2018_results.pdf

Som kronan på verket visade också de svenska deltagarna att de både är bra i fysik och har bra fysik: De knep de sju första platserna i den orienteringstävling (med matematik- och fysikproblem vid kontrollerna) som ingick i arrangemanget. Arvid Lunnemark från Malmö Borgarskola var allra snabbast över mål-linjen.

Wallenbergs fysikpris och Fysikveckan i Göteborg

Deltagandet i olympiaden var en del av finalen i Wallenbergs fysikpris, och poängen från olympiaden lades samman med de poäng som finalisterna fick vid den experimentella tävlingen under Fysikveckan i Göteborg. Här hade Julia Järlebark, Andréas Sundström och Oskar Vallhagen (samtliga tidigare olympiaddeltagare) konstruerat tre kluriga uppgifter som var och en skulle lösas under 80 minuter: Undersök hur ljudhastigheten i en sträng beror av spännkraften, under-

sök hur en elmotors verkningsgrad beror av vridmomentet och bestäm Plancks konstant med hjälp av fyra lysdioder i olika färger.

Fysikveckan, som arrangeras av fysikinstitutionerna vid Chalmers och Göteborgs Universitet, innehöll dessutom föreläsningar, experimentellt arbete, labbesök och en tur ut till Onsala rymdobservatorium. Finalisterna, och de sex flickor från årskurs två som var speciellt inbjudna till veckan, fick bland annat träffa Maria Sundin, som föreläste om vad hästsport och astrofysik har gemensamt, och Göran Johansson som talade om kvantdatorer och den stora satsning som nu görs inom detta område. Allt mycket uppskattat av deltagarna!

Stort grattis till alla fina placeringar och ett varmt tack till Fysikcentrum Göteborg och Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond vars ekonomiska stöd gör tävlingen möjlig.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
OCH JOHAN RUNESON,
LAGLEDARE UNDER NBPHO



Resultat, Wallenbergs fysikpris 2018

1. Björn Magnusson, Katedralskolan, Lund
2. David Hambraeus, Lugnetgymnasiet, Falun
3. Oliver Lindström, Minerva gymnasium, Umeå
4. Arvid Lunnemark, Malmö Borgarskola
5. Hugo Eberhard, Lars-Erik Larssongymnasiet, Lund
6. Adam Warnerbring, S:t Petri skola, Malmö
7. Axel Jernbäcker, Katedralskolan, Växjö
8. Hugo Ekinge, Platengymnasiet, Motala
9. Johanna Lidholm, Polhemsskolan, Lund
10. Axel Lokrantz, Polhemsskolan, Lund
11. Samuel Andersson, Uddevalla gymnasieskola Östrabo
11. Teodor Bucht, Malmö Borgarskola
11. Alexandru Golic, Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg
11. Emil Ingelsten, Hvitfeldtska gymnasiet, Göteborg
11. Johan Karlsson, Gymnasieskolan Spyken, Lund
11. Simon Paulsson, ABB Industrigymnasium, Västerås
11. Sigfrid Stjärnholm, Björknäs gymnasiet, Boden
11. Lukas Werner, Minerva gymnasium, Umeå



Vad är det för vätska som fastnar i magnetfältet? Adam Arvidsson ställer experimentella quiz-frågor under fysikveckan i Göteborg.

Sveriges unga forskningslandslag har utsetts vid finalutställning 21-23 mars 2018



Foto: Ola Jacobsen

Sveriges unga forskningslandslag har utsetts bland gymnasieeleverna inom naturvetenskap, teknik och matematik. De kommer att representera Sverige i internationella tävlingar för unga under det kommande året. Sammanlagt delades priser till ett värde av 500 000 kr ut under finalen av Utställningen Unga Forskare.

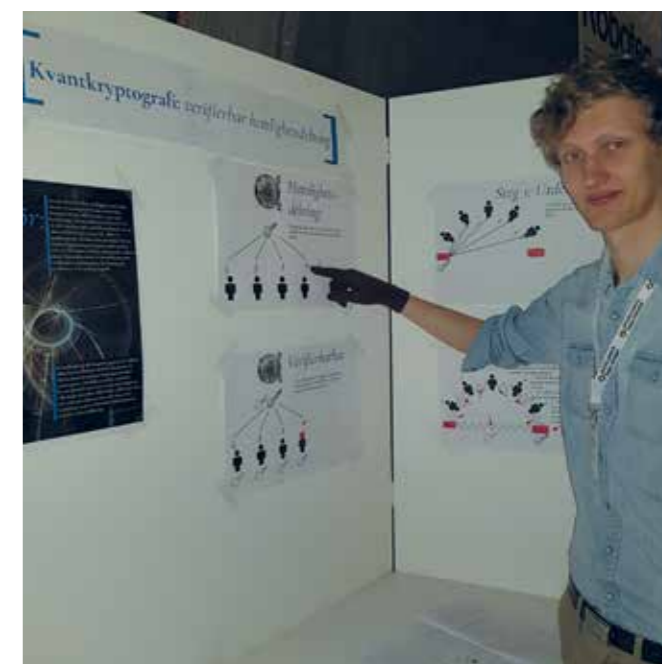
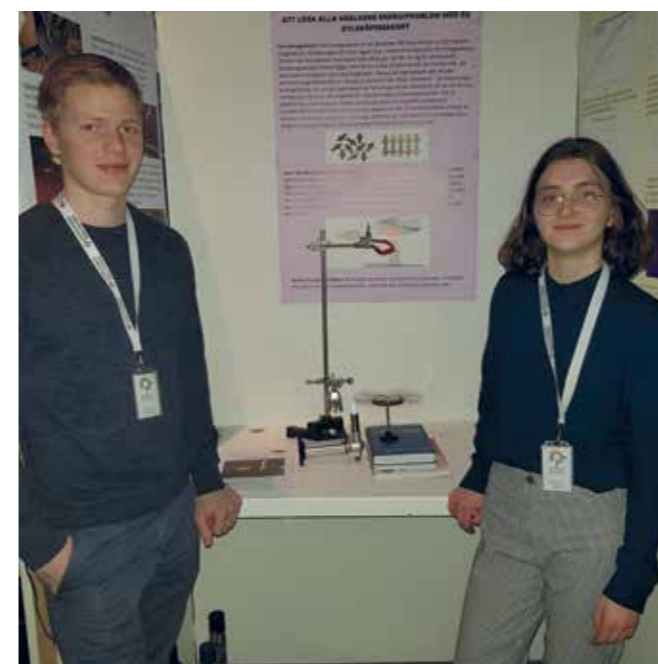
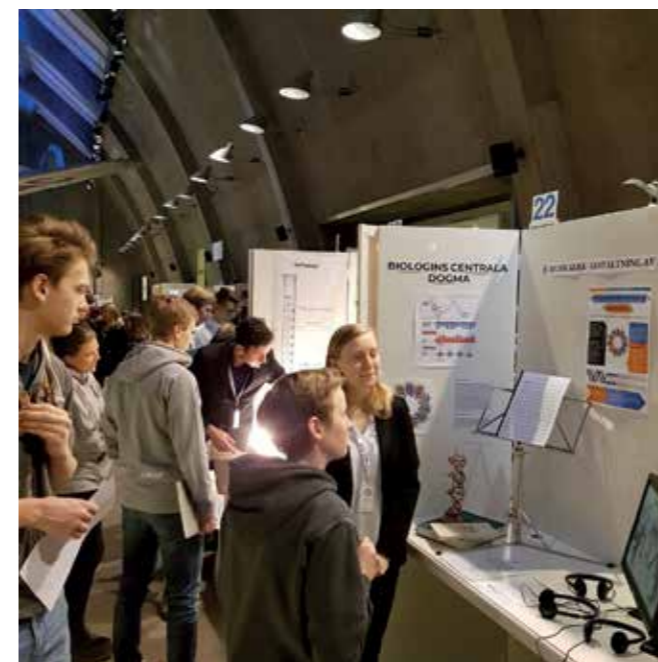
Utställningen Unga Forskare är Sveriges största tävling för gymnasieprojekt. Fysikaktuellt besökte finalutställningen vid Tekniska museet i Stockholm den 22 mars och intervjuade några av de tävlande. Det var 55 finalprojekt, som kvalificerats från nio semifinaler över hela landet.

Gymnasieeleverna som kommer representera Sverige i olika internationella tävlingar är:

- Johanna Huhtasaari, Midgårdsskolan, Umeå
- Nikita Zozoulenko, Katedralskolan, Linköping
- Sofia Larsson, Katedralskolan, Lund
- Erik Hartman, Katedralskolan, Lund
- Zuzanna Bednarska, Katedralskolan, Linköping
- David Hambraeus, Lugnetgymnasiet, Falun (läs mer om Davids projekt på sidan X)
- Noa Vikman, Kungsholmens gymnasium, Stockholm
- Pontus Johansson, Fredrika Bremergymnasiet, Haninge
- Alex Hamben, Viktor Rydberg gymnasium Odenplan, Stockholm
- Gustaf Siden, Viktor Rydberg gymnasium Odenplan, Stockholm
- Marve Grönblad Veteranen, Viktor Rydberg gymnasium Odenplan, Stockholm

– Utställningen syftar till att lyfta fram och skapa förutsättningar för unga talanger inom naturvetenskap, teknik och matematik. Det är viktigt att unga uppmuntras och får möjlighet att vara

med och påverka och driva utvecklingen framåt för att vi ska kunna säkra framtida kompetensförsörjning, säger Anna Hedlund, generalsekreterare, Unga Forskare.



Unga forskare

Utställningen Unga Forskare är både en rikstäckande tävling och en mötesplats där unga kan utbyta erfarenheter, kunskap och kontakter. Utställningen har i år slagit rekord med över 500 anmälda deltagare och bland dem har nästan 400 gått vidare och fått chans att ställa ut på någon av våra nio semifinaler runtom i Sverige. Därifrån har 55 projekt gått vidare till final. Längs

med alla tävlingsmoment har projekten bedömts av jurygrupper med forskare från akademien och specialister från näringslivet. Gymnasisterna tävlar om att få bli Sveriges representanter i internationella tävlingar och priser till ett värde av 500 000 kr delas ut.

Sveriges unga forskningslandslag utses på finalen av Utställningen Unga Forskare.

Många besökare vid Tekniska museet i Stockholm stannade upp vid Unga Forskares utställning med 55 finalprojekt.

Nedre bilden till vänster: Måns Hemberg och Paulina Ibek från Polhemsskolan i Lund presenterade ett projekt där de försökte lösa världens energiproblem med hjälp av kylskåpsmagneter.

Nedre bilden till höger: David Hambraeus från Lugnetgymnasium i Falun berättar om sitt kryptografiprojekt. (Läs mer sidan 27)

Omöjligt att knäcka utan att bryta mot fysikens lagar, berättar David Hambræus, finalist i Unga forskare-finalen

David Hambræus gymnasieprojektarbete **“A Verifiable Quantum Secret Sharing Protocol Without Quantum Memory”** imponerade på forskarjuryn. Juryns motivering: En välskriven rapport som visar på hög kunskap inom området. Utställaren har arbetat självständigt och uppnått en stor vetenskaplighet trots ett komplext problem, och blir ett av de projekt som får representera Sverige internationellt under 2018.

David Hambræus har tidigare representerat Sverige vid fysikolympiaden i Indonesien 2017 och fanns nu med i Unga forskares finalutställning med sitt gymnasieprojekt. Fysikaktuellt fick ett samtal under finalutställningen på Tekniska museet i Stockholm.

Vad är det för tävling du kommer att representera Sverige i?

– Tävlingen heter *China Adolescents Science and Technology Innovation*

Contest (CASTIC) och går av stapeln den 14-20 augusti 2018 i Chongqing, en liten stad med sisådär 30 miljoner invånare, berättar David.

Vad går tävlingen ut på?

– Väl där ska vi presentera våra projekt för en jury som ska välja ut de bästa, säger David och fortsätter. Jag har ingen aning om vad det finns för priser så vi får helt enkelt vänta och se. Jag förväntar mig dock inte att vinna något utan åker mest dit för att det verkar kul. Just nu (i april) har vi inte fått så mycket information. Förra året var det fler än 500 deltagare från ca 20 länder som deltog.

Hur känns det att få åka till Kina?

– Det verkar väldigt spännande, berättar David. Det känns lite nervöst, men framförallt är jag förväntansfull.

– Jag tror att det kommer att bli väldigt roligt, både att få se kulturen i Kina och att få träffa alla andra deltagare och lyssna på deras projekt.

Vad är kvantkryptografi egentligen?

– Kvantkryptografi är egentligen en förening av klassisk kryptografi med kvantmekanik, säger David.

David ger en supersnabb sammanfattning.

– De antagande kvantdatorerna innebär att den krypteringsteknik vi förlitar oss på i dagens samhälle inte längre håller för de förbättrade algoritmer som möjliggörs av dessa teknologiska under, berättar David. Mitt projekt går ut på att avhjälpa detta genom att utveckla nya krypteringsprotokoll som, genom att använda kvantmekaniska principer, kan garantera säkerhet. De kan göras så pass säkra att de är omöjliga att knäcka utan att bryta mot fysikens lagar.

Hur fick du egentligen idén till det här projektet?

– Jag deltog i en sommarforsarskola vid Stockholms universitet under 2017, efter åk 2 i gymnasiet, och då bollade jag kvantfysik ur olika aspekter med några av forskarna där.

Fysikaktuellt vill veta mer och David berättar om sitt gymnasiearbete ”kvantkryptografi”, en verifierbar hemlighetsdelning. (Läs Davids text nästa sida)

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT

Kvantkryptografi, en verifierbar hemlighetsdelning

Kvantdatorn och dess konsekvenser

En kvantdator är en ny slags dator som använder sig av kvantmekaniska principer för att lösa vissa typer av problem snabbare än en vanlig dator. Ett av dessa är att faktorisera stora tal. Detta är problematiskt då dagens krypteringsmetoder förlitar sig på att det är lätt för en dator att multiplicera två stora tal men givet ett stort tal är det svårt hitta dess faktorer. Denna typ av kryptering, som kallas RSA-kryptering, används i allt från banköverföringar till säker kommunikation och ett sätt att lätt knäcka den skulle vara katastrofalt för samhället.

Kvantkryptografi

Kvantkryptografi är en lösning på problemet kvantdatorernas ankomst skapar. Kvantkryptografi handlar helt enkelt om att utnyttja samma kvantmekaniska principer som kvantdatorerna använder för att skicka information på ett säkert sätt. Det som är så bra med kvantkryptografiska protokoll är att de kan göras ovillkorligt säkra – de är omöjliga att knäcka utan att bryta mot fysikens lagar, något som fysiken minsann ej tänker tillåta.

Mitt arbete

Det jag har gjort är att jag har tittat på ett speciellt slags kryptografiskt protokoll som kallas verifierbar hemlighetsdelning. Hemlighetsdelning är en teknik för att skydda information genom att dela upp nyckeln som behövs för att dekryptera informationen på flera parter. En nyckeldel är alltså inte tillräckligt för att läsa informationen; flera nyckeldelar krävs. Detta kan vara bra



för till exempel en bank som ej vill att någon ska kunna gå in i valvet själv. Genom att kräva två nyckeldelar blir det mycket svårare för en bankman att begå bedrägeri. Att protokollet är verifierbart betyder helt enkelt att parterna har ett sätt att verifiera ett ingen har givit en inkorrekt nyckeldel.

År 2016 publicerade Qin et. al. en artikel där han föreslog ett protokoll för kvantmekanisk verifierbar hemlighetsdelning. Detta protokoll kräver dock kvantminne, något som inte finns idag. I min artikel har jag beskrivit Qins protokoll, mycket av den kvantmekanik och kryptografi som krävs för att förstå det och de problem som finns med det. Jag har också föreslagit ändringar som löser dessa

problem och gör protokollet praktiskt utförbart med dagens teknik. Detta är bara ett steg i den enorma processen att göra kvantkryptografiska versioner av alla de kryptografiska protokoll som vi har idag, men det är ett steg i rätt riktning. Kvantdatorerna är närmre än vi tror och innan de är alltför kraftfulla måste vårt krypteringssystem förnyas.

DAVID HAMBÆUS

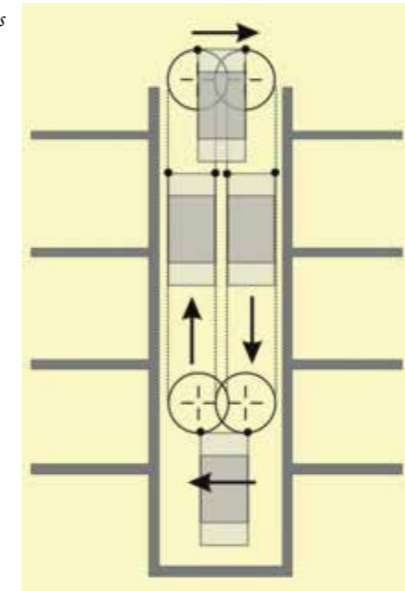


Katarinahissen i Stockholm, ca 1910.
Bild: Wikimedia Commons.

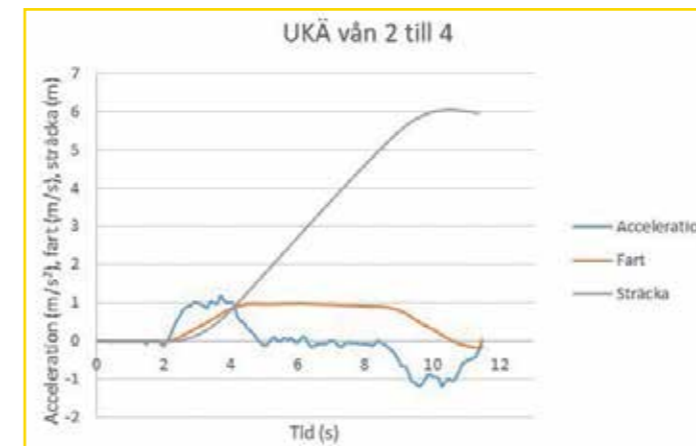
Figur 1. Paternosterhiss från 1953 i HSB:s stockholmskontor. Den har 14 korgar och renoverades 2016. Till vänster syns en principskiss och till höger är författaren på väg upp.



Figur 2: Besiktningsskylt för hiss som visar giltighetstiden.



Figur 3: Vid en hissfärd hos UKÄ från vån 2 till vån 4 mättes accelerationen med hjälp av gratisappen "Acceleration". Färden tog knappt 10 s, accelerationen låg runt $\pm 1 \text{ m/s}^2$, högsta farten runt 1 m/s och den tillryggalagda sträckan blev omkring 6 m.



Säkerhet

När en hiss felanmäls är det i nio fall av tio dörrfel i form av dörrkontakt, lås eller skeva gångjärn. Hissar som transporterar personer i bostadshus ska besiktas årligen. Fastighetsägaren är skyldig enligt lag att se till att besiktning sker i tid. I varje hiss ska det finnas en giltig och väl synlig besiktningsskylt (Figur 2). År 2011 besiktigades enligt Boverket 115 000 personhissar. Då underkändes cirka en tredjedel, samt fanns det cirka 10 procent obesiktigade. I Sverige finns åtta, av Swedac, auktoriserade besiktningföretag. Det europeiska Hissdirektivet 2014/33/EU anger de grundläggande hälso- och säkerhetskraven, samt hur proceduren för godkännande skall ske för nästan alla hissars avsedda för persontran-

sport. Hissdirektivet införlivades i Sverige genom Boverkets författningssamling BFS 2011:12 H12 och uppdaterades genom BFS 2016:2 H16). Även hissars åldras och uppskattningsvis är över hälften av alla hissars i Sverige mer än 25 år gamla. Äldre hissars uppfyller inte samma säkerhetskrav som nyare och Boverkets föreskrift H16 innebär att vid modernisering måste säkerheten höjas till en godkänd nivå. Där skrivs bl.a. om korgöppning och korgdörr, permanent tvåvägs kommunikationssystem (ofta GSM) och nödbelysning vid strömavbrott, där de senare ska ha back-up för en timmes förbrukning. Vidare anges stoppnoggrannhet och planhållning ($\pm 15 \text{ mm}$) samt ställs krav på räddningsutrymmen.

Varje hiss har en hastighetsregulator, ibland av centrifugaltyp. Om farten blir för hög åker armar utåt och triggar en anordning, som bromsar hissen. En överlastanordning och slaklinekontakt övervakar belastningen, så att den aldrig blir för stor, samt att linorna inte blir för slaka exempelvis vid utsträckning. En hissfärd Med hjälp av en mobilapp kan accelerationen vid en hissfärd mätas (figur 3). Data kan exporteras till Excel och med numerisk integrering i två konsekutiva steg erhålls fart respektive sträcka. Typiska värden på farten för en personhiss i ett bostadshus är $1 - 2 \text{ m/s}$, kommersiell hiss 3 m/s och snabbhiss i höga byggnader över 10 m/s .

Hissnande fakta

Olika lyftordningar har funnits länge, exempelvis de som lyfte stenblock till pyramiderna i Egypten och i gruvor fanns motsvarande behov. Dock var det riskfyllt att lyfta/hissa människor. Elisha Otis visade 1854 i New York en uppfinning som blev banbrytande. Publiken fick se honom hissas upp på en plattform som hade bladfjädrar med spärrhakar, vilka gled i tandade banor vid sidorna. När repet som höll plattformen högs av, utvidgade sig bladfjädern och hakarna grep då tag i tandningen och stoppade plattformen. Tre år senare installerade Otis den första "säkerhethissen" för personbefordran i porslinsvaruhuset Haughwout & Co i New York.

Otis uppfinning förändrade stadsbildens radikalt för nu kunde allt högre hus byggas. Den första personhissen i Sverige var troligen den ångdrivna hissen på Grand Hotel i Stockholm från 1881. Den första publika personhissen var Katarinahissen vid Slussen i Stockholm (se fotot ovan) som invigdes av kronprins Gustav 1883. Redan efter första året hade den haft nästan en miljon trafikanter. Den bestod av

ett 35 meter högt hisstorn med två hiss-korgar. I hiss-korgarna fanns det plats för 12 personer plus konduktören, som åkte med i hissen på varje resa. Hastigheten var $0,8 \text{ m/s}$ och hela resan tog 45 s. I mer än 30 år drevs den med ånga men ersattes 1915 med ett eldrivet system. När nya Slussen invigdes 1935 kom den nya Katarinahissen, som var i bruk ända fram till 2011.

Vanliga hisstyper

I äldre hus är linhissen, med eller utan motvikt, den vanligaste. Den bygger på friktion mellan linorna och ett linhjul. De flesta linhissarna har en motvikt, så att elmotorn inte behöver lyfta så stor massa (jfr Atwoods fallmaskin). Balanseringen bör vara 50/50 med halv last i hiss-korgen. Motorn behöver då aldrig lyfta mer än halv last och bromsarna behöver inte vara så effektiva, vilket ger liten genomsnittlig energiförbrukning. Gemensamt för de flesta linhissar är att de kräver en djup hiss-grop (ca $1,2 \text{ m}$) och att de kräver stort utrymme, både vad gäller schaktarea och topphöjd på översta plan. Dessutom kräver linhissarna ofta ett separat maskinrum vid sidan om

schaktet. Är schaktet trångt kan linorna (vajerarna) lindas upp på hissmaskinens lintrumma, en s.k. trumhiss. I en hydraulhiss lyfts korgen med hjälp av en hydraulcylinder som står på schaktbotten. Där finns också en oljetank, en motordriven pump och en elektromagnetiskt styrd ventil. Den har ingen motvikt och drar därför mer energi. Den har lägre hastighet, cirka $0,6 \text{ m/s}$, och begränsad lyfthöjd på upp till 8 plan. Hän-syn måste tas till att oljans viskositet varierar mycket med temperaturen. En kedjedriven hiss "klättrar" på kedjor eller på en kuggstång i schaktet och i skruvhissen "skruvas" korgen upp och ned med hjälp av en mutter monterad i schaktet, vilken drivs av en motor monterad på korgen/plattformen.

Ovanlig hisstyp

Paternosterhissen är avsedd för personbefordran. Den första installerades i London 1884. Namnet kommer från likheten med ett radband, något som bl.a. används av katoliker för bönen "pater noster" (Fader vår). Hissen består av ett system med dörrlösa hiss-korgar upphängda vid ett ändlöst kättingsystem, så anordnat, att hiss-korgarna befinner sig i oavbruten gång nedåt i schaktets ena hälft och uppåt i den andra hälften (Figur 1). Man får stiga på och av i farten. Ovanför översta våningen och under nedersta våningen finns maskinrum där korgarna parallell-förflyttas mellan hiss-chakten. Man bör inte åka med runt, eftersom hiss-korgen är mycket instabil i vändlägena. Fördelen med denna hisstyp är hög kapacitet tack vare de många hiss-korgarna per schakt, vilket ger kortare väntetid. Nackdelen är att kedjorna måste infettas för att inte rassa och fettets samlar damm. Man kan också bli klämd om man tappar balansen.

Energiförbrukning

En enkel uppskattning av hur mycket energi en hiss förbrukar under ett år kan se ut som följer. Hissen där författaren bor rymmer 3 personer som antas väga 75 kg var. Huset har 6 våningar och om man antar att en genomsnittlig resa innebär 10 m upp och 10 m ner åtgår energin $3 \cdot 75 \cdot 10 \cdot 20 = 45\,000\text{ J}$. I uppgången bor 30 personer och om dessa gör 5 resor per dag i 365 dagar får vi $82\,125\,000\text{ J}$. Lägger vi till massan av hisskorgen, värmeförluster och andra förluster genom att öka energiförbrukningen med en faktor 3 får vi $2\,463\,750\,000\text{ J} \approx 680\text{ kWh}$.

Hur mycket tål hisslinorna?

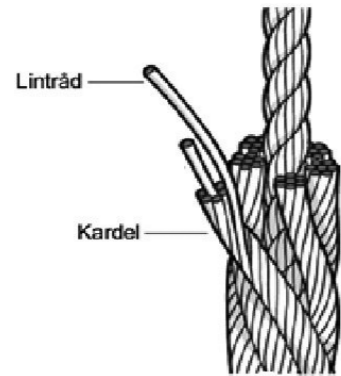
En vertikalt upphängd tråds maximala längd L , innan den brister under sin egen tyngd, ges av $L = \sigma / \rho g$, där σ = brottgränsen (kraft per areaenhet), ρ = densiteten och g = tyngdaccelerationen, vilken antas konstant. En tråd av stål med densitet $7\,800\text{ kg/m}^3$ och brottgräns $1\,500\text{ MPa}$, kan som längst bli 20 km innan den brister.

En hisslina är uppbyggd av individuella trådar, sammanslagna till en kardel. Ett antal kardeler är sedan slagna runt en central kärna till en färdig hisslina (Figur 4). Den tål betydligt större last än en enskild lintråd.

Enligt en branschkundig kan man i maskinrummet starta hissen och hålla en träpinne mot hisslinan allteftersom den rullas på eller av. Trasiga lintrådar känns och hörs, eftersom pinnen rycker till vid passagen. För stort antal trasiga lintrådar leder till underkänt vid besiktning.

Ju längre hisslinan blir desto större andel utgör den av hissens rörliga massa. Därmed finns en gräns för hur mycket längden kan ökas. Skyskrapan Burj Khalifa i Dubai mäter visserligen 828 m, men hissarna som har ställinor klarar bara 460 m, så utsiktsplattformen hamnade på 124 våningen. Sista biten till våning 162 klaras med en annan hiss. Har hissen motvikt måste balansvikter hängas mellan motvikt och korg, så att när hissen är längst ner, hänger balansvikterna under motvikten och vice versa.

Skulle hisslinorna gå av och alla säker-



Figur 4: En hisslina har en kärna av bampa, nylon eller stål, runt vilken lintrådar är sammanslagna till kardeler, vilka i sin tur är slagna till en hisslina.

hetsanordningar fallera, lönar det sig inte att hoppa upp precis innan hissen slår i schaktbotten. Den lilla fartminskning du kan åstadkomma är försumbar jämfört med hisskorgens fart.

Risken för en sådan olycka är mycket liten och hiss är ett mycket säkert transportsätt. Hissnormerna ställer bl.a. krav på linans brottgräns och töjning. Branschen uttrycker det som att en hisslina ska ha en bärförmåga minst motsvarande tolv gånger hisskorgen med full last. En typisk hisslina töjer sig cirka 10 mm per våning ($\approx 0,3\%$).

Som ersättning för ställinor har hiss-företaget Kone utvecklat UltraRope. Den har kolfiberkärna och kol har starka bindningar i förhållande till sin atommassa. UltraRope har högfriktionsbeläggning och behöver inte smörjas. Den väger 1/5 av en motsvarande ställina, töjs knappt och sägs ha dubbla livslängden. För en 500 m hiss minskar den rörliga massan med nära 60 procent, vilket också minskar energiförbrukningen. UltraRope möjliggör hissar som har en lyfthöjd uppemot 1 000 m.

Allt högre

Sveriges högsta hiss finns (maj 2018) i den 54 våningar höga Turning Torso i Malmö. Där går hissarna med farten 5 m/s och de 190 meterna tar cirka 40 s.

Något snabbare är hissarna i det 155 meter höga Kaknästornet i Stockholm.

De fraktar besökare till utsiktsplanet med en fart av 6 m/s på en halv minut.

Den (maj 2018) snabbaste hissen i världen finns i Shanghai Tower. Där färdas man med tvåvåningshissar till utsiktsplanet på våning 119 med upp till 18 m/s på under en minut.

Karlatornet i Göteborg ska bli 245 meter och hissarna kommer att dra fördel av UltraRope-tekniken.

Jeddah Tower i Saudiarabien planeras bli över 1 000 meter högt och bli färdigt 2020. Där projekteras, tack vare UltraRope, för en lyfthöjd på 660 meter. Med tvåvåningshissar förs man med 10 m/s till utsiktsplanet. Boende i tornet planeras kunna kalla på hissen med sin mobil.

Höga byggnader kan börja svaja blåsigas dagar, vilket påverkar hisschaktet och kan sätta hisslinorna i egensvängning, vilket kan orsaka driftstopp. Problemet minskar med UltraRope vars kolfiber har resonans vid en helt annan frekvens än en ställina.

Framtiden

Genom att samla in data från hissens olika sensorer kan driftsservice underlättas och onödiga uttryckningar undvikas. Det finns redan system som kan förutse trafikmönster och automatiskt skicka hissarna till rätt våning. Kone tar detta till en ny nivå, när man kopplar upp alla sina hissar mot internet, dvs. varje hiss är en sak på sakernas internet (IoT). Hissarna skickar kontinuerligt sensoruppdateringar, och IBM:s AI-lösning Watson analyserar sedan data i realtid. Därigenom kan exempelvis en bedömning göras om något måste åtgärdas, kanske redan innan ett fel inträffar.

Det finns också linfria hissar. I det nya hangarfartyget USS Ford, har man elektromagnetiska hissar för att lyfta upp flygplanen på däck. Motorn är en synkron linjärmotor, där statorn är placerad längs hissbanan. Istället för att ge ett vridande moment, erhålls en vertikal kraft längs statorn. Det är samma framdrivningsprincip som hos Maglevtåget Transrapid.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM
STOCKHOLMS UNIVERSITET



Bild 1a

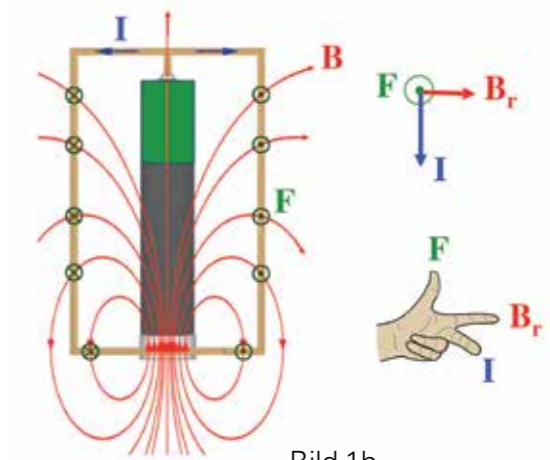


Bild 1b

Homopolära motorer

År 1821 fick Michael Faraday en metalltråd att rotera runt en magnet i en kopp med kvicksilver genom att skicka en elektrisk ström genom tråden. Trådens magnetiska fält växelverkade med det från magneten så att en kraft uppstod på tråden. Världens första elektriska motor var uppfunnen. Den var av typ homopolär motor, d v s ledarens elektriska polaritet och magnetfältet är konstanta, varför ingen kommutator behövdes.



Bild 2

I figur 1a visar jag en prototyp av homopolär motor. En neodymiummagnet är placerad på pluspolen av ett cirkulärt batteri. En lättrorlig metalltråd leder strömmen mellan polerna och snurrar runt batteriet. I figur 1b visar jag funktionen. Uppförandet kan förklaras med lorentzkraften, som upptäcktes 30 år efter Faradays död. Lagen säger att kraften är proportionell mot dess hastighet och det externa magnetfältet. Geometrin ges av den s k högerhandsregeln (HHR) på bild 1b. Mer insikt får vi genom att först med HHR ta fram magnetfältet kring tråden. Därefter härleder vi kraften på tråden från detta fältets växelverkan med magnetens fält, återigen med HHR. Det är viktigt att inse att vi då använder HHR i ett par för att erhålla verkan av kraften på tråden. Vi kan därför lika gärna använda en vänsterhandsregel! Magnetfältets riktningar blir visserligen omkastade men det är bara en konvention. Troligtvis har vi



Bild 3

valt HHR därför att de flesta personer är högerhänta.

Under senare år har en mängd varianter av enkla homopolära motorer presenterats, varav jag visar två på bild 2 och 3. I variant 3 är neodymiummagneter fästade på batteriets poler och anordningen ligger på en aluminiumfolie. Om de två magneterna är olika stora kommer "bilen" att gå i en cirkel på folien. Observera att det inte är "hjul" som driver fram farkosten utan lorentzkraften på batteriet. Det är viktigt att aluminiumfolien är tunn, så att inte virvelströmmarna bromsar rörelsen.

Alla motorerna fungerar bara några minuter. Ett 1,5 volts batteri har typiskt en inre resistans på $0,15\ \Omega$ varför strömmen från det i princip kortslutna batteriet är kring 10 A. Batteriets kapacitet kan uppskattas till 0,5 Ah, vilket således ger en livslängd på 3 minuter. Man kan använda laddningsbara batterier om man gör experimentet ofta.

Många nya konfigurationer lurar kring hörnet, så sätt igång och experimentera! Om du vill fördjupa dig i teorin för exempel 1 ovan, kan du konsultera publikationen Facta Universitatis, Ser: Elec. Energ, vol. 24, no. 2, August 2011, p. 221-242, som du också kan erhålla från mig.

PER-OLOF NILSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

FRAMTIDENS LABORATIVA LÄROMEDEL

SPARK LX & LXi

Nästa generation datalogger!



Koppla både trådlösa sensorer och **PASPORT**-sensorer direkt till SPARK LX & LXi.

www.gammadata.net

VÅRKAMPANJ



Frederiksen
Passion for science

Om vårkampanjbroschyren inte hamnat på ditt skrivbord, kontakta **Gammadata Education** för utskick.

Corporate Headquarters
Sweden
+46 18 56 68 00

Gammadata Instrument AB
Box 2034
750 02 UPPSALA

www.gammadata.se
info@gammadata.se

Sweden
+46 18 56 68 00

Finland
+358 40 773 1100

Norway
+47 330 96 330

Webshop
www.gammadata.net