De gav oss ny syn på vår plats i universum

Nobelpriset i fysik 2019 belönar ny förståelse av universums uppbyggnad och historia samt den första upptäckten av en planet i bana kring en solliknande stjärna utanför vårt solsystem. Årets pristagare har bidragit till att besvara några av mänsklighetens frågor kring vår existens. Vad hände i universums tidiga barndom och vad kom sedan? Kan det finnas andra planeter därute vid andra solar än vår?

James Peebles tog sig an hela världsalltet, med alla dess miljarder galaxer och galaxhopar. Hans teoretiska ramverk, som han utvecklat under två decennier från mitten av 1960-talet, ligger till grund för vår tids bild av universums historia från big bang ända in i våra dagar. Peebles upptäckter har lett till fördjupade insikter om vår kosmiska omgivning där den kända materien utgör bara ynka fem procent av all materia och energi som universum innehåller. Resten, 95 procent, är dold för våra ögon. Det är ett mysterium och en utmaning för den moderna fysiken.

Michel Mayor och **Didier Queloz** har utforskat vår hemgalax Vintergatan på jakt efter okända planeter. År 1995 gjorde Mayor och Queloz den allra första upptäckten av en planet utanför vårt solsystem, en exoplanet, som kretsar kring en solliknande stjärna. Upptäckten utmanade vår bild av dessa främmande världar och ledde till en revolution inom astronomin. De i dag drygt 4 000 kända exoplaneterna överraskar med sin rikedom av former samtidigt som de flesta av de nyfunna planetsystemen inte ser ut som vårt eget med solen och dess planetfölje. Upptäckterna har fått forskarna att skapa nya teorier om de fysikaliska processer som ligger bakom planeternas tillblivelse.

Bigbangkosmologin får sin början

De senaste fem decennierna har inneburit en guldålder för kosmologin, läran om universums begynnelse och utveckling. På 1960-talet lades grunden till att kosmologin skulle kliva över tröskeln från spekulationer om världsalltet till att bli vetenskap. Nyckelpersonen för denna övergång var James Peebles som med sina avgörande upptäckter placerade kosmologin på vetenskapens karta. Hans idéer befruktade hela forskningsfältet och med sin första bok *Physical Cosmology* från 1971 inspirerade han en hel generation fysiker till att bidra till ämnets utveckling inte bara genom teoretiska överväganden, utan även med observationer och mätningar. Vetenskapen och inget annat skulle besvara de eviga frågorna om varifrån vi kommer och vart vi är på väg, kosmologin befriades från mänskliga begrepp som tro och mening. Här ekar Albert Einsteins ord från början av förra seklet om att det förbluffande med världen är att den är begriplig.

Universum har fått sin historia, en vetenskaplig berättelse om världsalltets evolution, under bara de senaste hundra åren. Innan dess hade det betraktats som stillastående och evigt. Men på 1920-talet upptäckte astronomerna att alla galaxer rör sig bort från varandra och bort från oss. Universum växer. Numera vet vi att universum i dag skiljer sig från hur det var i går och att det kommer att vara annorlunda i morgon.

Nobelpriset® är av Nobelstiftelsen registrerat varumärke.

Vad astronomerna såg på himlen hade redan tidigare uppenbarat sig i Albert Einsteins allmänna relativitetsteori från 1916, den som i dag utgör grunden för alla storskaliga beräkningar för universum. När Einstein upptäckte att teorin ledde till slutsatsen att världsalltet kollapsar, stoppade han in en konstant i sina ekvationer (den kosmologiska konstanten), som skulle motverka gravitationens samlande kraft och få universum att stå stilla. När expansionen väl hade observerats drygt ett decennium senare behövdes inte konstanten längre, och Einstein såg den som sitt livs största misstag. Föga kunde han ana att den kosmologiska konstanten skulle göra en praktfull återkomst i kosmologin på 1980-talet. Inte minst genom James Peebles insatser.

Universums första strålar avslöjar allt

Att världsalltet expanderar innebär att om man vänder blicken tillbaka så var universum tidigare mycket tätare och hetare. Själva födelsen döptes i mitten av 1900-talet till big bang. Ingen vet hur det egentligen gick till i själva starten. Men i det tidiga universum var rymden fylld av en kompakt, het och ogenomskinlig partikelsoppa där ljuspartiklar, fotoner, bara studsade runt.

Det dröjde nästan 400 000 år innan expansionen hade kylt ner denna ursoppa till några tusen grader. De ursprungliga partiklarna kunde slå sig samman och bilda en genomskinlig gas som bestod av främst väte- och heliumatomer. Fotonerna började nu röra sig fritt och ljus kunde ostört färdas genom rymden. Dessa första kosmiska ljusstrålar fyller världsalltet än i dag. Rymdens expansion sträckte ut de från början synliga ljusvågorna så att de hamnade i det osynliga mikrovågsområdet med några millimeters våglängd.

Detta återsken från universums tillblivelse fångades för första gången av en slump 1964 av två amerikanska radioastronomer, Arno Penzias och Robert Wilson (Nobelpristagare i fysik 1978). Penzias och Wilson kunde inte bli av med det konstanta ”bruset” som deras antenn tog emot från alla håll i rymden. Förklaringen fick de söka hos andra forskare, bland andra James Peebles, som gjort teoretiska beräkningar av denna allestädes närvarande bakgrundsstrålning. Dess temperatur har nu efter nästan 14 miljarder år sjunkit till nära den absoluta nollpunkten (–273°C). Det stora genombrottet kom när Peebles insåg att det utifrån strålningens temperatur går att sluta sig till hur mycket materia som skapades vid big bang, och förstod att ljusets frigörelse spelade en avgörande roll för hur materia senare kunde klumpa ihop sig till de galaxer och galaxhopar som vi nu ser ute i rymden.

Upptäckten av mikrovågsstrålningen öppnade en ny era för den moderna kosmologin. Den urgamla strålningen från universums barndom har blivit en guldgruva som innehåller svar på nästan allt som kosmologerna vill veta. Hur gammalt är universum? Vad blir dess öde? Hur mycket materia och energi finns det?

I den kalla efterglöden kan forskarna hitta avtryck från universums allra första ögonblick, minimala ojämnheter som fortplantats i form av ljudvågor genom den tidiga ursoppan. Utan dessa små variationer skulle världsalltet ha svalnat från ett hett eldklot till ett kallt och uniformt tomrum. Vi vet att det inte är så, att rymden är fylld av galaxer oftast samlade i galaxhopar. Bakgrundsstrålningen är slät på samma sätt som havsytan är jämn, först på nära håll syns vågorna, krusningar som avslöjar variationer i det tidiga universum.

Gång efter gång har James Peebles varit ledande i att tolka dessa fossila avtryck från universums tidigaste epoker. Med förbluffande träffsäkerhet kunde kosmologerna förutsäga variationer i bakgrundsstrålningen och visa på hur de samverkar med universums innehåll av materia och energi.

Det första stora observationella genombrottet kom i april 1992. Då kunde projektledarna för den amerikanska COBE-satelliten visa upp bilden av universums första ljusstrålar (Nobelpriset i fysik 2006 till John Mather och George Smoot). Ytterligare satelliter, den amerikanska WMAP och europeiska Planck, förfinade så småningom detta porträtt av universum som ungt. Exakt som förväntat varierade bakgrundsstrålningens annars så jämna temperatur med en hundratusendels grad. Med allt större precision bekräftades de teoretiska beräkningarna av universums innehåll av materia och energi där det mesta, 95 procent, är osynligt för oss.

Mörk materia och mörk energi – kosmologins största mysterier

Att allt som syns inte är allt som finns hade varit känt sedan 1930-talet. Mätningar av galaxernas rotationshastigheter pekade på att galaxerna måste hållas ihop av gravitationen från osynlig materia, annars skulle de slitas isär. Nu skulle denna mörka materia även ha spelat en viktig roll för uppkomsten av galaxer långt innan ursoppan släppte greppet om fotonerna.

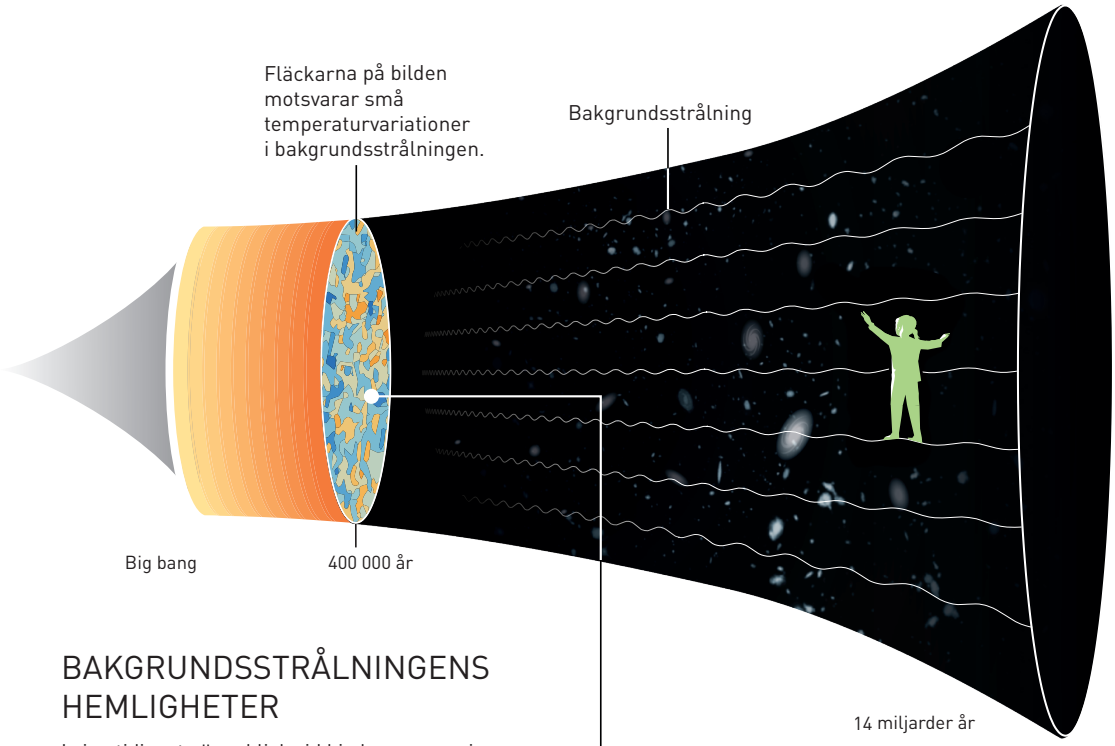
Vad den mörka materien är för något hör fortfarande till kosmologins största gåtor. Länge trodde forskarna att de redan kända neutrinerna kunde utgöra den mörka materien. Men de lätta neutrinerna, som i ofantliga mängder korsar rymden med en hastighet nära ljusets, är alldeles för snabba för att kunna hjälpa till att hålla ihop materien. Däremot skulle tunga och långsamma partiklar av kall mörk materia kunna göra jobbet, föreslog Peebles 1982. Jakten pågår fortfarande på dessa osynliga partiklar av kall mörk materia som ytterst ogärna växelverkar med den redan kända materien och som fyller kosmos till 26 procent.

Enligt Einsteins allmänna relativitetsteori är rymdens geometriska form sammanbunden med gravitationen – ju mer massa och energi universum innehåller, desto mer krökt blir rymden. Vid ett kritiskt värde för mass- och energiinnehåll saknar universum krökning. I ett sådant universum kommer två parallella linjer aldrig att korsa varandra, det brukar då kallas för platt. Två andra möjligheter är ett universum med för lite materia vilket leder till ett öppet universum, där linjer som är parallella så småningom kommer att avlägsna sig från varandra; och ett slutet universum med för mycket materieinnehåll, där linjerna till sist kommer att korsas.

Mätningar av den kosmiska bakgrundsstrålningen, liksom teoretiska överväganden, lämnar ett tydligt svar – universum är platt. Men materieinnehållet räcker bara till 31 procent av det kritiska värdet, varav 5 procent är vanlig materia och 26 procent mörk. Det mesta, hela 69 procent, fattas. James Peebles kom återigen med en radikal lösning. År 1984 bidrog han till att återuppliva Einsteins kosmologiska konstant som utgör den tomma rymdens energi. Den har senare döpts till mörk energi och fyller världsrymden till 69 procent. Tillsammans med kall mörk materia och den vanliga materien räcker den alltså till att stödja uppfattningen om ett platt universum.

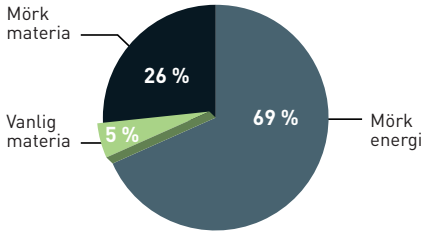
I 14 år förblev den mörka energin bara teorins skapelse, ända tills universums accelererande expansion upptäcktes 1998 (Nobelpriset i fysik 2011 till Saul Perlmutter, Brian Schmidt och Adam Riess). Något annat än materia måste ligga bakom den allt snabbare expansionen. En okänd mörk energi knuffar på. Plötsligt blev det teoretiska tillägget en verklighet som kunde observeras på himlen.

Både den mörka materien och den mörka energin hör numera till kosmologins allra största gåtor. De ger sig till känna bara genom sin inverkan på omgivningen – den ena drar ihop, den andra pressar på. För övrigt är inte mycket känt om dem. Vilka hemligheter finns gömda i denna universums mörka sida? Vilken ny fysik döljer sig bakom det okända? Vad kommer vi mer att upptäcka i försöken att röja rymdens mysterier?



BAKGRUNDSSTRÅLNINGENS HEMLIGHETER

I sina tidigaste ögonblick vid big bang var universum extremt hett och tätt. Sedan dess har det expanderat och blivit allt större och allt kallare. Knappt 400 000 år efter big bang började värmestrålar från den allra första tiden färdas genom rymden. Denna bakgrundsstrålning fyller världsalltet än i dag, och inkodade i den döljer sig många av universums hemligheter. James Peebles kunde med sina teoretiska modeller tidigt förutsäga universums form samt dess innehåll av materia och energi (kurvan nedan). Hans beräkningar stämde väl med senare mätningar av bakgrundsstrålningen.



1. Den första vågtoppen visar att universum är geometriskt platt, d.v.s. sådant där två parallella linjer aldrig kommer att mötas.
2. Den andra vågtoppen talar om att vanlig materia bara utgör 5 % av universums materie- och energiinnehåll.
3. Den tredje vågtoppen pekar mot att universum innehåller 26 % mörk materia.

Ur dessa tre vågtoppar kommer också slutsatsen att om universum innehåller totalt 31 % (5 %+26 %) materia så krävs det 69 % mörk energi för att uppfylla kravet att det ska vara platt.

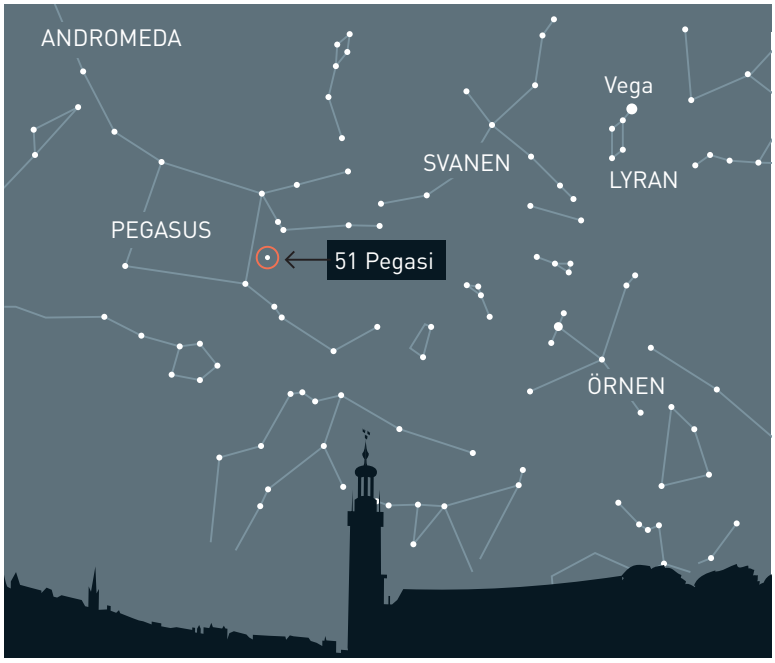
Första planeten kring en annan sol

De flesta kosmologer är numera överens om att bigbangmodellen är en riktig berättelse om världsalltets början och utveckling, trots att bara fem procent av dess innehåll av materia och energi är kända i dag. Denna lilla skärva materia klumpades så småningom ihop till allt vi ser omkring oss – stjärnor, planeter, träd och blommor, och även oss människor. Är vi ensamma om att blicka ut mot världsalltet? Finns det liv någon annanstans i rymden på en planet som kretsar kring en annan sol? Ingen vet. Men numera vet vi att vår sol inte är ensam om sina planeter, och att de flesta av de flera hundra miljarder stjärnorna i Vintergatan bör ha planetföljare. I dag känner astronomerna till över 4 000 exoplaneter. Nya märkliga världar har uppdagats och de flesta av dem liknar inte vårt eget planetsystem. Den första var så underlig att nästan ingen kunde tro att den var sann. Planeten var alldeles för stor för att ligga så nära sin värdstjärna.

Sin sensationella upptäckt tillkännagav Michel Mayor och Didier Queloz på en astronomikonferens i Florens, Italien, den 6 oktober 1995. Det var den första planeten som bevisligen kretsade kring en solliknande stjärna. Planeten, kallad 51 Pegasi b, rör sig med hög fart runt sin stjärna 51 Pegasi, 50 ljusår från jorden. Ett varv tar bara fyra dygn vilket innebär att dess bana ligger tätt inpå stjärnan – bara åtta miljoner kilometer ifrån. Värmen från stjärnan hettar upp planeten till över 1 000°C. Då går det betydligt lugnare till på vår jord som tar sitt ett år långa varv runt solen på 150 miljoner kilometers avstånd.

Den nyupptäckta planeten har också visat sig överraskande stor – ett gasklot jämförbar med solsystemets största gasjätte, Jupiter. Jämfört med jorden har Jupiter 1 300 gånger större volym och väger 300 gånger mer. Enligt dåvarande föreställningar om hur planetsystem blir till borde jupiterstora planeter ha skapats långt från värdstjärnan, och följaktligen ta lång tid på sig att runda den. För Jupiter tar det nästan 12 år att gå ett varv runt solen. Därför var 51 Pegasi b korta omloppstid en total överraskning för exoplanetjägarna. De hade sökt på fel ställe.

Nästan omedelbart efter avslöjandet riktade ett par amerikanska astronomer, Paul Butler och Geoffrey Marcy, sitt teleskop mot stjärnan 51 Pegasi och kunde snart bekräfta Mayor och Queloz banbrytande upptäckt. Redan några månader senare hittade de två nya exoplaneter. Deras korta omloppstider var behändiga för astronomerna som inte behövde vänta i månader eller år för att se en exoplanet runda sin sol.



Stjärnhimlen i Stockholm i oktober. Den första planeten i bana kring en solliknande stjärna som hittades utanför vårt solsystem ligger i stjärnbilden Pegasus. Den kretsar runt stjärnan 51 Pegasi som syns med blotta ögat bara när det är riktigt mörkt. Men de fyra stjärnorna som bildar en kvadrat i Pegasus kan lätt identifieras.

Nu hann de följa planeternas gång varv efter varv. Hur hade de kommit så nära stjärnan? Frågan utmanade den dåvarande teorin om planeternas tillblivelse, och ledde till nya teorier som beskrev hur stora gasbollar skapades i utkanterna av sina solsystem för att sedan i en spiralrörelse migrera inåt mot värdstjärnan.

Förfinade metoder ledde till upptäckten

För att spåra en exoplanet krävs sofistikerade metoder – planeter lyser inte av egen kraft, de bara reflekterar stjärnljuset och detta återsken är så svagt att det drunknar i värdstjärnans glans. Metoden för att hitta en planet som forskargrupperna använder kallas radialhastighetsmetoden. Den mäter värdstjärnans rörelse när den påverkas av tyngdkraften från sin planet. När planeten rör sig i en bana kring sin stjärna, följer även stjärnan en liten bana – båda rör sig kring den gemensamma tyngdpunkten. Från utkiksplatsen på jorden gungar då stjärnan fram och tillbaka i synlinjens riktning.

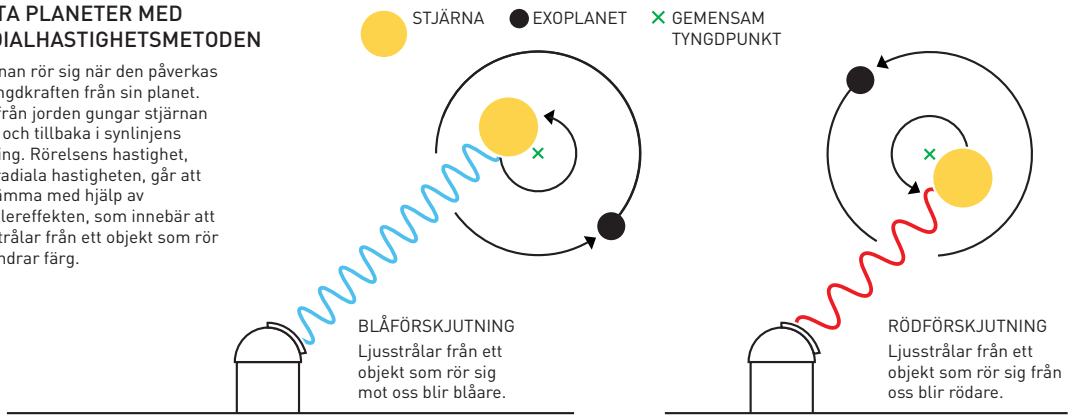
Denna rörelses hastighet, den radiala hastigheten, går att bestämma med hjälp av den välkända Dopplereffekten – ljusstrålar från ett objekt som rör sig mot oss blir blåare, och om objektet rör sig bort från oss blir det rödare. Det är samma effekt som vi hör när ljudet från en ambulans ökar i tonhöjd på väg mot oss och sjunker i tonhöjd när ambulansen passerat.

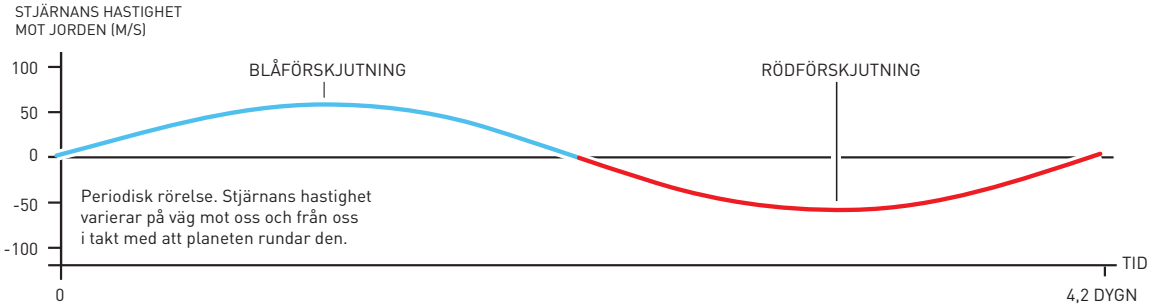
Planeten runt en stjärna får alltså dess ljus att omväxlande ändra färg mot blått eller rött och det är de växlingarna i ljusets våglängd som astronomerna fångar med sina instrument. Färgförskjutningen går att bestämma noggrant med mätningar av stjärnans ljus i olika våglängder, och den ger ett direkt mått på stjärnans hastighet i synlinjen.

Den stora utmaningen är att radialhastigheterna är extremt låga. Till exempel får Jupiters tyngdkraft solen att röra sig med cirka 12 m/s kring solsystemets tyngdpunkt. Jorden bidrar med ynka 0,09 m/s vilket ställer extraordinära krav på upptäckter av jordliknande planeter. För att öka noggrannheten mäter astronomerna flera tusen våglängder samtidigt. Ljuset delas upp i de olika våglängderna med hjälp av en spektrograf, som är hjärtat i mätningarna.

HITTA PLANETER MED RADIALHASTIGHETSMETODEN

Stjärnan rör sig när den påverkas av tyngdkraften från sin planet. Sett från jorden gungar stjärnan fram och tillbaka i synlinjens riktning. Rörelsens hastighet, den radiala hastigheten, går att bestämma med hjälp av Dopplereffekten, som innebär att ljusstrålar från ett objekt som rör sig ändrar färg.





När Didier Queloz började sin forskarbana vid universitetet i Genève i början av 1990-talet hade Michel Mayor redan i många år studerat stjärnornas rörelser. Tillsammans med andra forskare konstruerade Mayor egna mätinstrument. Så kunde han år 1977 montera sin allra första spektrograf på ett teleskop vid Haute-Provenceobservatoriet, 10 mil nordost om Marseille. Med den nådde de en nedre hastighetsgräns på omkring 300 m/s, fortfarande alldeles för hög för att se en planet dra i sin stjärna.

Nu fick doktoranden Didier Queloz i uppgift att tillsammans med forskargruppen utveckla nya metoder för mer precisa mätningar. De utnyttjade flera tekniska framsteg som gjorde det möjligt att snabbt titta på många stjärnor och analysera resultaten på plats. Med optiska fibrer kunde stjärnljuset ledas till spektrografen utan att bli förvrängt på vägen och bättre digitala bildsensorer, CCD, ökade apparatens ljuskänslighet (Nobelpriset i fysik 2009 till Charles Kao, Willard Boyle och George Smith). Med kraftfullare datorer kunde forskarna utveckla skräddarsydda program för digital bildbehandling och databearbetning.

Med den nya spektrografen som blev klar våren 1994 sjönk hastighetsgränsen ner till 10–15 m/s och upptäckten av en första exoplanet stod för dörren. Vid den tiden låg inte sökande efter exoplaneter i astronomins huvudfåra. Men Mayor och Queloz hade bestämt sig för att offentliggöra sin upptäckt. I flera månader hade de nagelfarit resultaten, och i oktober 1995 var de redo att visa upp sin planet för världen.

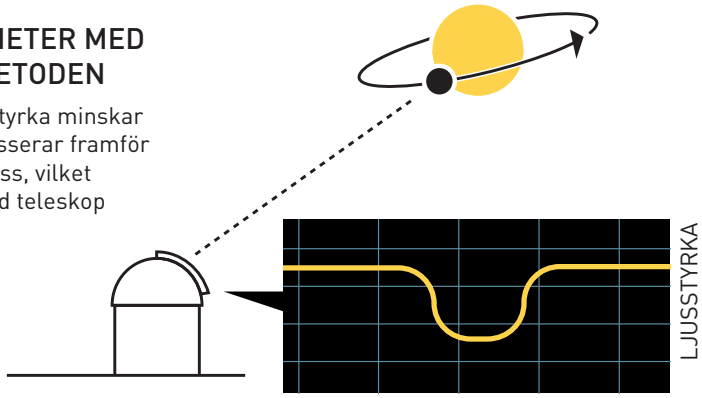
Mångfalden av världar öppnade sig

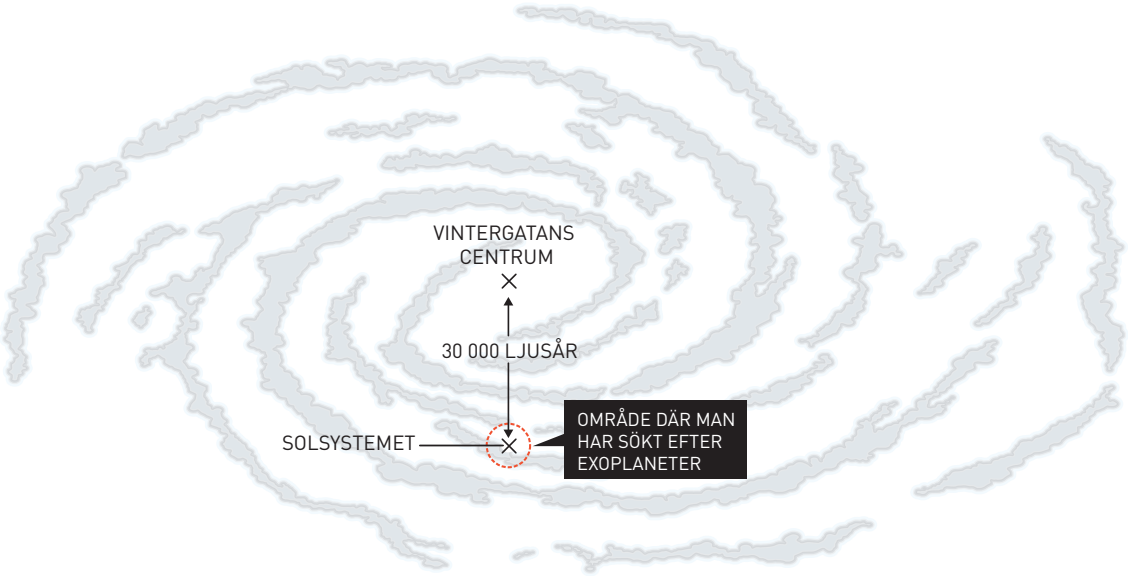
Upptäckten av den första exoplaneten kring en solliknande stjärna startade en revolution inom astronomin. Tusentals nya okända världar har uppenbarat sig. Nya planetsystem upptäcks numera inte bara med teleskop på jorden utan även från satelliter. Just nu skannar det amerikanska rymdteleskopet TESS drygt 200 000 stjärnor i vår närmaste omgivning på jakt efter jordlika planeter. Tidigare har Keplerteleskopet gett en riklig utdelning på över 2 300 nyfunna exoplaneter.

Vid sidan av variationer i radialhastigheterna används numera även passagemetoden i sökandet. Med den mäts förändringar i stjärnljusets styrka när en planet passerar framför sin stjärna, om det sker i vår siktlinje. Med passagemetoden kan astronomerna även få syn på exoplanetens atmosfär, när stjärnljuset passerar den på väg mot oss. Ibland kan båda metoderna användas och då går det att med passagemetoden få fram storleken på exoplaneten samtidigt som massan kan fastställas utifrån radialhastighetsmetoden. Då går det att beräkna exoplanetens densitet och därmed bestämma dess uppbyggnad.

HITTA PLANETER MED PASSAGEMETODEN

Stjärnans ljusstyrka minskar då planeten passerar framför den, sett från oss, vilket observeras med teleskop från jorden.





Vår sol är en av flera hundra miljarder stjärnor i vår hemgalax Vintergatan och i banor kring de flesta stjärnorna borde det finnas planeter. Hittills har astronomerna upptäckt drygt 4 000 planeter kring andra stjärnor och de fortsätter att leta nästgårds, i vår närmaste rymdomgivning.

Hittills har exoplaneterna överraskat med sin häpnadsväckande rikedom av former, storlekar och omloppsbanor. De har utmanat våra föreställningar om hur ett planetsystem kan se ut och tvingat forskarna att revidera sina teorier om de fysikaliska processer som ligger bakom planeternas tillblivelse. Flera nya projekt för att hitta exoplaneter är nu på gång och så småningom får vi kanske svar på den allt överskuggande frågan – finns det liv någonstans därute?

Årets Nobelpristagare har skakat om vår bild av världsalltet. Medan James Peebles teoretiska upptäckter bidrog till att vi nu förstår hur universum utvecklades efter big bang, undersökte Michel Mayor och Didier Queloz rymden nästgårds på jakt efter främmande planeter. Sedan dess förblir våra föreställningar om den värld vi lever i aldrig desamma.

LÄS MER

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, *www.kva.se*, och på *www.nobelprize.org*. Där kan man också titta på presskonferenser, Nobelföreläsningar och annat videomaterial. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelprisen och Ekonomipriset finns på *www.nobelprizemuseum.se*

Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat utdela Nobelpriset i fysik 2019

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

med ena hälften till

JAMES PEEBLES

Född 1935 (84 år) i Winnipeg, Kanada. Fil.dr 1962 vid Princeton University, USA. Albert Einstein Professor of Science vid Princeton University, USA.

”för teoretiska upptäckter inom fysikalisk kosmologi”

och med andra hälften gemensamt till

MICHEL MAYOR

Född 1942 (77 år) i Lausanne, Schweiz. Fil.dr 1971 vid Université de Genève, Schweiz. Professor vid Université de Genève, Schweiz.

DIDIER QUELOZ

Född 1966 (53 år) i Genève, Schweiz. Fil.dr 1995 vid Université de Genève, Schweiz. Professor vid Université de Genève, Schweiz och University of Cambridge, Storbritannien.

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

Vetenskapsredaktörer: Ulf Danielsson, Ariel Goobar, Gunnar Ingelman och Mats Larsson, Nobelkommittén för fysik
Text: Joanna Rose
Illustrationer: ©Johan Jarnestad/Kungl. Vetenskapsakademien
Redaktör: Sara Gustavsson
©Kungl. Vetenskapsakademien