

ANDRA JORDAR KRING ANDRA SOLAR

Dainis Dravins

Hur många jordar finns det?

Numera känner vi till en massa planeter som kretsar kring andra stjärnor än solen, så kallade exoplaneter. Sökandet efter dessa pågick under många årtionden och genombrottet möjliggjordes genom noggranna mätningar av hur stjärnornas rörelser påverkas av tyngdkraften från sina följeslagare. Men hur bedrev astronomerna sitt sökande fram till de första säkra upptäckterna?

Vilka världar kan finnas bortom vår egen? Sedan nästan hur länge som helst har människor funderat över om det finns andra världar bortom vår egen jord, kanske befolkade av märkliga varelser eller möjligen bara av vanliga människor. Aboriginerna, Australiens urbefolkning, uppfattade stjärnornas blinkande ljus på natt-himlen som det fladdrande skenet från förfädernas lägereldar som dessa hade tänt uppe i sin himmel. Och vissa bland de gamla grekerna, till exempel Pythagoras på 500-talet före Kristus (han med den rätvinkliga triangeln) trodde på de bebodda världarnas mångfald medan Demokritos (han som införde begreppet atom) till och med menade omkring 400 före Kristus att de bebodda världarna var oändligt många. Å andra sidan fanns det de som trodde att jorden var den enda, till exempel Aristoteles på 300-talet före Kristus (han med de fyra elementen) som var övertygad om att rymden bortom vår egen värld är oföränderlig samt att jorden är den enda platsen för liv.

Frågan om världarnas mångfald dök åter upp i Europa under sen medeltid (slutet av 1200-talet) och utvecklades då till en väsentlig teologisk debatt inom kristendomen. En fråga var huruvida en allsmäktig Gud kunde skapa många världar och om så var fallet, huruvida han möjligen valt att inte göra det? En kontroversiell men ändå inflytelserik person var Étienne Tempier (Stephanus från Orleans) som blev biskop i Paris år 1268 och vände sig mot Aristoteles läror, bland annat hävdade han att Gud i sin allsmäktighet skulle kunna skapat mer än en värld. Ett annat exempel är den astronomiskt engagerade kardinalen Nicolaus Cusanus som på 1400-talet spekulerade att såväl månen som solen kunde vara bebodda.

Även inom andra världskulturer och religioner, inte minst i Mellanöstern och i Asien, förekom en rad tankar om världarnas och livets möjliga mångfald. Här i Europa så hade Aristoteles synsätt så småningom, mot mitten av 1500-talet, blivit allmänt accepterat. Jorden sågs som den enda befolkade världen: den var orörlig och omkretsades av månen, Merkurius, Venus, solen, Jupiter och Saturnus, liksom fixstjärnesfären som omslötts av *primum mobile*, det vill säga den ”första rörliga”, den som gjorde att stjärnorna rörde sig över himlen. Denna världsbild överlevde dock inte särskilt länge utan följdes av Copernicus’ arbeten och utvecklingen av en världsbild med solen i centrum, av Tycho Brahes observationer på Ven, av uppfinningen av teleskopet och mycket mer som lagt grunden för dagens astronomi.

Kartläggningen av vårt solsystem

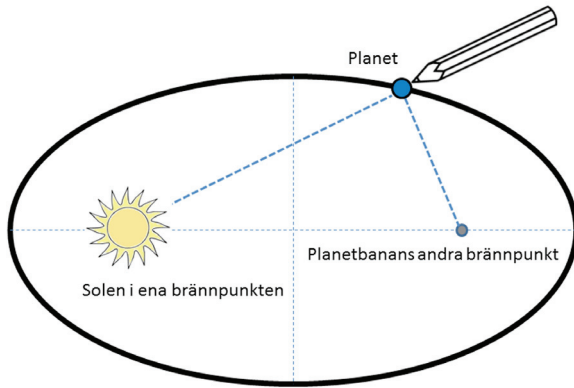
I början av 1600-talet lyckades Johannes Kepler komma på lagarna om planeternas rörelse, för vilket han kunnat utnyttja de precisa observationer av planeternas (spe-



Johannes Kepler på österrikiskt 10-euro jubileumsmynt från 2002. Han utgick från de observationer som Tycho Brahe utfört på Ven och kunde visa att Mars, liksom de andra planeterna, rör sig i elliptiska banor kring solen, där solen befinner sig i den ena av ellipsens två brännpunkter. Källa: Münze Österreich AG/Österreichische Nationalbank.

ciellt Mars) rörelse över himlen som Tycho Brahe gjort från sitt observatorium på Ven. Speciellt konstaterade han att planeterna inte rör sig i exakta cirklar utan att banorna är mer eller mindre utdragna ellipser med solen i ellipsens ena brännpunkt. En annan lag gav ett uttryck som kopplade sambandet mellan planetens omloppstid (längden av dess år) och dess avstånd från solen. Senare kunde Newton med sin mekanik härleda att planetbanorna formas just på detta sätt under påverkan av tyngdkraften och så småningom blev den heliocentriska världsbilden – där planeterna alltså kretsar kring solen – allmän i västerlandet och visionen om andra världar utgick då från andra förutsättningar.

Med hjälp av Keplers lagar kunde man nu mäta upp avstånden inom solsystemet och bestämma planeternas storlek. Man insåg att månen och



En ellipsformad planetbana med solen i ena brännpunkten. Man kan själv rita upp en ellips genom att fästa ett snöre kring två häftstift och sen med en penna rita kurvan med spänt snöre. De två häftstiften utgör lägena för ellipsens två brännpunkter; är de helt nära varandra, förvandlas ellipsen till en cirkel.

planeterna är platser som man, åtminstone i princip, skulle kunna färdas till. Eftersom jorden är en planet så måste de andra planeterna rimligen också vara jordar och därför också platser för liv. Även om det var osäkert om dessa planeter verkligen var bebodda, var de nog beboeliga för de människor som kunde ta sig dit. Ännu i mitten av 1800-talet var det en öppen fråga huruvida månen var (eller hade varit) bebodd. Tänkta resor till Mars uppfattades kanske i analogi med den europeiska erövringen av den nya världen i Amerika. Visst var de nya världarna annorlunda än den gamla, men nog inte mer än att Mars kanske liknade Arizonaöknen på vintern och Venus var kanske mer som någon del av det tropiska Afrika?

Rymdfart och bemannad rymdfart var länge liktydiga begrepp, till exempel i alla tidiga science fiction-berättelser. I dag kommer mycket av vår kunskap om rymden från automatiska rymdsonder men det är faktiskt inte alls så långt sedan som det utvecklades metoder för att bygga robotliknande instrument och att styra dem över stora avstånd. 1800-talet var en tid då europeisk politik strävade efter att etablera kolonier och handelsförbindelser med andra kontinenter. Tanken på att besöka månen och Mars var egentligen inte främst för att utforska livet där, utan kanske mer för att etablera handelsförbindelser med dess invånare, kanske rentav importera verkligt exklusiva kryddor?

Först under 1920-talet började tecknen hopa sig om att Mars och Venus är betydligt ogästvänligare än så. Insikten växte om att månen nog saknade atmosfär samt att de på Mars och Venus var föga anpassade för jordiskt liv. Ännu kring mitten av 1950-talet föreställde man sig dock att en rymdresenär skulle kunna promenera omkring på Mars iklädd endast en tunn rymddräkt med någon syrgastub på ryggen. Dessa föreställningar fick ett abrupt slut i början av 1960-talet när de första rymdsonderna nått fram till månen och Mars. Det visade sig att dessa, liksom övriga planeter, var så pass avvikande från jorden att det verkade osannolikt att liv

alls kunde finnas där. Samtidigt blev det nu möjligt att direkt utforska dem, inte med astronauter utan främst med automatiska apparater som nu hunnit utvecklas till mycket hög prestanda. Men fortfarande var den vetenskapliga analysen begränsad till planeter och platser inom vårt eget solsystem. Det stod klart att jorden var en planet och solen var en till synes normal stjärna, bara en bland många. Men var jorden också bara en planet bland många andra?

Planeter kring andra stjärnor

Riktigt hur planeterna i vårt solsystem uppkommit visste man inte (och riktigt säkert vet man det ännu inte i dag). En mängd olika föreställningar om jordens uppkomst och utveckling finns i de flesta gamla kulturer men däremot inte att dessa skulle vara knutna till andra planeter. Detta fordrar ju att man först inser att de andra planeterna ingår i ett planetsystem där jorden är en bland flera medlemmar. Även om det fanns vissa tänkare i det antika Grekland som förespråkade en heliocentrisk världsbild – som Aristarchos från Samos som föreslog detta redan omkring 250 före Kristus – blev den heliocentriska bilden med sitt nya begrepp ”solsystemet” allmänt accepterad först på 1700-talet. Men i och med att ”solsystemet” blev etablerat som begrepp, öppnades även frågeställningen om dess uppkomst.

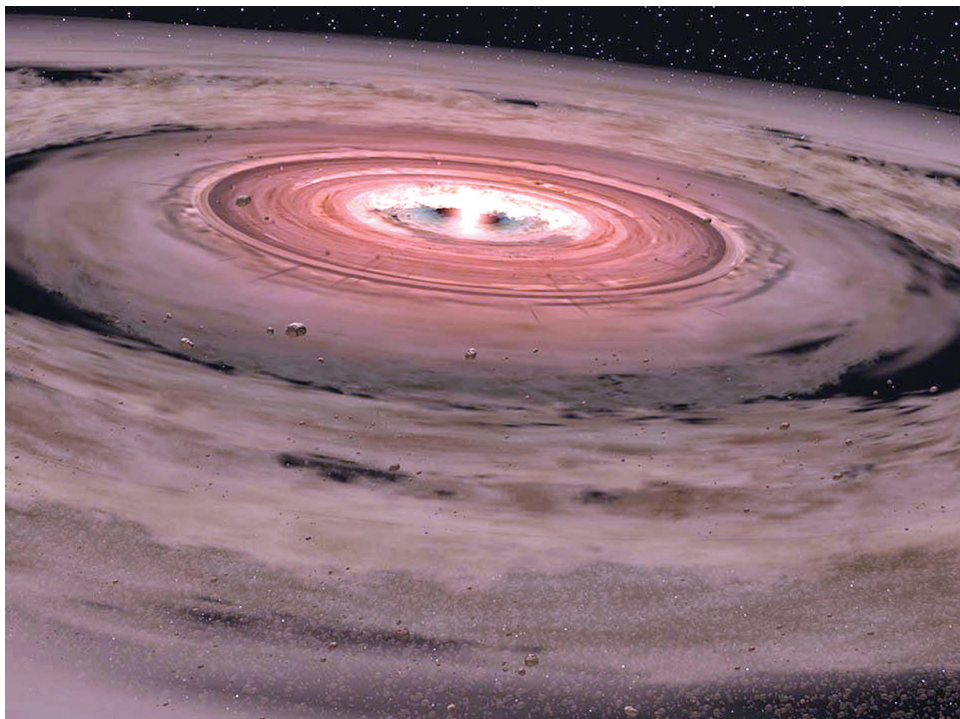


Tre av upphovsmännen till nebulärhypotesen för bildandet av planeter: Emanuel Swedenborg (1688–1772), svensk vetenskapsman inom många discipliner; Immanuel Kant (1724–1804), tysk filosof och kunskapsteoretiker; samt Pierre Simon de Laplace (1749–1827), fransk astronom, matematiker och fysiker.

Planeter som resultat av en vanlig händelse

Under 1700-talet utvecklades nebularhypotesen för solsystemets bildande. Enligt denna skulle solen ha bildats tillsammans med alla sina planeter ur en och samma stora gasnebulosa, ett gigantiskt kosmiskt gasmoln som successivt svalnat av, dragit ihop sig, där solen bildats i mitten, och där molnets rotation orsakat att alla planeterna rör sig i samma plan och åt samma håll som solen själv. En av pionjärerna för denna nebularhypotes var svensken Emanuel Swedenborg men teorin utarbetades i mer detalj av Immanuel Kant i östpreussiska Königsberg medan en variant togs fram av Pierre-Simon Laplace i Frankrike; i dag kallas teorin oftast Kant-Laplaces nebularhypotes.

Dylika gasmoln, nebulosor, är vanliga ute i rymden, till exempel kan man under klara vinternätter för blotta ögat skönja Orionnebulosan som ett ljusstöcken invid svärdet i Orions stjärnbild. Om denna modell är riktig, är bildandet av pla-



Nebularhypotesen innebär att solen bildas tillsammans med alla sina planeter ur en och samma stora gasnebulosa. Detta motsvarar också den nutida uppfattningen om hur planeter bildas. Denna konstnärliga vision illustrerar en liten stjärna som omger sig med virvlande stoftmoln ur vilka planeter bildas. Källa: NASA Spitzer Space Telescope/Jet Propulsion Laboratory.

netter en helt naturlig och närmast nödvändig följd effekt av stjärnbildning och då borde man kunna vänta sig ett stort antal andra planeter kring andra stjärnor. Nutida koncept för solsystemets bildande utgår från just nebularhypotesen, där en stor gasnebulosa drar ihop sig under sin egen tyngd och varur såväl solen som planeterna bildas. Om man accepterar detta koncept, är planetbildning en naturlig del av stjärnbildningen och i så fall borde de allra flesta normala stjärnor också omge sig med planeter.

Planeter som resultat av en ovanlig händelse

Nebularhypotesen fick emellertid viss kritik för att den inte kunde förklara skillnaden mellan planeternas höga hastigheter i sina banor kring solen och solens relativt långsamma rotation (ett varv på en månad). Om en långsamt roterande gasnebulosa dragit ihop sig, borde dess rotation mot mitten blivit mycket snabbare, precis som en ballerina på is snurrar snabbare sedan hon dragit armarna intill sig.

För att förklara denna skenbara anomali, utvecklades andra teorier där det gasmoln varur planeterna bildats i stället slitits loss från solen genom gravitationskrafterna från någon annan himlakropp. Om någon annan stjärna i Vintergatan råkat komma nära solen, skulle tidvatteneffekter skapade genom dess tyngdkraft kunnat slita loss stora gasmoln. När detta, troligen avlånga och utdragna, gasmoln sedan successivt kylts ner och klumpat ihop sig under sin egen tyngdkraft, skulle planeterna ha bildats ur detta.



Sir James H. Jeans (1877–1946) var en engelsk fysiker, astronom och matematiker. Han var en av de forskare som utarbetade tidvattenteorin för planetbildning, en teori som dock senare visade sig ohållbar.

Redan i mitten av 1700-talet hade det funnits tankar i denna riktning, då man tänkte sig att en komet kunde ha krockat med solen och slitit loss gaser från den. Numera vet vi förstås att kometer har alldeles för liten massa för att göra något sådant, men tidigare trodde man att de var mer massiva: deras svansar kunde ju sträcka sig över halva himlen! I början av 1900-talet återuppväcktes denna teori av ett flertal forskare, där den mest detaljerade formuleringen gjordes av britten James Jeans. I denna tidvattensteori behöver inget direkt krocka med solen utan det räcker med att en annan

stjärna råkar passera i dess närhet: ett gasmoln kommer ändå att slitas loss genom effekter av den passerande stjärnans tyngdkraft.

I vårt stjärnsystem Vintergatan finns ett enormt antal stjärnor som rör sig i olika banor och en sådan nära passage mellan två stjärnor är ingalunda otänkbar. Den är dock mycket osannolik, åtminstone i solens närhet där det är tämligen glest mellan stjärnorna. Om denna teori för planetbildning vore riktig, finns det en viktig konsekvens: eftersom dylika nära passager av stjärnor är mycket sällsynta, skulle det inte heller kunna finnas särskilt många andra planetsystem. Då kanske vårt solsystem skulle vara unikt, åtminstone i vår del av Vintergatan? Det kan tilläggas att ännu vid denna tid, vid 1900-talets början, förmodade man att solens kemiska sammansättning var ungefär samma som jordytans (det vill säga kisel, järn och så vidare) och först senare insåg man att solen till största delen består av gaserna väte och helium och att ett dylikt bortslitet gasmoln överhuvud inte skulle kunna bilda fasta och jordliknande planeter.

Dessa två hypoteser för planetbildning gav alltså två helt olika förutsättningar för att hitta planeter kring andra stjärnor. Nebularteorin innebär att planetbildning är en naturlig del av stjärnbildning och således att de flesta stjärnor kan förväntas omge sig med planetsystem. Tidvattenteorin, däremot, innebär att planeter endast kommer till som resultat av mycket sällsynta händelser och endast mycket få stjärnor kan då förväntas ha planeter. Vilken hypotes (om nu ens någon av dessa) kunde vara den rätta? Så länge vi bara kände till vårt eget planetsystem, var frågan förstås omöjlig att besvara. Men astronomerna visste hur man skulle kunna leta efter andra planetsystem, detta med utnyttjande av Keplers lagar som ju upptäckts redan långt tidigare.

Att hitta planeter kring andra stjärnor

Efter många försök hade man vid 1800-talets mitt lyckats att med triangulering och noggrann vinkelmätning direkt mäta avståndet till närbelägna stjärnor medan avstånden inom hela vårt stjärnsystem Vintergatan klargjordes under 1900-talets början. Man hade därför en god uppfattning om hur lätt (eller rättare sagt, hur svårt) det skulle vara att upptäcka planeter kring andra stjärnor, helst förstås stjärnor som liknade solen.

I alla tider har astronomins utveckling drivits av de tekniska och instrumentella möjligheterna. Under tidigt 1900-tal var *astrometrin* en av de mätmetoder som utvecklats till högst noggrannhet. Detta betecknar metoder för mätningen av stjärnors exakta lägen och förflyttningar på himlen. Redan kring år 1840 hade man vid ett par observatorier i Europa lyckats att direkt mäta avståndet till närbelägna stjärnor genom att följa hur riktningen till dem ändrades lite grand under

loppet av ett år, då jorden går ett varv kring solen och man börjar få en tredimensionell bild av stjärnhimlen. Redan Tycho Brahe hade försökt göra denna typ av avståndsbestämning men noggrannheten i hans mekaniska instrument för vinkelmätning – detta var ju innan teleskopet hade uppfunnits – hade behövt vara hundra gånger bättre.

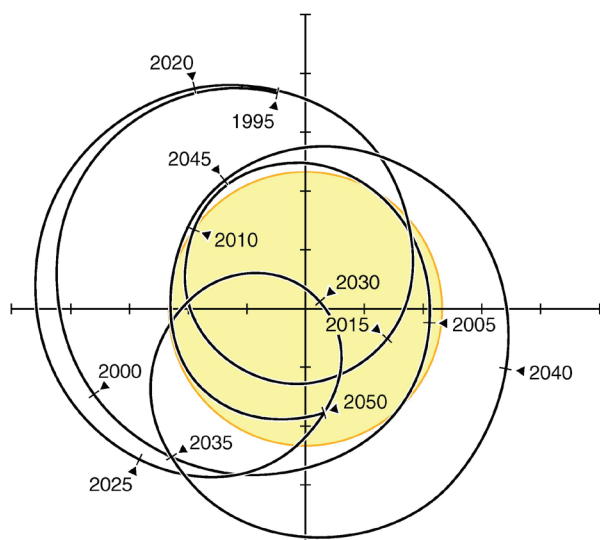
Men hur skulle man kunna avgöra om det finns planeter kring dessa andra stjärnor? Hur kan man upptäcka jorden eller solens övriga planeter om vi befinner oss långt borta vid någon annan stjärna? Planeterna lyser ju enbart med det återkastade ljus som kommer från solen vilket gör dem extremt ljussvaga jämfört med solen själv. Och de är inte bara ljussvaga utan, sett långt bortifrån, skulle på himlen ligga alldeles intill sin ljusa stjärna – solen – som lyser kanske hundra miljoner gånger starkare. Det är detta problem – att upptäcka en liten och ljussvag planet alldeles intill en stor och jätteljus stjärna – som utgör huvudproblemet i sökandet efter planeter kring andra stjärnor. Och eftersom man dessutom – fram tills helt nyligen – var tvungen att observera från jordytan, måste man göra mätningarna genom det oroliga lufthavet, där atmosfärens turbulens orsakar stjärnors gnistrande och blinkande och gör att bilderna av dem blir suddiga så snart de görs i hög förstoring. Det är ungefär som att försöka upptäcka en liten lysmask som sitter vid kanten av en bländande ljus fyr som man nattetid tittar på genom ett regnblött och grumligt fönster. Men hur ska man då gå till väga? Eftersom direkta observationer verkade omöjliga insåg man att man i stället måste tillgripa någon sorts indirekta metoder och försöka utnyttja de typer av instrument som fanns tillgängliga. Stjärnan själv kunde observeras med hög noggrannhet, speciellt med de astrometriska metoderna för lägesbestämning som blivit välutvecklade till 1900-talets början.

Keplers första lag för planeternas rörelse lyder ”Planeternas banor är ellipser med solen i ena brännpunkten”. Men kan detta vara exakt sant? Mot slutet av 1600-talet hade Isaac Newton teoretiskt kunnat härleda Keplers lagar sedan man insett att gravitationen fungerar så att två kroppar dras mot varandra med en kraft som ökar i proportion till kropparnas massor och minskar med kvadraten på avståndet mellan dem. Eftersom massiva kroppar dras mot varandra (och inte enbart i riktning mot solen), innebär det att Keplers lagar inte kan gälla exakt. Inte bara solen utövar en tyngdkraft gentemot en planet, även planeten utövar en tyngdkraft på solen (om än denna, på grund av planetens ringa massa, är så mycket mindre). I fallet med planetens bana runt solen måste man därför göra en liten justering till Keplers första lag så att den elliptiska bana, i vilken planeten rör sig, inte har solens mittpunkt exakt i ena brännpunkten, där ligger i stället solens och planetens gemensamma masscentrum, deras gemensamma ”tyngdpunkt”. Som en följd av detta rör sig även solen i en mycket liten, men dock, bana kring detta masscentrum. Ju mer massiv en planet är, desto större blir effekten och är planeten tillräckligt stor skulle man, genom att mäta med tillräcklig noggrannhet,

kunna märka hur stjärnan periodiskt ändrar sitt läge, allteftersom den rör sig i sin lilla bana jämte en osynlig planet.

Om det bara skulle finnas en enda planet, blir banan enkel men med många planeter som alla har olika långa omloppstider, olika massor och vars tyngdkraft under olika tider drar åt olika håll, blir den resulterande banan något komplicerad. Om nu någon astronom vid en annan stjärna har ett tillräckligt noggrant teleskop som följer solens läge under flera årtionden, skulle denne kunna upptäcka att solen omger sig med planeter. Genom att särskilja vilka olika perioder som finns i förändringarna i solens läge, kan man bestämma planeternas olika omloppstider och genom att mäta hur stora dessa förändringar är, skulle man kunna bestämma planeternas massor uttryckt som bråkdel av solens massa.

Tillämpat på solen, skulle man kunna hoppas att upptäcka Jupiter (med en tusendel av solens massa) och en omloppstid på 11,9 år och troligen även Saturnus



Planeterna i vårt solsystem rör sig i banor kring solen men deras egen tyngdkraft har även en liten påverkan på solen själv. Bilden visar, för en tänkt observatör som tittar ner på solsystemet, hur mycket solen förflyttar sig under ett halvsekel under påverkan av sina planeter. (Skalan ges av den gula cirkeln som markerar storleken av solskivan.) Den största effekten kommer från Jupiter i sin 12-åriga bana kring solen men den oregelbundna banan skapas av inflytande från även Saturnus och övriga planeter. Källa: NASA/Jet Propulsion Laboratory.

med knappt en tredjedel av Jupiters massa och banperiod på 29,5 år. Att hitta effekter från Uranus eller Neptunus skulle vara svårt, inte bara på grund av att de är planeter med ännu mycket mindre massa, utan mest för att man skulle behöva observera under mycket lång tid för att hinna följa dem (helst flera varv runt solen), givet deras omloppstider på 84 respektive 165 år. Men effekter från en riktigt liten planet som vår lilla jord (med massan bara en trehundredel av Jupiters) skulle knappast gå att detektera.

Allt detta förstod man redan under tidigt 1900-tal och några pionjärer försökte leta efter denna typ av regelbundna ändringar i läget för närbelägna stjärnor. Om en stjärna saknar planeter,

rör den sig i Vintergatan längs en ungefär rät linje, men om den har någon mer massiv planet kommer dess tyngdkraft att förflytta stjärnan än åt ena, än åt andra hållet. Givetvis kunde man inte veta vad man skulle hitta, men ett rimligt första mål var att leta efter något som liknade vårt eget planetsystem, det vill säga söka efter Jupiter-liknande planeter i Jupiter-liknande omloppsbanor på kanske tio år.

En av pionjärerna var svensken Erik Holmberg, då verksam vid Lunds observatorium. Redan 1938 publicerade han mätningar där han hävdade att oregelbundenheter i rörelsen hos ett par närbelägna stjärnor kunde tolkas som närvaron av planeter. Kring den röda dvärgstjärnan Proxima Centauri identifierade han signaturer som verkade komma från en planet med en massa fem gånger Jupiters. I dag kan vi vara efterklokka och inse att signalerna som mättes nog mest var brus

men det visar ändå att det redan på 1930-talet gjordes ambitiösa ansträngningar att försöka hitta exoplaneter.

Liknande arbeten fortsattes av flera forskare under kommande årtionden. Omfattande studier gällde "Barnards stjärna", ett närbeläget objekt som rör sig ovanligt snabbt över himlen och det därför i dess rörelse är lättare att hitta små periodiska avvikelser. I publikationer från 1970- och 1980-talen hävdades upptäckter av planeter med massor något mindre än Jupiters, med omloppstider på 12 och 20 år, det vill säga värden ganska lika solsystemets Jupiter. En svårighet med dessa observationer

var att de hade löpt under mycket lång tid (flera årtionden) och därför i praktiken inte kunde upprepas och kontrolleras av andra forskare. Åter, sedan dessa typer av mätningar kunnat utvärderas, verkar det vara klart att även dessa dominerades av brus, inklusive svärfångade brusällor som till exempel små förändringar i teleskopens bildskärpa som uppstått sedan man någon gång justerat dess linser. Under tiden hade dock andra astronomiska tekniker börjat utvecklas.

MEDELÄNDE FRÅN LUNDS ASTRONOMISKA OBSERVATORIUM
Ser. II, Nr. 92.

INVISIBLE COMPANIONS OF PARALLAX
STARS REVEALED BY MEANS OF
MODERN TRIGONOMETRIC
PARALLAX OBSERVATIONS

BY

ERIK HOLMBERG

LUND
PRINTED BY HÅKAN OHLSSON
1938

Ett av pionjärarbetena i sökandet efter planeter kring andra stjärnor. Redan under 1930-talet gjordes allvarliga försök att hitta sådana, även om man sedermera insåg att det skulle krävas högre mätnoggrannhet än vad som var möjlig då.

Stjärnornas streckkoder – den spektroskopiska vägen till exoplaneter

Om man upphettar vilket kemiskt ämne som helst så att det förångas, kommer det att utsända ljus av en speciell färg, karakteristiskt olika för varje grundämne. Till exempel natriumångor som finns i de lampor som ibland förekommer som gatubelysning, lyser med sin typiska gula färg. Med en spektrometer (instrument som delar upp ljuset i dess exakta färger) kan man studera detta i detalj och upplösa spektrallinjer, det vill säga snäva intervall av just en speciell färg eller exakt våglängd för ljuset. Att varje kemiskt ämne har sina egna speciella spektrallinjer, samt att de är samma i laboratoriet som i stjärnor, blev klarlagt under 1800-talet genom arbeten av bland annat Joseph von Fraunhofer, Robert Bunsen och Gustav Kirchhoff.

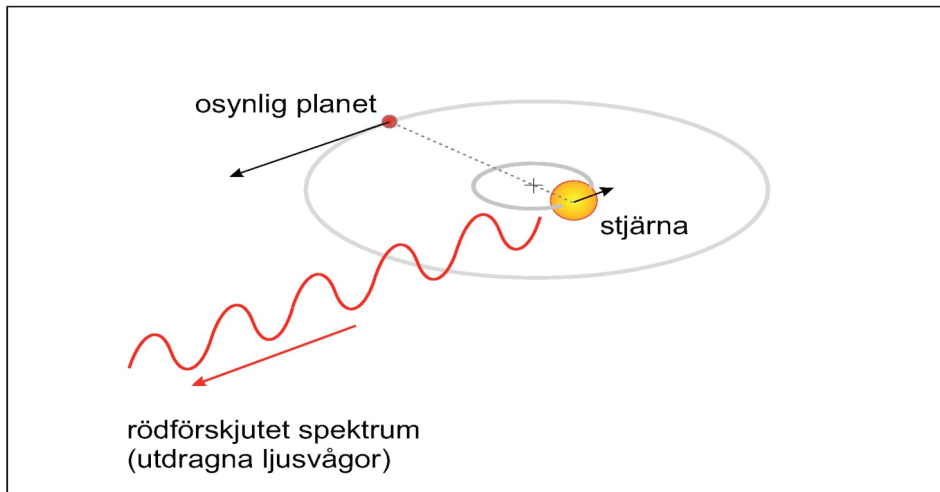
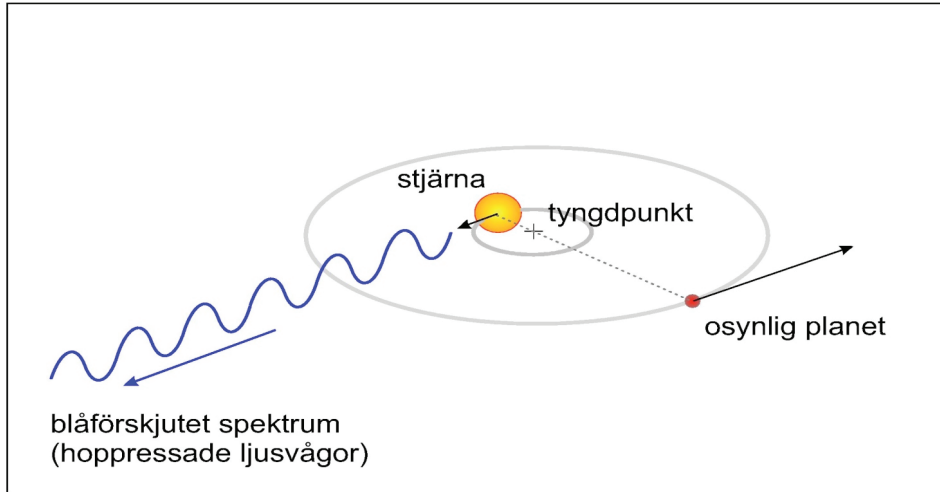
Christian Doppler härledde att vågor som utsänds från rörliga objekt blir förskjutna i våglängd, vilket Hippolyte Fizeau utredde speciellt för ljus: för objekt som avlägsnar sig töjs ljusvågorna ut till en större längd och färgen förskjuts i riktning mot mer långvågigt rött. När en stjärna avlägsnar sig från oss blir dess spektrum alltså rödförskjutet medan ljusvågor från objekt som närmar sig pressas ihop mot kortvågigt blått. Samma typ av effekt märks för ljudvågor, när man hör hur ljudet från sirener på en förbispasande polisbil ändrar tonhöjd när bilen passerar. Men, medan man redan med örat lätt kan höra denna typ av all dagliga förändring, krävs det precisionsmätningar i stjärnors spektra för att hitta motsvarande effekter från möjliga exoplaneter.

Den astronomiska spektroskopin började sin intensiva utveckling i slutet av 1800-talet, inte minst vid det år 1874 invigda astrofysiska observatoriet i Potsdam utanför Berlin. Detta var det första observatorium som i sitt namn hade ordet "astrofysisk" och inte "astronomisk". Det nya begreppet "astrofysik" avsåg då just astronomisk spektroskopi, det vill säga uppmätningen av spektra för att undersöka himlakropparnas inneboende egenskaper, såsom temperatur och kemisk sammansättning, inte bara deras lägen på himlen. I Potsdam lyckades man också på 1880-talet mäta de första röd- och blåförskjutningarna av stjärnljus och därmed bestämma hur stjärnor rörde sig i riktning från eller mot oss.



Joseph von Fraunhofer (1787–1826) var en pionjär för studiet av solljuset. Han konstruerade sin tids mest noggranna spektrometrar med vilka han kunde studera hundratals mörka spektrallinjer. I samband med 200-årsminnet av hans födelse gav tyska postverket ut detta frimärke som visar Fraunhofers markeringar av de starkaste linjerna i solspektrum. Källa: Deutsche Bundespost.

Under det följande halvseklet låg mät noggrannheten på förskjutningar i våglängd som motsvarade hastigheter kring en kilometer per sekund. Stjärnornas spektra registrerades på fotografiska plåtar där en dylik hastighet förflyttade



En stjärna och dess planet rör sig i banor kring sin gemensamma tyngdpunkt (masscentrum). Eftersom stjärnan är mycket mer massiv än planeten, ligger masscentrum mycket nära stjärnan och denna rör sig långsamt i sin lilla bana. För att upptäcka denna långsamma rörelse hos stjärnan krävs precisionsinstrument som kan mäta mycket små förskjutningar i våglängderna hos det ljus som den utsänder. Metodens styrka är att man inte behöver detektera den extremt ljussvaga planeten utan kan härleda dess egenskaper genom enbart planetens påverkan på stjärnan. Källa: Lennart Lindgren, Lunds universitet.

stjärnljuset med kanske bara någon tusendedels millimeter. Metoden begränsades också av möjligheten att exakt bestämma våglängdsskalan (för detta måste man kalibrera gentemot laboratorielampor med kända och stabila våglängder), samt förstå hur instrumenten deformerades under sin egen tyngd och hur detta växlade med omgivningens temperatur och lufttryck. Redan under tidigt 1950-tal var man dock klar över hur man skulle kunna upptäcka planeter kring andra stjärnor, bara man tillräckligt noggrant kunde mäta upp de små periodiska rörelser som stjärnorna påtvingas genom tyngdkraften från sina omkretsande planeter.

I ett mycket klarsynt arbete från 1952 läggs detta fram av astronomen Otto Struve, då verksam vid Berkeley-universitet i Kalifornien. Visserligen konstaterar han att det ännu inte är realistiskt att finna planeter stora som Jupiter eller ens mycket mer massiva, om de går i banor långt ut från sina stjärnor. Men han konstaterar att det inte verkar otänkbart att det skulle kunna finnas planeter mycket närmre sina stjärnor och dessa skulle ge desto större utslag i spektra. Många dubbelstjärnor är kända, menade han, där komponenterna är tätt intill varandra. Det är därför rimligt att anta att det också borde kunna finnas planeter på liknande korta avstånd. Om detta är fallet, skulle det räcka med redan en måttlig förbättring av den redan då uppnådda noggrannheten och dessutom skulle man också kunna vänta sig förmörkelser när planeter nära sina stjärnor råkar ses passera framför sina stjärnor. I allt detta förutsåg Otto Struve de aktiviteter som skulle bli ett av astronomins huvudspår ett halvsekel senare.

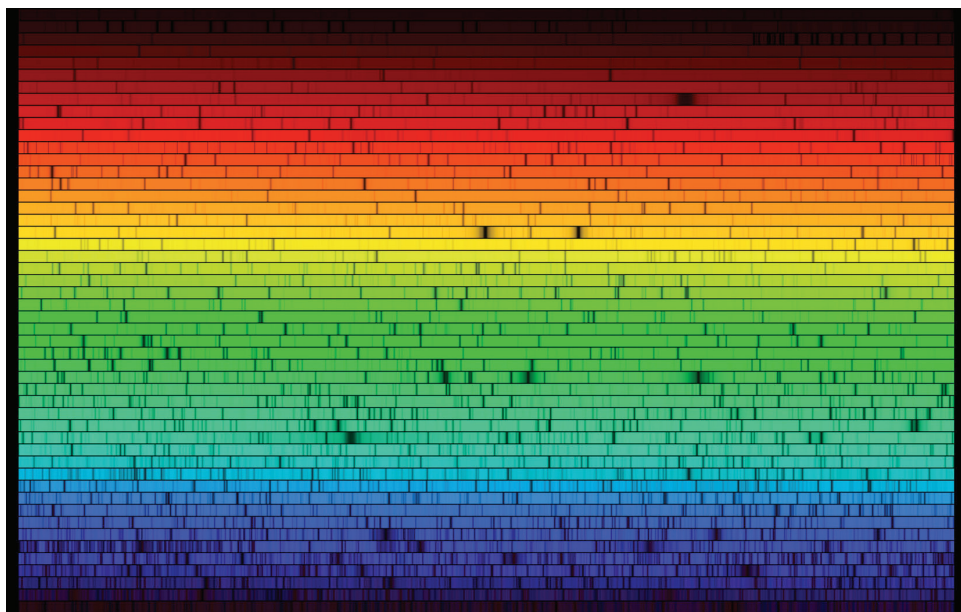
Från 1960-talet började man systematiskt att leta efter metoder att bestämma exakta våglängdsskalor i spektrometrar och kringgå problemen med instrumentens deformation. En lovande metod var att, som våglängdsmått inte använda laboratorielampor utan de spektrallinjer som ändå uppstår genom att vattenånga och andra gaser i jordens atmosfär absorberar lite av stjärnljuset, vid just sina specifika och konstanta våglängder, en signatur som då överlagras stjärnans eget spektrum (för övrigt är det sådan absorption i atmosfären som orsakar växthuseffekten på jorden). Nu pressades noggrannheten ner mot 100 meter per sekund.

De signaler som man letade efter var dock än mindre: den rörelse som vårt solsystems största planet Jupiter påtvingar solen uppgår till endast 13 meter per sekund och för att mäta så små effekter behövde observationsmetoderna förfinas under ytterligare ett par årtionden. I mitten av 1980-talet hade precisionen nått dithän, att exoplaneter kunde ha hittats redan då, om man "bara" haft turen att observera "rätt" stjärnor.

Som i nästan all astronomi, begränsas mätningarna ofta av att stjärnljuset är för svagt eller teleskopen för små för att samla in tillräckligt med ljus. Man behövde utveckla sätt att verkligen utnyttja allt stjärnljus som man kunde samla in, inte bara det kring några fåtaliga spektrallinjer vars våglängdsförskjutningar man

hittills valt att mäta upp. En lösning blev så kallade korrelationspektrometrar, instrument som jämförde stjärnornas spektra med en på förhand bestämd mall med mönster av spektrallinjer som motsvarade det för en typisk standardstjärna. Genom att i våglängd gradvis förskjuta det observerade stjärnspektret tills mönstret av dess spektrallinjer så nära som möjligt sammanföll med mallen (ungefär som att justera in en komplicerad bit i ett pussel) kunde man effektivare utnyttja stjärnljuset och få en noggrannare bestämning.

Under 1980-talet genomfördes flera observationskampanjer för att leta efter exoplaneter, där den mest omfattande var den som kanadensiska astronomer (Bruce Campbell, Gordon Walker med flera) under 1980–1992 utförde med teleskopet CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) på Mauna Kea, på 4 200 meters höjd på Hawaii. De hade vidareutvecklat metoden att låta stjärnljuset passera genom en gas som lämnar sitt avtryck genom att absorbera vid sina karaktäristiska våglängder. Motsvarande linjer som uppstår i jordatmosfärens gaser var inte stabila nog. I övre atmosfären blåser vindar åt olika håll och olika luftfuktighet gör att linjer från vattenånga kan bli olika starka. Därför valde de att preparera små behållare med



När solljuset delats upp i sina olika färger framträder ett mönster med ett mycket stort antal mörka linjer i spektret. Andra stjärnor har likartade spektra: om de rör sig bort från oss uppstår en rödförskjutning, det vill säga mönstret av spektrallinjer förskjuts mot längre och rödare våglängder; om de närmar sig uppstår i stället en blåförskjutning. Effekten som uppkommer genom planeters påverkan är dock ytterst liten, kanske bara en tusendedel av en enda spektrallinjens bredd. Källa: N. A. Sharp, National Solar Observatory, NOAO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF.



Observatoriet CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) på toppen av berget Mauna Kea, 4200 meter över havet på huvudön i Hawaii-gruppen. Detta teleskop med 3,6 meters spegeldiameter var under 1980-talet platsen för ett systematiskt sökande efter exoplaneter. Foto: CFHT Corporation.

en lämplig gas som stjärnljuset fick passera igenom på sin väg till spektrometern. Den gas de använde (vätefluorid) var dock frätande och krävde speciella försiktighetsåtgärder.

Man visste fortfarande inte riktigt vad man skulle leta efter men utgick från det enda planetsystem som då var känt: vårt eget, varför sökandet inriktades på att leta efter jupiterliknande planeter i banor med omloppsperioder på flera år, kring närläggna dvärgstjärnor någotsånär lika solen. Man observerade regelbundet ett urval av stjärnor med några månaders mellanrum för att se om de möjligen rörde sig periodiskt. För ett par stjärnor såg man mycket riktigt förskjutningar i deras spektra som kunde tolkas som orsakade av någon planet. Helt säkert kunde man inte vara men resultaten publicerades 1988 som troliga effekter av planeter. Femton år senare skulle utökade mätningar från även andra observatorier bekräfta att de variationer i någon stjärnas spektrum som man då mätt faktisk orsakades av en planet med omloppstiden 2,5 år. Dessa mätningar fortsatte inte efter 1992, bland annat för att CFHT-teleskopet drivs som ett allmänt observatorium för att betjäna ett stort antal grupper i olika länder och dess schemaläggning med många korta observationsperioder inte riktigt lämpar sig för utsträckta kampanjer där man letar efter okända fenomen.

I början av 1990-talet tillkom en annan, oväntad, aspekt på letandet efter planeter, nämligen upptäckten att de finns småkroppar i omloppsbana kring några pulsarer. Pulsarer är snabbt roterande neutronstjärnor, små (bara ett par tiotals kilometer) men oerhört täta restprodukter efter stjärnor som exploderat som supernovor. En hel stjärnmassa har där komprimerats till samma täthet som neutronerna i en atomkärna. Pulsarer utsänder radiostrålning och i takt med att de

roterar, ser man att strålningen ändras, ungefär som när man från en båt ser ljuset från en roterande fyr. Ur periodiska ändringar i dessa radiopulser kunde man konstatera att det fanns små planeter (med massor som jordens eller ännu mindre) i banor kring dessa. Några sådana pulsarplaneter hade man inte väntat sig och man vet ännu inte hur de kan ha uppstått. Är de möjligen rester från planetsystem som fanns redan före supernovaexplosionen eller är detta möjligen kroppar som bildats ur de gaser som kastats ut i samband med explosionen? Hur som helst, även om dessa objekt kan kallas ”planeter”, var detta inte den motsvarighet till vårt eget solsystem som man var på jakt efter.

Vid mitten av 1990-talet hade dock mätnoggrannheten nått dithän, att flera grupper inom kort antingen helt säkert skulle kunna hitta exoplaneter – även om de inte var mer massiva än Jupiter och inte heller rörde sig i banor närmre solen – eller också helt säkert kunna konstatera att det inte fanns några kring de stjärnor man undersökte. Stod vi på tröskeln till att hitta en mångfald andra jordar kring andra solar eller skulle det förefalla att vi var ensam i Vintergatans? Var bildandet av planeter något som hörde till den normala utvecklingen av de flesta stjärnor eller var det en unik och speciell händelse i Vintergatans historia? Vardera av alternativen öppnade hisnande perspektiv.

För att utveckla nya typer av observationsmetoder behövs ofta längre tids tillgång till teleskop där man fritt kan experimentera och successivt prova sig fram till bättre lösningar. Om man utvecklar nya instrument för att mäta något som man inte riktigt vet hur eller om man alls kan mäta, är detta normalt inget som man arbetar med vid avlägsna bergsobservatorier. På dylika platser kan vädret visserligen vara enastående men dit tar man normalt bara instrument som redan hunnit bli väl utprovade och som direkt kan utnyttjas utan speciellt underhåll eller ytterligare utvecklingsarbeten. I ännu högre grad gäller detta för instrument som placeras ombord på satelliter.

En av de ledande grupperna var hemmahörande i schweiziska Genève och, i samarbete med franska kolleger, hade de utvecklat en rad instrument för successivt mer precisa mätningar av våglängdsförskjutningar i stjärnspektra. Nu utvecklades ännu en precisionsspektrometer (som fick namnet ”ELODIE”) som kopplades till ett teleskop i södra Frankrike. Teleskopet från 1930-talet var i sig inte speciellt modernt men det var inget problem – dess syfte var ju bara att samla in stjärnljus som sedan skulle ledas till det nya precisionsinstrumentet. En viktig aspekt var att observatoriet låg ganska nära hemmabasen i Genève, så att forskarna därifrån lätt kunde åka ner för att vidareutveckla och göra service på instrumentet.

Det var också genom mätningar med denna spektrometer som gruppen – ledd av Michel Mayor och Didier Queloz – i oktober 1995 kunde avslöja att det helt nära kring en stjärna med katalognumret 51 i Pegasens stjärnbild kretsade en planet med mindre massa än Jupiter. Eftersom dess bana ligger mycket närmare sin

stjärna än vad Merkurius – solens närmsta planet – gör i vårt solsystem, är denna planet mycket het – över 1 000 grader. Dess omloppstid, det vill säga dess ”år”, är också extremt kort, bara drygt fyra dygn. Själva stjärnan 51 Pegasi är visserligen mycket lik solen men denna planet som informellt uppkallats Bellerofon (efter den grekiske hjälte som i legenden lyckades tämja den bevingade hästen Pegasus) liknar alltså ingenting annat i vårt solsystem.

Sedan den schweiziska gruppen offentliggjort sin upptäckt av denna planet, dröjde det bara ett par veckor innan flera andra grupper i världen kunde bekräfta upptäckten. På flera ställen fanns det nu utrustning med tillräcklig känslighet för att hitta exoplaneter som nu började upptäckas i ett allt intensivare tempo, speciellt när man väl insett att dessa kunde även vara så pass olika solens planeter att



Haute Provence-observatoriet, vackert beläget i Provence, norr om Marseille i södra Frankrike. Vid detta observatorium kunde en schweizisk-fransk grupp utveckla de mätmetoder för precisionsmätningar i stjärnspektra som ledde till den första bekräftade upptäckten av en planet kring en annan normal stjärna, i oktober 1995. Foto: Observatoire de Haute-Provence.

längden av deras år kunde vara bara våra dagar eller veckor samt att de kunde röra sig inte bara i cirkulära banor utan även i utdragna elliptiska sådana. Nu ökade antalet kända planeter lavinartat. Efter några år var antalet redan ett par tiotal; efter ett decennium var de flera hundra och när detta skrivs kan man inte ens längre ge någon exakt siffra eftersom andra metoder för att hitta exoplaneter – främst mätning hur stjärnors ljusstyrka avtar något när en planet passerar framför stjärnskivan – lett till tusentals troliga planetupptäckter men där man inte kan vara helt säker på var och en av dem innan man gjort en detaljerad kontrollmätning, något som inte längre är realistiskt eller motiverat att göra för alla dessa. Efter många

års sökande vet vi nu att det finns planeter i stort sett överallt ute i rymden: bara i Vintergatan måste det finnas hundratals miljarder! Och små planeter verkar vara mycket vanligare än de stora, så det finns säkert ett oerhört stort antal jordliknande planeter. Ja, detta vet vi nu. Men vi vet ännu inte hur vanligt det är med liv eller rentav intelligent liv och att ta reda på detta blir nu nästa stora utmaning för astronomi och astrobiologi.