Astronomitävlingen

PDF skapad med hjälp av det öppna källkod-verktyget mwlib. Se http://code.pediapress.com/ för mer information.
PDF generated at: Wed, 02 Mar 2011 10:58:29 UTC

Innehåll

Artiklar

Lyman alfa-skogen 1
Zhang Heng 4
Orionnebulosan 5
Häxhuvudnebulosan 7
Asteroidmåne 8
IK Pegasi 10
Knut Lundmark 19
Uranus ringar 29
Giovanni Antonio Magini 41
Transitmetoden 42
Celest mekanik 47
Galileo (rymdsond) 60
Atmosfärisk refraktion 74
Variabla stjärnor 76
Metoder för att upptäcka extrasolära planeter 96
Einsteinring 104
Gravitationslins 107
Emissionsnebulosa 110
Planetologi 112
Universums storskaliga struktur 114
Nebulosa 116
Guillaume Le Gentil 120
Keplerteleskopet 125
Pulsarplanet 131
Klotformig stjärnhop 135
Big Chil 138
Horisontella jättegrenen 141
Shapley-Curtisdebatten 142
Celesta mekanikens historia 144
Gasjätte 159
Enceladus topografi 162
Kromosfär 166
Heliumflash 168
Hubble Deep Field 169

Hubble Ultra Deep Field 172
Carolyn Porco 175
Frank Drake 182

Referenser

Artikelkällor och författare 184
Bildkällor, -licenser och -bidragsgivare 185

Artikellicenser

Licens 188

Lyman alfa-skogen

Lyman alfa-skogen är en summa av absorptionslinjer av Lyman alfa-övergången i neutralt väte. Dessa uppstår då ljuset från avlägsna kvasarer passerar genom moln av väte innan det når jorden. Att det blir en "skog" av linjer beror på rödförskjutningen i ett expanderande universum. Lyman alfa-skogar observeras i våglängderna för synligt ljus samt ultraviolett strålning och har flera intressanta egenskaper för kosmologin. De berättar bland annat om mängden och distributionen av materia i universum och även om bildandet av galaxer och större strukturer.

Beskrivning

Lymanserien är en serie av energinivåer för elektronövergångar i väte. Linjerna i serien är de emissionslinjer i det ultravioletta spektrat som uppkommer när en elektron faller från en högre energinivåer (n≥2) tillbaka till sin grundnivå (n=1) vilket skickar ut en foton av en speciell energimängd. Motsvarande absorptionslinjer uppkommer då väte istället träffas av en foton och en elektron exciteras. De olika linjerna betecknas med grekiska bokstäver, Lyman alfa, Lyman beta osv. Våglängderna för de olika linjerna fås med Rydbergs formel för väte:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

där R_H = 1,097 * 10^7 m^{-1} är Rydbergs konstant för väte och n = 2,3,4… motsvarar den övre energinivån. Den energiövergången som är mest intressant inom kosmologi är Lyman alfa-linjen, den nivå som motsvarar att en elektron går mellan grundnivån och den näst lägsta nivån, n=2. Denna linjen har den längsta våglängden i Lymanserien, 121,567 nm, och motsvarande frekvens på 2,47 * 10^{15} Hz. Den kortaste våglängden en linje i serien kan ha, då n = ∞, är 91,127 nm.

Lyman alfa-skogen är den summa av absorptionslinjer som motsvarar Lyman alfa-övergången i spektran från kvasarer och i viss mån även avlägsna galaxer. Linjerna uppkommer i intergalaktiska moln av neutralt väte genom vilka ljuset från källan färdas innan det observeras på jorden. Vätet exciteras genom att absorbera fotonerna som motsvarar Lyman alfa-övergången. Anledningen till att det blir en ”skog” av linjer är att ljuset kontinuerligt rödförskjuts i och med universums expansion under den tiden det färdas genom universum. På så sätt är det olika våglängder sett till det ursprungliga ljuset som absorberas på vägen. Eftersom molnen befinner sig på olika avstånd mellan oss och ljuskällan så ger de unika ”fingeravtryck” på olika platser i det observerade spektrat.

Lyman alfa-skogen är en viktig metod för att undersöka det intergalaktiska mediet och kan användas för att bestämma inte bara hur vanligt förekommande dessa moln är utan även dess densiteter och temperaturer. Man kan även söka efter absorptionslinjer för helium och andra tyngre grundämnen och matcha rödförskjutningen för dessa mot dem för väte.

Varianter av Lyman-system

Dämpade Lyman alfa-system

System som har en kolumndensitet på ca 10^{20} atomer*cm^{-2} eller mer, vilket ungefär motsvarar interstellär gas i nutida spiralgalaxer, producerar breda absorptionslinjer på Lyman alfa-våglängden och kallas dämpade Lyman alfa-system. Dessa är ganska ovanliga och tror vara föregångarna till spiralgalaxer. De förekommer på rödförskjutningar upp till ungefär 3. Problemet med att dessa moln skulle vara protogalaktiska moln är att det förekommer ca tio gånger fler sådana system vid en rödförskjutning 3 än man kan förutsätta genom att extrapolera bakåt antalet spiralgalaxer man ser idag. Detta skulle kunna förklaras med att galaxer som har en hög rödförskjutning omges av gasmoln eller skivor av neutralt väte som förstörs när galaxen utvecklas. En annan möjlig teori är att många av dessa system blir till galaxer med liten ljusstyrka på ytan som inte är speciellt effektiva på att producera stjärnor.

Lymangräns-system

System som har en kolumndensitet på ca 10^{17} atomer*cm^{-2} kallas Lymangräns-system och är vanligare förekommande än de dämpade systemen. De är tillräckligt kompakta för att blockera strålning av de våglängder som ligger nära gränsen för fotojonisering av linjerna i Lyman alfa-serien. Strålningen kan alltså inte nå in till mitten av systemen då de yttre delarna skärmar av tillräckligt effektivt. En del av vätet inuti molnet kommer därför att förbli neutralt. En diskontinuitet vid Lymangränsen (91,127 nm) kan detekteras i spektra från dessa system.

Lyman alfa-skogen

System med en kolumndensitet på ca 10^{14} atomer*cm^{-2} ger skarpa absorptionslinjer för Lyman alfa-våglängden. Det är dessa linjer som bildar Lyman alfa-skogen, det blir en skog av linjer i spektrat från en kvasar. Dessa system är väldigt vanliga i universum och har flera intressanta egenskaper. De bevisar att kvasarer kan jonisera det intergalaktiska mediet. Nummerdensiteten för system mellan jorden och olika kvasarer är väldigt lika vilket stärker intrycket av att absorptionslinjerna har sitt ursprung i objekt mellan källan och jorden och inte är kopplade direkt till kvasaren. Lyman alfa-skogen från en enskild kvasar med hög rödförskjutning sträcker sig oftast över ett brett spann av rödförskjutningar och man kan därför anta att det ska synas skillnader i hur tätt absorptionslinjerna förekommer. Detta har att göra med universums utveckling och ju högre rödförskjutning ju fler Lyman alfa-system. Man tror att ultraviolett strålning från kvasarer är den största källan till att jonisera intergalaktisk gas. Att antalet kvasarer är begränsat tyder även på att Lyman alfa-systemen nära en kvasar är mer joniserade än andra.

Observationer

Både ultraviolett strålning och synligt ljus används för att observera Lyman alfa-skogar. Man kan idag studera sådana spektra från kvasarer på upp till ungefär 6 i rödförskjutning. Den stora träffytan för Lyman alfa-övergången då ljuset färdas mot jorden gör detta till den otvivelaktigt känsligaste mätmetoden för att detektera baryoner för en nästan godtycklig rödförskjutning. Det finns två stycken begränsande faktorer för studier av Lyman alfa-skogar, dels den spektrala upplösningen och dels brusvärdet. Vid tidig spektroskopi på 60-talet kunde man få en upplösning på ungefär 1-2 nm vilket nätt och jämnt var tillräckligt för att kunna urskilja spridningen av hastigheter från avlägsna galaxhopar. År 1979 kunde man få en upplösning på 0,08 nm, 1984 var den förbättrad till 0,025 nm och 1990 kunde man göra mätningar med 0,008 nm i upplösning.

Med Hubbleteleskopet kan man göra mätningar på Lyman alfa-skogar med låg rödförskjutning.

Brusvärdet per upplösningsenhet förbättras dock inte med högre spektral upplösning och det krävdes därför tidigare ett stort antal mätningar med stora teleskop för att få ett högupplöst spektrum av en kvasar. På grund av detta utvecklades olika metoder för att extrahera information från Lyman alfa-skogen. Man kunde antingen göra detaljerade analyser av enskilda högupplösta spektra eller enklare analyser av stora mängder lågupplöst data. Senare teleskop med bättre både upplösning och brusvärde har förbättrat den här typen av mätningar avsevärt. I och med användningen av Hubbleteleskopet och dess spektrometer för ultraviolett strålning blev det även möjligt att i viss mån göra mätningar på Lyman alfa-skogen även för rödförskjutningar på mindre än ca 2,5. Dessa går inte att mäta inom det synliga ljuset utan de måste mätas i det ultravioletta spektrat eftersom Lyman alfa-linjen har en våglängd på 121,567 nm.

För högupplösta spektran, där Lyman alfa-linjen går att urskilja, har man funnit att formen på linjerna ganska väl går att approximera med en Voigtprofil, en sammansättning av en Gausskurva och en Lorentzkurva, vilket är vanligt inom spektroskopi. De storheter som går att utläsa för varje linje är då linjebredden, kolumndensiteten samt rödförskjutningen.

Kosmologisk information

Lyman alfa-skogar är en väldigt användbar källa till information om fysikalisk kosmologi. Den främsta användningen av metoden har man för att bestämma mängd och position för materia i universum, men den används även inom en rad andra områden. Eftersom det först och främst går att se ljus från kvasarerna över huvud taget så kan man begränsa hur mycket neutralt väte det finns mellan jorden och källan och även hur det är distribuerat. Tidigare trodde man att det intergalaktiska mediet var jämt fördelat mellan jorden och kvasarer vilket i så fall skulle leda till absorption på alla positioner i spektran mellan oss och kvasaren. Observationer tyder dock på att mediet är ihopklumpat till separata regioner.

Vidare kan analyser av Lyman alfa-skogar säga mycket om hur universum utvecklas och hur dess strukturer bildas. Gasmolnen är inte lika massiva som galaxer. Man har istället gjort datasimuleringar som visar att det är möjligt att galaxer kan bildas från dessa system genom att bara starta utifrån små fluktuationer i materiadensiteten och sedan endast låta gravitation och de andra kända krafterna verka. Regionerna med neutralt väte är formade genom att gas samlas i gravitationella potentialbrunnar inräknat all materia och inte bara den synliga. De är därmed ett tecken på att mörk materia existerar. Man har fått numeriska simuleringar att överensstämma bra med observationer vilket visar att det inte kan finnas för mycket varm mörk materia, partiklar som rör sig mycket nära ljushastigheten. Detta då för mycket sådan skulle utplåna småskaliga strukturer.

Lyman alfa-systemen innehåller även deuterium. Deuterium skapades i det mycket tidiga universum och man tror att det inte nyskapas något efter det, bara förstörs. Även deuterium absorberar ljus från kvasarer och kan därför mätas precis som ^{1}H (protium). Man förutsätter att allt deuterium i systemen har sitt ursprung i det tidiga universum och har sedan mätt mängden i många av systemen. Detta ger det hittills bästa värdet man har fått på mängden deuterium i universum och med nukleosyntesberäkningar från Big Bang kan man även få fram ett bra mått på baryontätheten i universum. Hydrodynamiska simuleringar av hierarkisk strukturformation tyder på att den största delen baryoner finns i det intergalaktiska mediet som har en rödförskjutning större än 2. Galaxer med hög rödförskjutning skulle då utgöra endast en mindre del av mängden materia till skillnad mot vad observationer gjorda på lägre rödförskjutning tyder på.

Externa länkar

- The Lyman Alpha Forest in the spectra of QSOS [1] **(engelska)**
- Large-scale structure in the Lyman-alpha forest: a new technique [2] **(engelska)**
- The Lyman-alpha Forest Power Spectrum from the Sloan Digital Sky Survey [3] **(engelska)**
- Lyman alpha systems and cosmology [4] **(engelska)**

Referenser

[1] http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Sept01/Rauch/frames.html
[2] http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1998MNRAS.301..787L
[3] http://arxiv.org/abs/astro-ph/0405013v1
[4] http://astro.berkeley.edu/~jcohn/lya.html

Zhang Heng

Zhang Heng, född 78 i Nanyang i provinsen Henan i Kina, avliden 139 i Luoyang, var en kinesisk författare, uppfinnare, matematiker, astronom, konstnär, poet, litteraturlärd och statsman.

Frimärke föreställande Zhang Heng.

Han levde under Östra Han-dynastin (CE 25–220) i Kina. Han fick sin utbildning i städerna Luoyang och Chang'an och inledde sin karriär som mindre tjänsteman i Nanyang. Han blev så småningom chefsastronom och palatstjänare vid det kejserliga hovet. Hans kompromisslösa inställning i vissa historiska och kalendariska frågor ledde till att han kom att betraktas som en kontroversiell person, vilket förhindrade att han blev officiell hovhistoriker.

Hans politiska rivalitet med palatsenuckerna under kejsar Shun av Hans regeringstid (125–144) ledde till hans beslut att ge sig av från hovet och istället tjäna som administratör i Hejian, i Hebei. Han återvände hem till Nanyang under en kort period innan han återigen kallades in för att tjänstgöra i huvudstaden. Han dog där ett år senare.

Zhang tillämpade sin gedigna kunskap om mekanik och kugghjul i flera av sina uppfinningar. Han uppfann världens första vattendrivna armillarsfär för att visa astronomiska observationer;[1] förbättrade inflödet till vattenuret genom ytterligare en tank;[2] och uppfann världens första seismometer, vilken kunde urskilja åt vilket väderstreck en jordbävning som ägde rum 500 km bort låg åt.[1] [3] [4] Han förbättrade även den tidigare kinesiska formeln för pi. Han dokumenterade omkring 2 ,500 stjärnor i sin omfattande stjärnkatalog och lade fram teorier om Månens relation till Solen; han tog upp månens sfäricitet, att den ena sidan reflekterar solljus och den andra är mörk, och sol- och månförmörkelser. Hans fu- och shipoesi var känd och kommenterad av senare kinesiska författare. Zhang fick många postuma utmärkelser för sin lärdom och genialitet och räknas som en polyhistor bland vissa forskare. Vissa moderna forskare har jämfört hans arbete inom astronomi med Ptolemaios (CE 86–161).

Han har givit namn åt månkratern Chang Heng, asteroiden 1802 Zhang Heng och mineralen Zhanghengite.

Tidigt liv

Han föddes i staden Xi'e i Nanyangområdet (norr om dagens Nanyang City, i Henanprovinsen). Zhang Heng kom från en framstående, men inte särskilt förmögen familj.[5] [6] [7] Hans farfar, Zhang Kan, hade varit guvernör ett område och en av de ledare som stödde återupprättandet av Handynastin genom Kejsar Guangwu (r. 25–57), efter att ursurpatorn Wang Mang avlidit och hans kortlivade Xindynasti (CE 9–23) avslutats.[5] [8] [9] När Zhang var tio år gammal dog hans far och han uppfostrades av sin mor och mormor. [8] Han var en skicklig författare redan som ung och år 95 började han studera på universiteten i Chang'an och Luoyang.[5] Då han reste till Luoyang, passerade Zhang en het källa nära Mount Li och dedicerade *Wenquan* (温泉).[10] , en av sina tidigaste fu-dikter till den. Efter att han studerat i några år vid Luoyangs kejserliga universitet (Taixue), blev han väl bevandrad i de de klassiska kinesiska texterna och blev vän med betydande personer, som matematikern och kalligrafen Cui Yuan (78–143), tjänstemannen och filosofiska kommentatorn Ma Rong (79–166) och filosofen er Wang Fu (78–163).[5] [7] Myndigheterna erbjöd Zhang olika poster, däribland som en av de Tre excellenserna, men han tackade nej till dessa poster.[5] [10]

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, Zhang_Heng [11], *där anges följande noter:*

[1] Needham (1986), Volume 4, 30.
[2] Needham (1986), Volume 4, Part 2, 479 footnote e.
[3] Wright (2001), 66.
[4] Huang (1997), 64.
[5] Crespigny (2007), 1049.
[6] Xiao and Knechtges (1996), 397.
[7] Yan (2007), 127.
[8] Asiapac (2004), 120.
[9] Loewe (1968), 105.
[10] Neinhauser et al. (1986), 211.
[11] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Zhang_Heng&oldid=400684961

Externa länkar

- Wikimedia Commons har media som rör Commons:Zhang Heng

Orionnebulosan

Orionnebulosan, även kallad *M42 - Messier 42*, eller *NGC 1976*, är en ljusstark nebulosa i Orions stjärnbild.

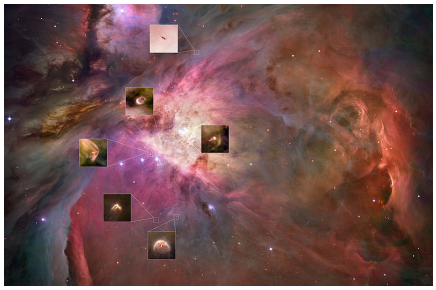
Orionnebulosan M42.

Nebulosan har en diameter på cirka 24 ljusår och ligger 1.344 ± 20 ljusår bort från jorden. Det gör den till det närmaste området i Vintergatan där massiv stjärnbildning kan observeras.

Det är möjligt att se Orionnebulosan med blotta ögat som den suddiga fläck som utgör mellersta "stjärnan" i Orions svärd. Den hittas enklast genom att utgå från den mellersta stjärnan i Orions bälte och nedanför denna finna de tre ljuspunkter i en lodrät rad som utgör Orions svärd. Den mellersta av dessa är Orionnebulosan. Nebulosan är egentligen bara en liten välupplyst del av ett mycket större gasmolnskomplex som upptar hela Orions stjärnbild.

Orionnebulosan är både en så kallad emissionsnebulosa och en reflektionsnebulosa. I den centrala och ljusaste delen av nebulosan kan man även med ett mindre teleskop finna de fyra ljusstarka stjärnor som bildar det så kallade Trapetset eller Trapezium. Dessa jättestjärnor är tillsammans med många andra stjärnor i regionen relativt nybildade, troligen bara för 1-3 miljoner år sedan. De producerar väldiga stjärnvindar som skapar chockvågor i det omgivande gasmolnet och blir därmed orsak till att ytterligare stjärnor bildas. Enbart den massivaste av de fyra stjärnorna, Theta Orionis C, genererar en mäktig stjärnvind som är 100 000 gånger starkare än solens. Den ultravioletta strålningen från Trapetsstjärnorna joniserar nebulosans gasmoln vilket ger upphov till molnets rödaktiga färg.

Orionnebulosans relativa närhet till jorden har gjort den till ett av de allra mest studerade objekten på stjärnhimlen. Detta har på senare år lett fram till helt nya insikter om hur stjärnor och planetsystem bildas och utvecklas. Man känner för närvarande till cirka 700 stjärnor i Orionnebulosan som är under bildande. Hubbleteleskopet har bland dessa hittat över 150 som omges av en protoplanetär skiva vilken utgör förstadiet till utvecklingen av ett planetsystem. Studierna av detta har ger en klarare bild av hur vår egen sol och jord har kommit till.



Exempel på nya stjärnor och planetsystem under bildande i Orionnebulosan.

Se även

- Messiers katalog
- Charles Messier
- Guillaume Le Gentil

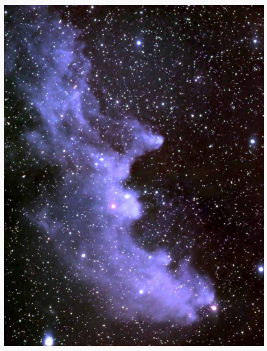
Externa länkar

- Wikimedia Commons har media som rör [/wiki/Commons:Category:Orion Nebula Orionnebulosan]
- Bilder från Hubbleteleskopet [1] **(engelska)**

Referenser

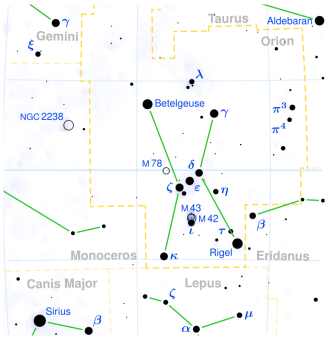
[1] http://hubblesite.org/gallery/tours/tour-orion/

Häxhuvudnebulosan

Häxhuvudnebulosan

Häxhuvudnebulosan. Notera att söder är uppåt i bilden.
Observationsdata
Typ — Reflektionsnebulosa
Stjärnbild — Eridanus
Rektascension — $05^{t}07^{m}28^{s}$
Deklination — 07°12'03"
Avstånd — 1000 [1] lj
Skenbar storlek — 180' x 60 '
Andra beteckningar
IC 2118, NGC 1909, Cederblad 41
Se också: Nebulosor, Lista över nebulosor

Häxhuvudnebulosan, eller **IC 2118**, är en reflektionsnebulosa som har fått sitt namn på grund av dess irregulära form som liknar ett häxhuvud. Den ligger i utkanten av stjärnbilden Eridanus, nära stjärnan Cursa (Beta Eridani, β Eri), som är Eridanus näst ljusstarkaste stjärna. Häxhuvudnebulosan ligger också ganska nära Rigel (Beta Orionis, β Ori), en mycket ljusstark stjärna i stjärnbilden Orion, som också är orsaken till att denna nebulosa lyser.

Att observera Häxhuvudnebulosan



En stjärnkarta som bl.a. visar Rigels och Beta (β) Eridanus positioner.

Häxhuvudnebulosan är en mycket ljussvag nebulosa och kan därför vara lite svår att få syn på, även om den är väldigt stor. Man måste därför ha en mycket mörk och stjärnklar natt, och vara så långt ifrån alla ljusföroreningar som möjligt. Ju större apertur, och ljussamlingsförmåga, kikaren eller teleskopet har, desto större är chansen att man får syn på denna nebulosa.

Eftersom nebulosan är så ljussvag så går den inte att se med blotta ögat.

Precis som med de flesta djuprymdsobjekt, så måste man fotografera Häxhuvudnebulosan för att kunna se den i färg. Detta är för att ögats tappar (som reagerar på olika färger) inte är tillräckligt känsliga för att se mycket ljussvaga objekt, till skillnad från stavarna (som är mycket ljuskänsliga, men reagerar inte på färger).

Källor

[1] ”Astronomy Picture of the Day” (http://apod.nasa.gov/apod/ap010227.html) (html). . Läst 20 november 2010.

Externa länkar

- Wikimedia Commons har media som rör [/wiki/Commons:Category:IC 2118]

Asteroidmåne

En **asteroidmåne** är en himlakropp som kretsar kring en annan asteroid som dess naturliga satellit. Man tror att många asteroider och objekt i kuiperbältet har egna månar, i vissa fall av ganska omfattande storlek. Upptäckten av asteroidmånar (och andra binära objekt i allmänhet) är mycket viktiga då man genom att kartlägga månens bana kan avgöra asteroidens densitet och massa och även få en inblick i dess fysiska egenskaper. Fram till december 2010 har 192 asteroider med tillhörande måne/ månar upptäckts.[1]

243 Ida och dess måne Dactyl.

Terminologi

Som tillägg till termerna naturlig satellit och måne används ibland *binära objekt* för att beskriva asteroidmånar. Om ett av objekten är betydligt större så används ofta *primär* och för dess kompanjon *sekundär*. Dubbelasteroid kan ibland användas för att beskriva system där asteroiden och dess måne är av ungefär samma storlek medan *binära objekt* har en tendens att användas oberoende av de relativa storlekarna. Då binära asteroider liknar varandra i storlek kan även termen binära kompanjoner användas istället för att kalla det mindre objektet för en satellit. Ett exempel på en binära kompanjoner är 90 Antiope upptäckt först 1 oktober 1866 av den asteroidsökande astronomen R. Luther i Düsseldorf som då var ovetandes om dess ovanliga egenskaper. På Keck-observatoriet på Mauna Kea i Hawaii den 10 augusti 2000 upptäckte man sedan att asteroiden i själva verket bestod av två jämnstora binära objekt.

Upptäckter

Fram till december 2010 har 192 asteroidmånar upptäckts, 72 i asteroidbältet (5 med två satelliter), 38 jordnära objekt, 4 i Jupiters omloppsbana runt solen, 4 som korsar Mars bana (2 med två satelliter, 1 med tre satelliter) samt 66 transneptunska objekt.[1]

I samband med en ockultation av stjärnan SAO 120774, 1978 föreslogs det att asteroiden 532 Herculina skulle ha en egen måne och ytterligare rapporter om asteroidmånar fortsatte sedan att presenteras de efterföljande åren. Även om observationerna ansågs kontroversiella till en början så föreslog Thomas Wm. Hamilton 1978 i ett brev till Sky & Telescope magazine att Clearwatersjöarna i Quebec, Kanada skulle ha uppstått genom en kollision av just binära kompanjoner.

Amatörastronomer fortsatte att observera stjärnor som tycktes släckas och tändas då asteroider passerade förbi i vad som kallas stjärnockultation men dessa observationer kunde aldrig bekräftas av upprepade observationer.

Det lät sig dröja till 1993 innan den första asteroidmånen blev bekräftad när rymdsonden Galileo tog bilder som visade att asteroiden 243 Ida hade en satellit i omloppsbana. 1998 blev 45 Eugenia den andra asteroiden att upptäckas med en egen måne. 2001 blev 617 Patroclus och dess i princip lika stora måne **Menoetius** de första binära kompanjonerna att upptäckas i Jupiters omloppsbana runt solen. Den första transneptunska dubbelasteroiden 1998 WW31 bekräftades 2002.

Trippelsystem

Den 9 augusti 2004 blev 87 Sylvia den första kända trippelasteroiden att upptäckas då man fann den andra månen **Remus** i dess omloppsbana där man redan kände till **Romolus**. När man sedan 2005 fann en andra måne i omloppsbana runt 45 Eugenia blev systemet alltså även näst först i att identifieras som *trippelasteroid*. Under 2005 blev asteroiden Haumea det andra kända objektet i Kuiperbältet efter Pluto med fler än bara en måne.

Förekomst

Man uppskattar 2% av alla asteroider att ha egna månar. Det är dock svårt att göra bedömningar gällande binära objekt då den data som finns tillgänglig är inkonsekvent och visar på att frekvensen tycks variera mellan olika kategorier av objekt. Den odiskutabla observatoriska datan som finns tillgänglig består av avstånd från jorden, storlek, separation mellan objekten samt den totala ljusmängd som himlakroppen exponeras för i förhållande mellan det ljus som reflekteras och utstrålas. Vidare uppskattar man att 11% av alla transneptunska objekt (TNO) består av binära eller multipla objekt medan tre av fyra kända stora TNO åtminstone har en satellit.

Uppkomst

Man vet ännu inte med säkerhet hur asteroidmånar uppstår. Det finns mängder av teorier bland vilka det anses mest troligt att de formas av spillror från den primära asteroiden som brytits loss efter kollisioner. Det är även möjligt att asteroidmånar uppstår när den primära asteroiden fångar upp mindre objekt i dess gravitation.

Om formationen skapats genom en kollision så hindras det sekundära objektet från att helt separera genom rörelsemängdsmomentet av objekten, dvs. av massan och separationen. Denna modell stämmer väl in med närbelägna binära objekt som Pluto och dess måne Charon medan det anses osannolikt att distansierade binära objekt med liknande massa har tillkommit på detta vis.

Bland jordnära objekt, objekt i asteroidbältet, himlakroppar i Jupiters omloppsbana och objekt som korsar Mars omloppsbana så varierar avståndet mellan kända binära objekt från några hundra kilometer (243 Ida, 3749 Balam till mer än 3000 kilometer (379 Huenna]. Bland transneptunska objekt varierar avstånden mellan 3.000 till 50.000 kilometer.

Referenser

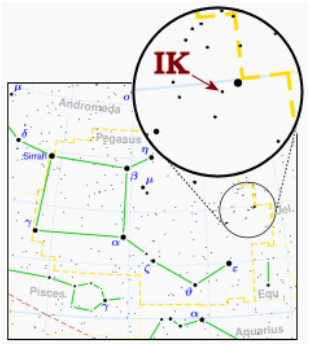
[1] Wm. Robert Johnston (2010-12-11). ”Asteroids with Satellites” (http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html) (på engelska). Johnston's Archive. . Läst 2010-12-22.

Externa länkar

- Orbits of Binary Asteroids with Adaptive Optics (http://astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/)
- Asteroids with Satellites (http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html)

IK Pegasi

IK Pegasi



IK Pegasis läge

Observationsdata **Epok J2000**	
Stjärnbild	Pegasus
Rektascension	$21^{t}26^{m}26.6624^{s}$[1]
Deklination	+19°22'32.304"[1]
Stjärntyp	
Spektralklass	A8m:[2] /DA[3]
Variabeltyp	Delta Scuti[2]
Astrometri	
Radialhastighet (R_V)	-11.4[1] km/s
Egenrörelse (μ)	RA: 80.23[1] mas/år Dek.: 17.28[1] mas/år
Parallax (π)	21.72± 0.78 mas
Absolut magnitud (M_V)	2.762[4]
Detaljer	
Massa	1.65[5] /1.15[6] $M_\odot$
Radie	1.6[5] /0.006[3] $R_\odot$
Luminositet	8.0/0.12[7] $L_\odot$
Temperatur	7,700[8] /35,500[6] K
Metallhalt	117[8] [5] /– % Sun
Rotationshastighet	< 32.5[8] /– km/s
Ålder	5–60 × 10^{7}[5] år
Andra beteckningar	

AB: V* IK Peg, HR 8210, BD +18°4794, HD 204188, SAO 107138, HIP 105860.[1]
B: WD 2124+191, EUVE J2126+193.[9] [10]

IK Pegasi (eller **HR 8210**) är ett system av dubbelstjärnor i stjärnbilden Pegasus. Systemet är precis tillräckligt klart lysande för att ses med blotta ögat, och ligger omkring 150 ljusår från solsystemet.

Den primära stjärnan, IK Pegasi A, är en stjärna av spektraltyp A i huvudserien som uppvisar mindre pulseringar i luminositet. IK Pegasi A kategoriseras som en stjärna av Delta Scuti-variabeln, och har en periodisk luminitetsvariationscykel som upprepar sig omkring 22,9 gånger per dag.[5] Dess kompanjon, IK Pegasi B, är en massiv vit dvärg - en stjärna som har utvecklats förbi huvudserien och som inte längre genererar energi genom fusion. De kretsar kring varandra var 21,7 dag och har ett genomsnittligt avstånd på omkring 21 miljoner kilometer, eller 0.21 astronomiska enheter (AU). Det är mindre än Merkurius omloppsbana kring Solen.

IK Pegasi B är den närmaste kända ursprungliga supernovakandidaten. När den primära stjärnan - IK Pegasi A - börjar utvecklas till en röd jätte förväntas den växa till en radie där den vita dvärgen anhopar materia från det expanderande gasformiga höljet. När den vita dvärgen närmar sig Chandrasekhargränsen på 1,44 solmassor kan den explodera som en Typ Ia-supernova.[11]

Observationer

Stjärnsystemet katalogiserades i den astrometriska undersökningen *Durchmusterung* från 1862 som BD +18°4794B. Därefter förekom den i Edward Charles Pickerings *Bright Star Catalogue* från 1908 som HR 8210.[12] Namnet "IK Pegasi" kom från den namngivningsmetod av variabla stjärnor som introducerades av Friedrich Wilhelm August Argelander.

Undersökningar av stjärnans spektrografiska egenskaper visade den karaktäristiska absorptionslinjeförskjutningen hos ett binärt stjärnsystem. Förskjutningen skapas när deras omloppsbana tar medlemsstjärnorna först mot och sedan iväg från observatören vilket skapar en dopplereffekt i våglängden av linjens egenskaper. Beräkningen av förskjutningen gör att astronomer kan bestämma den relativa orbitala hastigheten i åtminstone en av stjärnorna även om de inte kan avgöra de individuella komponenterna.[13]

1927 använde den kanadensiska astronomen William Edmund Harper sin teknik för att beräkna denna enradiga spektroskopiska binära stjärnas period och bestämde den till 21,724 dagar. Han beräknade även ursprungligen den orbitala excentriciteten till 0,0027. Senare beräkningar gav en excentricitet på noll, vilket är värdet för en cirkulär omloppsbana.[11] Hastighetsamplituden beräknades till 41,5 km/s, vilket är den primära stjärnans högsta hastighet längs siktlinjen till solsystemet.[14]

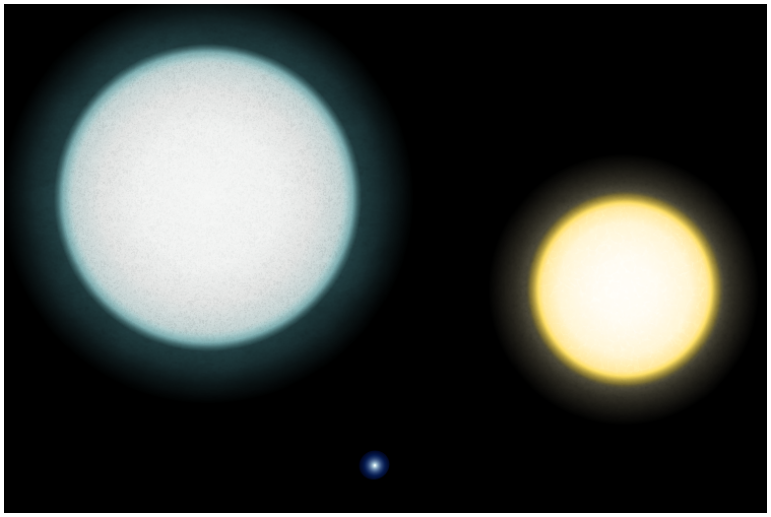
Avståndet till systemet IK Pegasi kan mätas direkt genom att observera systemets små parallaxa förskjutningar (mot de mer avlägsna stjärnbakgrunderna= när jorden kretsar kring solen. Förskjutningen mättes till hög precision av av rymdfärjan Hipparcos vilket gav en beräkning av distansen på 150 ljusår med en exakthet på ±5 ljusår.[15] Samma rymdfärja mätte även systemets egenrörelse, det vill säga, de små kantiga rörelser som IK Pegasi gör över himlen på grund av dess rörelser genom rymden. Kombinationen av avståndet och egenrörelsen kan användas för att beräkna IK Pegasis tvärgående hastighet till 16,9 km/s.[16] Den tredjse komponenten, den heliocentriska radialhastigheten, kan mätas med den genomsnittliga rödförskjutningen (eller blåförskjutning) av stjärnspektrumet. *General Catalogue of Stellar Radial Velocities* listar en radialhastighet på -11,4 km/s för systemet.[17] Kombinationen av dessa två rörelser ger en rymdhastighet på 20,4 km/s relativt till solen.[18]

Det utfördes ett försök att fotografera systemets individuella komponenter med hjälp av rymdteleskopet Hubble, men stjärnorna visades vara för nära för att få en bra skärpa.[19] Färska beräkningar med rymdteleskopet Extreme Ultraviolet Explorer gav en exaktare omloppsperiod på 21,72168 ± 0,00009 dagar.[9] Banlutningen på systemets banplan tros vara nästan exakt (90°) som man ser den från jorden. Om det är så kan det vara möjligt att se en eklips.[6]

IK Pegasi A

Hertzsprung-Russell-diagrammet (HR-diagram) är en luminositetmarkör mot ett färgindex för en rad stjärnor. IK Pegasi A är för närvarande en huvudseriestjärna. IK Pegasi A ligger dock i en smal, nästan vertikal remsa på diagrammet, som kallas instabilitetsremsan. Stjärnor som befinner sig i det här bandet oscillerar koherent, vilket resulterar i periodiska pulseringar i stjärnans luminositet.[20]

Pulseringarna är ett resultat av en process som kallas κ-mekanism. En del av stjärnans yttre atmosfär blir optiskt tjock på grund av partiell jonisering av vissa grundämnen. När dessa atomer tappar en elektron ökar sannolikheten att de kommer absorbera energi. Detta resulterar i sin tur i en temperaturökning som gör att atmosfären expanderar. Den inflaterade atmosfären blir mindre joniserad och förlorar energi, vilket gör att den kallnar och blir mindre igen. Resultatet av cykeln är en periodisk pulsering av atmosfären och en passande luminositetsvariation.[20]



De relativa dimensionerna av IK Pegasi A (vänster), B (mitten ner) och solen (höger).[21]

Stjärnorna inom instabilitetsremsan som korsar huvudserien kallas Delta Scuti-variabler. De har fått sitt namn från den prototypiska stjärnan för sådana variabler, Delta Scuti. Variablerna varierar vanligtvis från spektraltyp A2 till F8, och en stjärnluminositetsklass av III (subjättar) till V (huvudseriestjärnor). De är variabler med korta perioder som har regelbundna pulseringshastigheter på mellan 0,025 och 0,25 dagar. Delta Scuti-stjärnor har ett överflöd av grundämnen liknande solens (se Population I-stjärnor) och mellan 1,5 och 2,5 solmassor.[22] IK Pegasi A:s pulseringshastighet har beräknats till 22,9 cykler per dag, eller en var 0,044 dagar.[5]

Astronomer definierar en stjärnas metallicitet som överflödet av grundämnen som har högre atomnummer än helium. Detta beräknas genom en spektroskopisk analys av atmosfären, följt av en jämförelse med de förväntade resultaten från beräknade stjärnmodeller. I fallet IK Pegasus A är det beräknade metallöverflödet $[M/H] = +0{,}07 \pm 0{,}20$. Notationen ger logaritmen på förhållandet mellan metalliska grundämnen (M) och väte (H), minus logaritmen av solens metallförhållande. (Om stjärnan passar ihop med solens metallöverflöd blir värdet således noll.) Ett logaritmiskt värde på 0,07 motsvarar ett faktiskt metallicitetsförhållande på 1,17, så stjärnan är omkring 17% rikare på metalliska grundämnen än solen.[5] Felmarginalen för resultatet är dock ganska stort.

Spektrumet av A-klass-stjärnor som IK Pegasi A uppvisar starka Balmerserier av väte tillsammans med absorptionslinjer av joniserade metaller, inklusive K-linjen av joniserat kalcium (Ca II) på en våglängd av 393,3 nm.[23] Spektrumet av IK Pegasi A klassificeras som marginell Am (eller "Am:"), vilket betyder att den uppvisar kännetecknen av en spektraltyp A men är marginellt metalliskt randade. Det betyder att stjärnans atmosfär uppvisar något högre än normala absorptionslinjestyrkor för metalliska isotoper.[2] Stjärnor av spektraltyp Am är ofta delar av nära dubbelstjärnor med en sett till massa ungefär lika stor kompanjon, såsom fallet är med IK Pegasi.[24]

Stjärnor av spektraltyp A är varmare och massivare än solen, men som en följd är deras livsspann på huvudserien kortare. För en stjärna som har en massa som liknar IK Pegasi A (1,65 solar), är den förväntade livstiden på huvudserien $2\text{-}3 \times 10^9$ år, vilket är ungefär den halva nuvarande åldern på solen.[25]

Vad gäller massan, är den relativt unga Altair den närmaste stjärnan till solen som är en stjärnparallell av komponent A-den har en massa beräknad 1,7 gånger solmassan. Dubbelstjärnesystemet i sin helhet har vissa likheter till det

närliggande systemet Sirius, som har en klass-A primär stjärna och en vit dvärgkompanjon. Sirius A är dock massivare än IK Pegasi A och omloppsbanan av dess kompanjon är mycket större, med en halv storaxel på 30 AU.

IK Pegasi B

IK Pegasi A är en kompakt vit dvärg. Den här sjärnobjektskategorin har nått slutet på sin evolutionära livstid och genererar inte längre energi genom kärnfusion. Istället utstrålar vita dvärgar vanligtvis stadigt iväg sin överskottsenergi, vanligtvis lagrad värme, blir kallare och svagare under flera miljarder år.[26]

Evolution

Nästan alla små och medelstora stjärnor (lägre än omkring nio solmassor) slutar som vita dvärgar när de har förbrukat sitt förråd av termonukleärt bränsle.[27] Sådana stjärnor ägnar större delen av sitt energiproducerande liv som en stjärna i huvudserien. Den tid som en stjärna spenderar i huvudserien beror huvudsakligen på dess massa. Livslängden minskar ju större massan är.[28] För att IK Pegasi B skall ha kunnat bli en vit dvärg före komponent A måste den således en gång ha varit större än komponent A. Faktum är att föregångaren till IK Pegasi B tros ha haft en massa mellan 5 och 8 solmassor.[11]

När vätebränslet i kärnan av IK Pegasi B:s föregångare konsumerades utvecklades den till en röd jätte. Den inre kärnan kontrakterade tills väteförbränningen började i ett skal som omgav heliumkärnan. För att kompensera för temperaturökningen expanderade det yttre höljet till flera gånger storleken av radien som den hade som stjärna i huvudserien. När kärnan nådde en temperatur och täthet där helium kunde börja genomgå fusion kontrakterade stjärnan och blev vad som kallas en stjärna av den horisontella jättegrenen. Det vill säga, den tillhörde en grupp stjärnor som faller på en grovt horisontell linje på Hertzsprung-Russell-diagrammet. Heliumfusionen skapade en inert kärna av kol och syre. När helium förbrukades i kärnan skapades ett heliumförbrännande skal förutom det väteförbrännande skalet, och stjärnan flyttade till vad astronomer kallar för den asymptotiska jättegrenen (ett spår som leder till det övre högra hörnet av Hertzsprung-Russell-diagrammet). Om stjärnans massa var tillräcklig skulle kolfusion slutligen börja i kärnan, och därigenom skapa syre, neon och magnesium.[29] [30] [31]

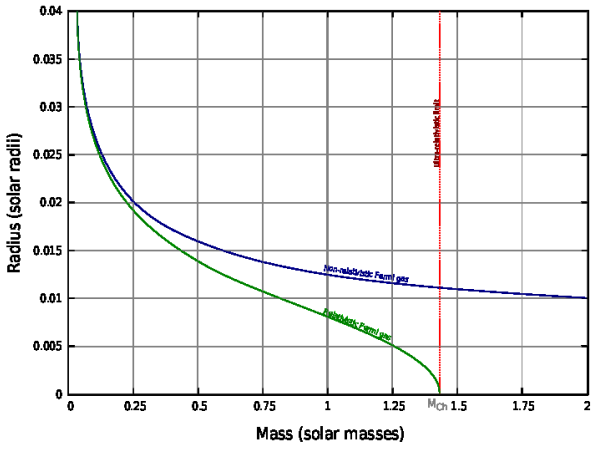
En röd jättes yttre hölje, eller det yttre höljet på en stjärna av den asymptotiska jättegrenen, kan expandera till flera hundra gånger solens radie, och får därigenom en radie på omkring 5×10^8 km (3 A.U.) såsom den pulserande stjärnan av den asymptotiska jättegrenen Mira.[32] Det är gott och väl förbi den nuvarande separeringen mellan de två stjärnorna i IK Pegasi, så under den här tidsperioden delade de två stjärnorna ett gemensamt hölje. Därför kan IK Pegasi A:s yttre atmosfär fått en isotopökning.[6]

En tid efter att en inert kärna av syre och kol (eller syre, magnesium och neon) skapats, börjar termonukleär fusion inträffa längs med de två skal som är koncentriska med kärnregionen. Väte förbrändes längs det yttersta skalet, medan heliumfusion skedde i den inerta kärnan. Den här dubbelskaliga fasen är dock instabil, så den producerade termiska pulseringar som orsakade storskaliga massutstötningar från stjärnans yttre hölje.[33] Det här utkastade materialet skapade ett väldigt moln av material kallat planetarisk nebulosa. Allt förutom en liten del av vätehöljet drevs iväg från stjärnan, vilket lämnade bakom en vit dvärgrest som huvudsakligen bestod av den inerta kärnan.[34]

Helixnebulosan skapas genom en stjärna som utvecklas till en vit dvärg. Bild från NASA & ESA.

Komposition and struktur

IK Pegasi B:s inre kan antingen bestå helt och hållet av kol och syre, eller möjligtvis, om dess föregångare genomgick kolförbränning, kan den ha en kärna av syre och neon, omgivet av en mantel berikad med kol och syre.[35] [36] Oavsett, så är dess yttre omgivet av en atmosfär bestående av nästan rent väte, som ger stjärnan dess spektraltyp DA. På grund av högre atommassa kommer allt helium i höljet ha sjunkit under väteskiktet.[3] Hela stjärnans massa stöds av elektronförfallstryck, en kvantmekanisk effekt som begränsar mängden materia som kan pressas in i en given volym.



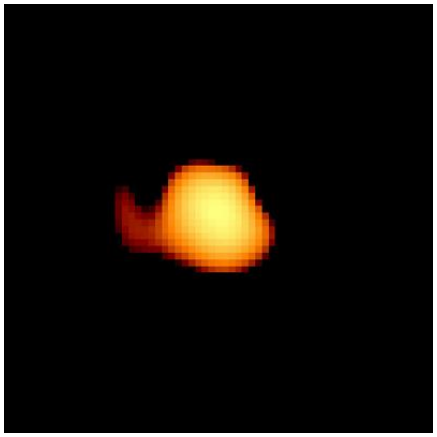
Grafen visar en vit dvärgs teoretiska radie utifrån dess massa. Den gröna kurvan är för en relativistisk elektrongasmodell.

Med en beräknad solmassa på 1,15 anses IK Pegasi B vara en vit dvärg med hög massa.[37] Även om dess radie inte har observerats direkt kan den beräknas från teoretiska relationer mellan massan och radien på vita dvärgar,[38] vilket ger den ett värde på omkring 0,60% av solens radie.[3] En annan källa ger dock värdet 0,72%, så viss osäkerhet kvarstår fortfarande.[5] Stjärnan förpackar alltså en massa som är större än solen in i en volym som är ungefär lika stor som jorden, vilket ger en fingervisning om stjärnans extrema densitet.[39] En vit dvärgs massiva och kompakta karaktär producerar en stark ytgravitation. Astronomer betecknar det här värdet genom decimallogaritmen av gravitationskraften i cgs-enheter, eller log *g*.. För IK Pegasi B är log *g* 8,95.[3] I jämförelse är jordens log *g* 2,99. Ytgravitationen på IK Pegasi är alltså över 900 000 större än gravitationskraften på jorden.[40]

IK Pegasi B:s effektiva yttemperatur beräknas vara omkring 35 500 ± 1,500 K,[6] vilket gör den till en stark källa till ultraviolett strålning.[3] [41] Under normala förhållanden skulle den här vita dvärgen fortsätta att kylas ner i mer än en miljard år, medan dess radie skulle kvarstå nästan oförändrad.[42]

Framtida evolution

I en avhandling från 1993 identifierade David Wonnacott, Barry J. Kellett och David J. Stickland systemet som en kandidat att utvecklas till en typ 1a-supernova eller en kataklysmisk variabel.[11] I och med att den ligger på 150 ljusår är det den närmaste föregångaren till supernovakandidaten till jorden. Under den tid som det kommer att ta för systemet att utvecklas till ett stadium där en supernova kan inträffa kommer den dock att ha förflyttat sig avsevärt bort från jorden. Den kan då dock fortfarande utgöra ett hot.



Bilden från Hubbleteleskopet visar den pulserande asymptotiska jättegrensstjärnan Mira.

Någon gång i framtiden kommer IK Pegasi A förbruka vätebränslet i dess stjärna och börja utvecklas från huvudserien till att bli en röd jätte. En röd jättes hölje kan växa väldigt mycket, och utöka sin storlek till uppemot hundra gånger dess tidigare radie, eller till och med större. När IK Pegasi A expanderar till den punkt där dess yttre hölje svämmar över dess kompanjons roche-lob kommer en gasformig ackretionsskiva bildas runt den vita dvärgen. Gasen, som huvudsakligen består av väte och helium, kommer då växa samman med ytan på kompanjonen. Massöverföringen mellan stjärnorna kommer också göra att deras gemensamma omloppsbana kommer krympa.[43]

På den vita dvärgens yta kommer den sammanväxta gasen komprimeras och upphettas. Vid något tillfälle kommer den ackumulerade gasen nå de tillstånd som krävs för att vätefusion ska inträffa, vilket producerar en termisk rusningsreaktion som kommer driva iväg en del av gasen från ytan. Det skulle resultera i en återkommande novaexplosion - en kataklysmisk variabelstjärna - och den vita dvärgens luminositet sklle snabbt öka med flera med flera skenbara magnituder under en flera dagar eller månader lång period.[44] Ett exempel på en sådan stjärna är RS Ophiuchi, ett binärt system som består av en röd jätte och en vit dvärgkompanjon. RS Ophiuchi har utvidgats till en (återkommande) nova åtminstone sex gånger, och har varje gång assimilerat den massa väte som behövs för att skapa en rusningsexplosion.[45] [46]

Det är möjligt att IK Pegasi B kommer att följa ett liknande mönster.[45] För att ackumulera massa kan bara en del av den sammanväxta gasen dock slungas ut, så att med varje cykel skulle den vita dvärgen öka stadigt i massa. Således skulle IK Pegasi B även om den betedde sig som en återkommande nova fortsätta att ackumulera ett växande hölje.[47]

En alternativ modell som gör att den vita dvärgen stadigt kan ackumulera massa utan att utbryta som en så kallad CBSS-stjärna, en tät dubbelstjärna som är en supermjuk röntgenkälla. I ett sådant scenario skulle massöverföringsgraden till den nära vita dvärgdubbelstjärnan vara sådan att en stadig furionsförbränning kan bibehållas på ytan när det inkommande vätet förbränns med termonukleär förbränning, för att producera helium. Den här kategorin av supermjuka källor består av vita dvärgar med stor massa och väldigt höga yttemperaturer ($0{,}5 \times 10^6$ till 1×10^6 K[48]).[49]

Om den vita dvärgens massa skulle uppnå chandrasekhargränsen på 1,44 solmassor kommer den inte längre stödjas av tryck från elektrondegenerationen och kommer kollapsa. För en kärna som huvudsakligen består av syre, neon och magnesium kommer den kollapsande vita dvärgen förmodligen bilda en neutronstjärna. I så fall kommer bara en del av stjärnans massa slungas ut.[50] Om kärnan istället består av kol och syre kommer det ökande trycket och temperaturen istället initiera kolförbränning i centrumet innan chandrasekhargränsen uppnås. Det dramatiska resultatet är en rusande nukleär fusionsreaktion som förbränner en substantiell del av stjärnan inom en kort tid. Det kommer vara tillräckligt för att lösgöra stjärnan i en kataklysmisk typ 1a-supernoveexplosion.[51]

En sådan supernovahändelse kan utgöra visst hot mot liv på jorden. Man tror att den primära stjärnan, IK Pegasi A, förmodligen inte kommer utvecklas till en röd jätte inom den nära framtiden. Som det visats tidigare är denna stjärnas rymdhastighet jämfört med solen 20,4 km/s. Detta är som att förflytta sig ett ljusår varje 14 700 år. Efter 5 miljoner år, kommer stjärnan vara separerad från solen med mer än 500 ljusår. En typ 1a-supernova inom tusen parsec tros kunna påverka jorden.[52]

Efter en supernoveexplosion kommer kvarstoden av givarstjärnan (IK Pegasus A) fortsätta med den slutgiltiga hastigheten den hade när den ingick i ett nära kretsande dubbelstjärnesystem. Den resulterande relativa hastigheten kan vara så hög som 100–200 km/s, vilket skulle kunna placera den bland höghastighetsmedlemmarna i Vintergatan.

Kompanjonen kommer också ha förlorat lite massa under explosionen, och dess närvaro kan skapa ett gap i de expanderande spillrorna. Från den punkten och framåt kommer den utvecklas till en enda vit dvärg.[53] [54] Supernovaexplosionen kommer skapa en supernovarest av expanderande material som slutligen kommer gå in i det omgivande interstellära mediet.[55]

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia [56]

Fotnoter

[1] "SIMBAD Query Result: HD 204188 -- Spectroscopic binary" (http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=HD+204188). . Läst 2010-11-15.

[2] Kurtz, D. W. (1978). " Metallicism and pulsation - The marginal metallic line stars (http://adsabs.harvard.edu/abs/1978ApJ...221..869K)". *Astrophysical Journal* **221**: s. 869–880. doi: 10.1086/156090 (http://dx.doi.org/10.1086/156090). . Läst 2007-05-14.

[3] Barstow, M. A.; Holberg, J. B.; Koester, D. (1994). " Extreme Ultraviolet Spectrophotometry of HD16538 and HR:8210 Ik-Pegasi (http://adsabs.harvard.edu/abs/1994MNRAS.270..516B)". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **270** (3): s. 516. . Läst 2007-05-15.

[4] Den absoluta magnituden M_v ges av:

$$M_v = V + 5(\log_{10}\pi + 1) = 2.762$$

där V är den visuella magnituden och π är parallaxen. Se:
Tayler, Roger John: *The Stars: Their Structure and Evolution*, Cambridge University Press, 1994, sid. 16. ISBN 0521458854.

[5] D. Wonnacott, B. J. Kellett, B. Smalley, C. Lloyd (1994). " Pulsational Activity on Ik-Pegasi (http://adsabs.harvard.edu/abs/1994MNRAS.267.1045W)". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **267** (4): s. 1045–1052. . Läst 2007-04-14.

[6] Landsman, W.; Simon, T.; Bergeron, P. (1999). " The hot white-dwarf companions of HR 1608, HR 8210, and HD 15638 (http://adsabs.harvard.edu/abs/1993PASP..105..841L)". *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **105** (690): s. 841–847. doi: 10.1086/133242 (http://dx.doi.org/10.1086/133242). . Läst 2007-02-04.

[7] Baserat på:

$$\frac{L}{L_{sun}} = \left(\frac{R}{R_{sun}}\right)^2 \left(\frac{T_{eff}}{T_{sun}}\right)^4$$

där L är luminositeten, R är radien och T_{eff} är den effektiva temperaturen. Se
Krimm, Hans (19 augusti 1997). "Luminosity, Radius and Temperature" (http://ceres.hsc.edu/homepages/classes/astronomy/spring99/Mathematics/sec20.html). Hampden-Sydney College. . Läst 2007-05-16.

[8] B. Smalley, K. C. Smith, D. Wonnacott, C. S. Allen (1996). " The chemical composition of IK Pegasi (http://adsabs.harvard.edu/abs/1996MNRAS.278..688S)". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **278** (3): s. 688–696. .

[9] Vennes, S.; Christian, D. J.; Thorstensen, J. R. (1998). " Hot White Dwarfs in the Extreme-Ultraviolet Explorer Survey. IV. DA White Dwarfs with Bright Companions (http://www.iop.org/EJ/article/0004-637X/502/2/763/37057.html)". *The Astrophysical tidskrift* **502** (2): s. 763–787. doi: 10.1086/305926 (http://dx.doi.org/10.1086/305926). . Läst 2010-11-15.

[10] Vallerga, John (1998). " The Stellar Extreme-Ultraviolet Radiation Field (http://adsabs.harvard.edu/abs/1998ApJ...497..921V)". *Astrophysical tidskrift* **497**: s. 77–115. doi: 10.1086/305496 (http://dx.doi.org/10.1086/305496). . Läst 2010-11-15.

[11] Wonnacott, D.; Kellett, B. J.; Stickland, D. J. (1993). " IK Peg - A nearby, short-period, Sirius-like system (http://adsabs.harvard.edu/abs/1993MNRAS.262..277W)". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **262** (2): s. 277–284. . Läst 2007-05-15.

[12] Pickering, Edward Charles (1908). " Revised Harvard photometry : a catalogue of the positions, photometric magnitudes and spectra of 9110 stars, mainly of the magnitude 6.50, and brighter observed with the 2 and 4 (100 mm) meridian photometers (http://adsabs.harvard.edu/abs/1908AnHar..50....1P)". *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College* **50**: s. 182. . Läst 2007-05-14.

[13] Staff. "Spectroscopic Binaries" (http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/binaries/spectroscopic.html). University of Tennessee. . Läst 2007-06-09.

[14] Harper, W. E. (1927). " The orbits of A Persei and HR 8210 (http://adsabs.harvard.edu/abs/1927PDAO....4..161H)". *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory* **4**: s. 161–169. . Läst 2007-05-14.

[15] M. A. C. Perryman, L. Lindegren, J. Kovalevsky, E. Hoeg, U. Bastian, P. L. Bernacca, M. Crézé, F. Donati, M. Grenon, F. van Leeuwen, H. van der Marel, F. Mignard, C. A. Murray, R. S. Le Poole, H. Schrijver, C. Turon, F. Arenou, M. Froeschlé, C. S. Petersen (1997). " The HIPPARCOS Catalogue (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/bib_query?1997A&A...323L..49P)". *Astronomy and Astrophysics* **323**: s. L49–L52. . Läst 2007-05-14.

[16] Egenrörelsen kan man räkna ut genom:

$$\mu = \sqrt{\mu_\delta{}^2 + \mu_\alpha{}^2 \cdot \cos^2\delta} = 77.63 \text{ mas/y}.$$

where μ_α och μ_δ är komponenterna av egenrörelsen i RA och Dec., respektivt. Den resulterande tvärgående hastigheten är:

$$V_t = \mu \cdot 4.74 d\,(\text{pc}) = 16.9 \text{ km}.$$

där *d*(pc) är distansen i parsek. Se:
Majewski, Steven R. (2006). "Stellar Motions" (http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/astr551/lectures/VELOCITIES/velocities.html). University of Virginia. . Läst 2007-05-14.

[17] Wilson, Ralph Elmer: *General catalogue of stellar radial velocities* (http://adsabs.harvard.edu/abs/1953QB901.W495.....), Carnegie Institution of Washington, 1953. Hämtat 2007-05-14.

[18] Med Pytagoras sats får man hastigheten genom:

$$V=\sqrt{{V_r}^2+{V_t}^2}=\sqrt{11.4^2+16.9^2}=20.4 \text{ km/s.}$$

där V_r är radialhastigheten och V_t är den tvärgående hastigheten, respektivt.

[19] Burleigh, M. R.; Barstow, M. A.; Bond, H. E.; Holberg, J. B.: Provencal, J. L.; Shipman, H. L.; MacDonald, J.; Goodchild, S.: *Proceedings 12th European Workshop on White Dwarfs* (http://adsabs.harvard.edu/abs/2001ASPC..226..222B) "Resolving Sirius-like Binaries with the Hubble Space Telescope", Astronomy Society of the Pacific, San Francisco 28 juli – 1 augusti 1975, sid. 222. ISBN 1-58381-058-7. Hämtat 2007-02-27.

[20] A. Gautschy, H. Saio (1995). " Stellar Pulsations Across The HR Diagram: Part 1 (http://adsabs.harvard.edu/abs/1995ARA&A..33...75G)". *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **33**: ss. 75–114. doi: 10.1146/annurev.aa.33.090195.000451 (http://dx.doi.org/10.1146/annurev.aa.33.090195.000451). . Läst 2007-05-14.

[21] För en förklaring av stjärnfärgerna, se "The Colour of Stars" (http://outreach.atnf.csiro.au/education/senior/astrophysics/photometry_colour.html). Australia Telescope Outreach and Education. 21 december 2004. . Läst 2007-09-26.

[22] Templeton, Matthew (2004). "Variable Star of the Season: Delta Scuti and the Delta Scuti variables" (http://web.archive.org/web/20061026110020/http://www.aavso.org/vstar/vsots/summer04.shtml). AAVSO. Arkiverad från originalet (http://www.aavso.org/vstar/vsots/summer04.shtml) den 26 oktober 2006. . Läst 2007-01-23.

[23] Smith, Gene (16 april 1999). "Stellar Spectra" (http://casswww.ucsd.edu/public/tutorial/Stars.html). University of California, San Diego Center for Astrophysics & Space Sciences. . Läst 2007-05-19.

[24] J. G. Mayer, J. Hakkila (1994). " Photometric Effects of Binarity on AM Star Broadband Colors (http://adsabs.harvard.edu/abs/1994AAS...184.0607M)". *Bulletin of the American Astronomical Society* **26**: ss. 868. . Läst 2007-05-14.

[25] Anonym (2005). "Stellar Lifetimes" (http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/startime.html). Georgia State University. . Läst 2007-02-26.

[26] Staff (August 29, 2006). "White Dwarfs & Planetary Nebulas" (http://chandra.harvard.edu/xray_sources/white_dwarfs.html). Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. . Läst 2007-06-09.

[27] Heger, A.; Fryer, C. L.; Woosley, S. E.; Langer, N.; Hartmann, D. H. (2003). " §3, How Massive Single Stars End Their Life (http://adsabs.harvard.edu/abs/2003ApJ...591..288H)". *Astrophysical Journal* **591** (1): ss. 288–300. doi: 10.1086/375341 (http://dx.doi.org/10.1086/375341). . Läst 2007-08-14.

[28] Seligman, Courtney (2007). "The Mass-Luminosity Diagram and the Lifetime of Main-Sequence Stars" (http://cseligman.com/text/stars/mldiagram.htm). . Läst 2007-05-14.

[29] Staff (August 29, 2006). "Stellar Evolution - Cycles of Formation and Destruction" (http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/story/index4.html). Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. . Läst 2006-08-10.

[30] Richmond, Michael (October 5, 2006). "Late stages of evolution for low-mass stars" (http://spiff.rit.edu/classes/phys230/lectures/planneb/planneb.html). Rochester Institute of Technology. . Läst 2007-06-07.

[31] Darling, David. "Carbon burning" (http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/carbon_burning.html). The Internet Encyclopedia of Sciencs. . Läst 2007-08-15.

[32] Savage, D. Jones, T.; Villard, Ray; Watzke, M. (August 6, 1997). "Hubble Separates Stars in the Mira Binary System" (http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1997/26/text/). HubbleSite News Center. . Läst 2007-03-01.

[33] Oberhummer, H.; Csótó, A.; Schlattl, H. (2000). " Stellar Production Rates of Carbon and Its Abundance in the Universe (http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/289/5476/88)". *Science* **289** (5476): ss. 88–90. doi: 10.1126/science.289.5476.88 (http://dx.doi.org/10.1126/science.289.5476.88). PMID 10884230. . Läst 2007-06-07.

[34] Iben, Icko, Jr. (1991). " Single and binary star evolution (http://adsabs.harvard.edu/abs/1991ApJS...76...55I)". *Astrophysical Journal Supplement Series* **76**: ss. 55–114. doi: 10.1086/191565 (http://dx.doi.org/10.1086/191565). . Läst 2007-03-03.

[35] Gil-Pons, P.; García-Berro, E. (2001). " On the formation of oxygen-neon white dwarfs in close binary systems (http://adsabs.harvard.edu/abs/2001astro.ph..6224G)". *Astronomy and Astrophysics* **375**: ss. 87–99. doi: 10.1051/0004-6361:20010828 (http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20010828). . Läst 2007-05-15.

[36] Woosley, S. E.; Heger, A. (2002). " The Evolution and Explosion of Massive Stars (http://www.ucolick.org/~alex/Preprints/RMP.pdf)" (PDF). *Reviews of Modern Physics* **74** (4): ss. 1015–1071. doi: 10.1103/RevModPhys.74.1015 (http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.74.1015). . Läst 2007-05-30.

[37] De vita dvärgarna är noggrant fördelade omkring den genomsnittliga massan på 0,58 solmassa, och bara 2%. Se:
Holberg, J. B.; Barstow, M. A.; Bruhweiler, F. C.; Cruise, A. M.; Penny, A. J. (1998). " Sirius B: A New, More Accurate View (http://www.iop.org/EJ/article/0004-637X/497/2/935/36707.html)". *The Astrophysical Journal* **497** (2): ss. 935–942. doi: 10.1086/305489 (http://dx.doi.org/10.1086/305489). . Läst 2007-05-15. av alla vita dvärgar hat minst en solmassa.

[38] "Estimating Stellar Parameters from Energy Equipartition" (http://www.sciencebits.com/StellarEquipartition). ScienceBits. . Läst 2007-05-15.

[39] $R_\star=0.006\cdot(6.96\times10^8)\text{ m} \approx 4{,}200$ km.

[40] Ytgravitationen på jorden är 9 780 m/s^2, eller 978,0 cm/s^2 i cgs-enheter. Således:

$$\log\ g = \log\ 978.0 = 2.99$$

Logaritmen av gravitationskraftens ratio är 8,95 - 2,99 = 5,96. Så:

$$10^{5.96} \approx 912{,}000$$

[41] EnligtWiens lag skulle en svartkropps högsta utsläpp vid den här temperaturen ha en våglängd av:

$$\lambda_b = (2.898 \times 10^6 \text{nm K})/(35{,}500\ \text{K}) \approx 82\ \text{nm}$$

som ligger i yttre kanten av den ultravioletta delen av det elektromagnetiska spektrumet.

[42] Imamura, James N. (24 februari 1995). "Cooling of White Dwarfs" (http://web.archive.org/web/20070502023430/http://zebu.uoregon.edu/~imamura/208/feb24/cool.html). University of Oregon accessdate = 2007-05-19. Arkiverad från originalet (http://zebu.uoregon.edu/~imamura/208/feb24/cool.html) den 2 maj 2007. .

[43] K. A. Postnov, L. R. Yungelson (2006). "The Evolution of Compact Binary Star Systems" (http://relativity.livingreviews.org/open?pubNo=lrr-2006-6&page=articlesu8.html). Living Reviews in Relativity. . Läst 2007-05-16.

[44] Malatesta, K.; Davis, K. (May 2001). "Variable Star Of The Month: A Historical Look at Novae" (http://web.archive.org/web/20070519171223/http://www.aavso.org/vstar/vsots/0501.shtml). AAVSO. Arkiverad från originalet (http://www.aavso.org/vstar/vsots/0501.shtml) den May 19, 2007. . Läst 2007-05-20.

[45] Malatesta, Kerri (May 2000). "Variable Star Of The Month—May, 2000: RS Ophiuchi" (http://web.archive.org/web/20070405021933/http://www.aavso.org/vstar/vsots/0500.shtml). AAVSO. Arkiverad från originalet (http://www.aavso.org/vstar/vsots/0500.shtml) den April 5, 2007. . Läst 2007-05-15.

[46] Hendrix, Susan (July 20, 2007). "Scientists see Storm Before the Storm in Future Supernova" (http://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/rxte_supernova.html). NASA. . Läst 2007-05-25.

[47] Langer, N.; Deutschmann, A.; Wellstein, S.; Höflich, P. (2000). " The evolution of main sequence star + white dwarf binary systems towards Type Ia supernovae (http://adsabs.harvard.edu/abs/2000astro.ph..8444L)". *Astronomy and Astrophysics* **362**: ss. 1046–1064. . Läst 2007-05-20.

[48] Langer, N.; Yoon, S.-C.; Wellstein, S.; Scheithauer, S. (2002). " On the evolution of interacting binaries which contain a white dwarf (http://adsabs.harvard.edu/abs/2002ASPC..261..252L)". *The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects, ASP Conference Proceedings*: 252, San Francisco, California: Astronomical Society of the Pacific. Hämtat 2007-05-25.

[49] Di Stefano, Rosanne (February 28–March 1, 1996). " Luminous Supersoft X-Ray Sources as Progenitors of Type Ia Supernovae (http://www.citebase.org/fulltext?format=application/pdf&identifier=oai:arXiv.org:astro-ph/9701199)" (PDF). J. Greiner *Proceedings of the International Workshop on Supersoft X-Ray Sources*, Garching, Germany: Springer-Verlag. ISBN 3540613900. Hämtat 2007-05-19.

[50] Fryer, C. L.; New, K. C. B. (January 24, 2006). "2.1 Collapse scenario" (http://www.livingreviews.org/Articles/Volume6/2003-2new). *Gravitational Waves from Gravitational Collapse*. Max-Planck-Gesellschaft. . Läst 2007-06-07.

[51] Staff (29 augusti 2006). "Stellar Evolution - Cycles of Formation and Destruction" (http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/story/index8.html). Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. . Läst 2006-08-10.

[52] Richmond, Michael (2005-04-08). "Will a Nearby Supernova Endanger Life on Earth?" (http://www.tass-survey.org/richmond/answers/snrisks.txt) (TXT). . Läst 2006-03-30.—se sektion 4.

[53] Hansen, Brad M. S. (2003). " Type Ia Supernovae and High-Velocity White Dwarfs (http://adsabs.harvard.edu/abs/2002astro.ph..6152H)". *The Astrophysical Journal* **582** (2): ss. 915–918. doi: 10.1086/344782 (http://dx.doi.org/10.1086/344782). . Läst 2007-02-04.

[54] Marietta, E.; Burrows, A.; Fryxell, B. (2000). " Type Ia Supernova Explosions in Binary Systems: The Impact on the Secondary Star and Its Consequences (http://adsabs.harvard.edu/abs/1998RPPh...61...77K)". *The Astrophysical Journal Supplement Series* **128**: ss. 615–650. doi: 10.1086/313392 (http://dx.doi.org/10.1086/313392). . Läst 2007-02-04.

[55] Staff (September 7, 2006). "Introduction to Supernova Remnants" (http://agile.gsfc.nasa.gov/docs/objects/snrs/snrstext.html). NASA/Goddard. . Läst 2007-05-20.

[56] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IK_Pegasi&oldid=400702979

Källhänvisningar

Externa länkar

- Davies, Ben (2006). "Supernova events" (http://ben.davies.net/supernovae2.htm). Läst 2007-06-01.
- Richmond, Michael (April 8, 2005). "Will a Nearby Supernova Endanger Life on Earth?" (http://www.tass-survey.org/richmond/answers/snrisks.txt). The Amateur Sky Survey. Läst 2007-06-07.
- Tzekova, Svetlana Yordanova (2004). "IK Pegasi (HR 8210)" (http://www.eso.org/public/outreach/eduoff/cas/cas2004/casreports-2004/rep-310/#2.The main star - IK Peg A). ESO (European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere). Läst 2007-09-30.

Knut Lundmark

***Knut* Emil Lundmark**, född 14 juni 1889 i Älvsbyn, Norrbottens län, död 23 april 1958 i Lund [1] , var en svensk astronom utbildad vid Uppsala universitet, men senare huvudsakligen verksam som professor i astronomi vid Lunds universitet.[2] Lundmark räknas till en av pionjärerna inom galaxastronomin och var en av de första som visade att de så kallade spiralnebulosorna var självständiga stjärnsystem som låg utanför vår egen Vintergata. Vid sidan av sitt yrkesastronomiska arbete var har en mycket flitig och uppskattad populärvetenskaplig författare och föreläsare.

Knut Lundmark 1908 som student vid Luleå läroverk, med namnteckning.

Biografi

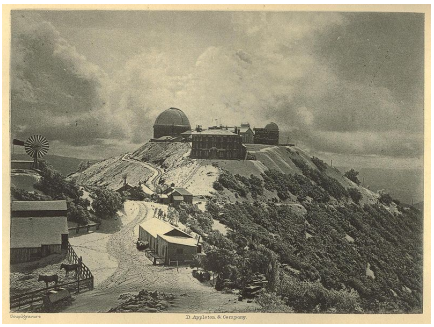
Uppväxt och utbildning

Lundmarks föräldrar, August och Lovisa Lundmark, var hemmansägare i den lilla byn Krokträsk i Älvsby socken i Norrbotten. Det fanns ingen akademisk tradition i familjen, men däremot ett stort bokligt intresse, vilket banade väg för den bokslukande ynglingen. Hans begåvning upptäcktes snart och Lundmark fick möjlighet att studera vid Luleå högre elementarläroverk. För att försörja sig var han emellertid tvungen att arbeta extra som korrekturläsare på Norrskensflamman. Han tog sin mogenhetsexamen i juni 1908, och kunde genom ett stipendium skriva in sig vid Uppsala universitet senare samma år.[3] Under sina år i Uppsala var Lundmark utöver studier och forskning mycket aktiv i Norrlands nation, där han verkade som andre kurator 1916–1919, samt därefter som skattmästare 1924–1927, och han kallades till hedersledamot av nationen år 1926.[4] Efter sin grundutbildning gifte han sig 1915 i Uppsala med Birgitta Carlsson (1886–1974).

Redan den första terminen vid universitetet började Lundmark studera astronomi under professor Nils Dunérs ledning. Dunér, som var föreståndare för Uppsala astronomiska observatorium, hade 1878 introducerat spektroskopin och därmed astrofysiken i den svenska astronomin.[5] Astrofysiken hade emellertid vid denna tid fortfarande en något oklar status[6] , varför Lundmarks första vetenskapliga undersökning hämtade ämne från den traditionella astronomin, det vill säga den celesta mekaniken, och ägnades en banbestämning av 1802 års komet.[7] Efter detta tog även Lundmark steget in i astrofysiken, både vad gäller metoder och ämnesval, och kom för resten av sin karriär att specialisera sig på de objekt som vid den tiden gick under benämningen spiralnebulosor.

Dunér pensionerades år 1911, och efterträddes då som professor av sin elev Östen Bergstrand. Bergstrand blev samtidigt Lundmarks handledare, och under Bergstrands ledning fördjupade Lundmark sig i olika metoder för att bestämma kosmiska avstånd.[8] Lundmark disputerade år 1920 på en avhandling där han försökte visa att Andromedanebulosan, eller Andromedagalaxen som den heter idag, är ett självständigt stjärnsystem som ligger långt utanför Vintergatssystemet.[9] Avhandlingen innebar också att han förklarades docentkompetent.

Utländska resor



Lick-observatoriet i USA.

Nebulosaastronomin dominerades under 1920-talet av amerikanska astronomer och amerikanska observatorier. Lundmark begav sig därför västerut efter disputationen och arbetade under två längre vistelser 1921 och 1926 vid Lick-observatoriet och Mount Wilson-observatoriet. Här träffade han många av tidens mest framstående forskare på området, och lyckades samtidigt etablera sig som en ledande företrädare för den så kallade Lick-skolan.[10] Enligt denna, som under 1920-talet var i minoritet bland amerikanska astronomer, skulle spiralnebulosorna förstås som "vintergatsöar" (*island universes*), det vill säga självständiga stjärnsystem i dimensioner fullt jämförbara med Vintergatan själv. Vid sin andra resa, som alltså förde honom till Mount Wilson-observatoriet, fick han också möjlighet att arbeta tillsammans med forskare som företrädde majoritetsståndpunkten, där man istället hävdade att spiralnebulosorna var förhållandevis små och lokala system belägna *i* Vintergatan.

Observatoriet i Lund

Lunds gamla observatorium

Efter hemkomsten från Amerika var Lundmark tillräckligt meriterad för att ge sig in i konkurrensen om de två professorsstolar som blev lediga i Sverige vid slutet av 1920-talet. Det första tjänsten gäller uppdraget som Kungl. Vetenskapsakademiens astronom och föreståndarskapet över det nya observatoriet i Saltsjöbaden. Tjänsten gick emellertid till Lundmark studiekamrat och jämnårige Bertil Lindblad, vilken därmed blev Karl Bohlins efterträdare. Den andra tjänsten gällde föreståndarskapet över observatoriet i Lund, vilket blev ledigt i och med att Carl Charlier gick i pension år 1927. Lundmark fick tjänsten år 1929, först efter ett tämligen långdraget och infekterat tillsättningsärende.[11]

Installerad i Lund började Lundmark genast omskapa observatoriets verksamhet i enlighet med sina egna forskningsintressen. Ambitionen var inget mindre än att göra Lunds observatorium till ett internationellt centrum för galaxforskningen. Men Lundmarks ambitioner kom på skam. Även om många av hans doktorander skrev sin avhandlingar inom området, så strandade den gigantiska nebulosakatalog som man arbetade på, och som var navet i satsningen.

Lundmark verkade som professor och föreståndare för Lunds observatorium från 1929 fram till sin pensionering 1955. Han försökte också från slutet av 1930-talet genomdriva att observatoriet skulle bygga ett modernt filialobservatorium utanför Lunds alltmer ljusförorenade natthimmel. Observationsstationen Jävan[12] på Romeleåsen, c:a 20 km sydost om Lund, blev dock inte verklighet förrän nästan ett decennium efter hans död.

Från mitten av 1930-talet minskade Lundmarks vetenskapliga produktion, samtidigt som han alltmer kom att engagera sig i populärvetenskaplig verksamhet, i astronomihistoriska undersökningar och inte minst i föreningslivet. Detta var också en bidragande orsak till att han, till skillnad från Sveriges övriga astronomiprofessorer både före och efter honom, aldrig valdes in i Vetenskapsakademien.[13] I sammanhanget kan dock nämnas att han istället blev en mycket verksam ledamot av Fysiografiska Sällskapet i Lund där han valdes in 1940.

Elever

Nedan följer en sammanställning av personer som disputerade under Lundmarks professorsperiod.

- Sture Holm – egentligen elev till Lundmarks företrädare Charlier, men disputerade först 1930 under Lundmarks ämbetstid, och då på en avhandling om stjärnornas egenrörelser.[14]
- Per Collinder – disputerade i Lund 1931 på en avhandling om fördelningen av öppna stjärnhopar i Vintergatan.[15] Collinder var nära vän med Lundmark sedan ungdomen. Han verkade inom sjömäteriet och blev med tiden byrådirektör för Sjökarteverket.
- Axel Corlin – disputerade 1934 på en avhandling om kosmisk strålning.[16] Ämnesmässigt hamnade hans forskning mellan de akademiska stolarna och han hade svårt att stanna kvar vid universitetet. Han verkade senare som lärare och författare.
- Erik Holmberg – disputerade i Lund 1937 på en avhandling om galaxer och galaxhopar.[17] Han blev senare professor i astronomi i Uppsala.
- Nils Ambolt – anställd vid Sven Hedins expedition till centralasien 1927–1933 och disputerade 1938 på en geodetisk undersökning av vissa områden i Turkistan och Tibet.[18] Ambolt arbetade senare vid Sjökarteverket.
- Björn Svenonius – disputerade 1938 på en avhandling om fotografiska metoder för att studera galaxer.[19]
- Frida Palmér – disputerade 1939 på en avhandling om variabla stjärnor. Hon blev därmed den första kvinna i Sverige som disputerade i ämnet astronomi.[20] Under kriget arbetade hon på Försvarets radioanstalt och blev senare lärare i Halmstad.[21]
- Anders Reiz – disputerade 1941 på en avhandling om galaxernas fördelning runt norra galaktiska polen. Han verkade senare som forskare vid observatoriet, och från 1958 som professor i astronomi vid Köpenhamns universitets astronomiska observatorium.[22]
- Carl-Gustav Danver – disputerade 1942 på en avhandling om galaxernas morfologi.[23] Danver blev senare läroverkslektor i Karlskrona.
- Arvid Ljunghall – disputerade 1948 på en avhandling om skymningsljuset.[24]
- Folke V. Nettelblad – disputerade 1953 på en avhandling om hur rörelser i jordatmosfären påverkar den fotografiska bildkvaliten på astronomernas bilder. Nettelblad blev senare gymnasierektor i Linköping.[25]
- Bertil Anders Lindblad – disputerade 1956, precis efter Lundmarks pensionering, på en avhandling om meteorer.[26] Lindblad fortsatte sedan sin bana inom astronomi och blev professionell astronom verksam vid Lunds observatorium som en internationellt känd meteorforskare.
- Ingrid Torgård – disputerade 1956, precis efter Lundmarks pensionering, på en teoretiskt orienterad avhandling om stjärnornas banor i en galaxmodell.[27] Torgård fortsatte inom astronomin fram till 1963 då hon blev läroverkslektor.

Forskning

När Lundmark tog sig an sitt avhandlingsarbete såg astronomernas universum radikalt annorlunda ut än det vi idag är bekanta med. Universums expansion var ännu inte upptäckt, big bang-teorin låg ett par decennier fram i tiden och Einsteins relativitetsteorier hade ännu inte fått sitt stora genombrott. Universum var, föreställde man sig, synonymt med Vintergatan, ett med moderna mått mätt förhållandevis litet och därtill statiskt stjärnsystem. En följd av detta var att alla de objekt astronomerna såg i sina teleskop, inklusive de så omdiskuterade spiralnebulsorna, antogs vara en del av Vintergatan.[28] Den senare föreställningen förstärktes vid slutet av 1910-talet genom Harlow Shapleys banbrytande studier av de så kallade klotformiga stjärnhoparnas avstånd. Vintergatan växte tiofaldigt och hade enligt Shapley en diameter på 300 000 ljusår. Shapley, och många med honom, tyckte sig ha goda argument för att detta enorma stjärnsystem också var det enda.[29] Det är här Lundmark kliver in på scenen och hävdar att astronomer trots detta gravt har underskattat universums dimensioner.

Doktorsavhandlingen

Vid Lick-observatoriet, som Lundmark senare alltså skulle besöka, hade Heber Curtis som en av de första lanserat idén om spiralnebulsorna som självständiga och mycket avlägsna stjärnsystem, och denna åsikt skulle senare bli den ena ståndpunkten i den så kallade Shapley-Curtisdebatten. Han hade också lagt grunden till en metod där man använde novor, uppflammande stjärnor, som avståndsindikatorer. Genom att mäta ljusstyrkan hos en nova som flammat upp i en spiralnebulosa och sedan jämföra denna med ljusstrykan hos närbelägna novor, vars avstånd var kända genom andra metoder, kunde man härleda avståndet till spiralnebulosan ifråga. Curtis hade här gjort en del mindre undersökningar och menade att spiralnebulosorna låg minst en miljon ljusår bort.[30]

Andromedagalaxen (M31) med sina satellitgalaxer M32 och M110.

I sin doktorsavhandling tar Lundmark denna metod som utgångspunkt för att försöka bestämma avståndet till den största av alla kända nebulosor, Andromedanebulosan. Större delen av avhandlingen är ägnad åt själva metoden och han utvecklar och förfinar den i en rad centrala avseenden. Sedan kan han med hjälp av mätdata från fyra novor i nebulosan härleda ett avstånd på 650 000 ljusår (ungefär en fjärdedel av det moderna värdet). Därmed placerar Lundmark Andromedanebulosan långt utanför gränserna för även Shapleys jättegalax.[9]

van Maanen och striden om nebulosornas rotation

Ur ett modernt perspektiv kan Lundmarks resultat te sig avgörande, men så var långt ifrån fallet vid hans egen tid. Under 1920-talet anslöt sig de flesta till Shapleys teori, speciellt eftersom en rad studier av Mount Wilson-astronomen Adriaan van Maanen fullständigt verkade omintetgöra den lundmarkska ståndpunkten. van Maanen föreställde sig att spiralnebulosorna var lokala och mycket närbelägna objekt, kanske var de mindre stjärnsystem i Vintergatan, kanske var de solsystem som höll på att bildas. Och om de var närbelägna objekt, så borde man kunna se hur de vrider sig på bilder tagna med många års mellanrum. I ett drygt tjugotal artiklar publicerade från 1915 gjorde van Maanen om sina mätningar på den ena nebulosan efter den andra. De förskjutningar han detekterade var ytterst små, men tillräckliga för att komma fram till en definitiv slutsats: Spiralnebulosorna roterade förhållandevis hastigt, men en omloppstid på mindre än 250 000 år. Detta innebar i sin tur att de måste vara bara några hundratal ljusår i diameter och ligga på mindre än tusen ljusårs avstånd, det vill säga i solens omedelbara närhet.[31]

Triangelgalaxen (M33)

När Lundmark anlände till Mount Wilson-observatoriet 1926 och där sammanträffade med van Maanen, visste alla inblandade att det var frågan om den interna rotationen som skulle avgöra astronomins och universums framtid. van Maanen erbjöd därför Lundmark att göra om mätningarna på en av de många galaxer han hade studerat, Triangelnebulosan (M33). Lundmark arbetade med samma plåtar, vid samma maskin och följde samma procedur. När Lundmark hemkommen till Sverige publicerade sina resultat visade det sig att även han hade detekterad små rörelser, men rörelser av en helt annan karaktär. Där de små förskjutningar som van Maanen funnit var symmetriskt fördelade och orienterade längs spiralarmarna, spretade Lundmarks åt alla håll och tedde sig därför mer slumpmässigt organiserade. När Lundmark sammanställer utfallet kan han förvisso påvisa en intern rotation, men värdet var i samma storleksordning som det beräknade mätfelet, vilket talade för att det inte hade fysisk realitet.

Slutsatsen blir därför att "It does not seem very plausible that the change in μ_{rad} [ett mått på rotationen] with distance from the center should express any phenomenon arising from the actual internal motions of the nebula. It is perhaps more reasonable to assume its cause to be instrumental or optical [...]"[32] Han säger det inte rent ut, men om Lundmark hade rätt var van Maanens resultat blott produkter av en bristfällig metod och rent önsketänkande.

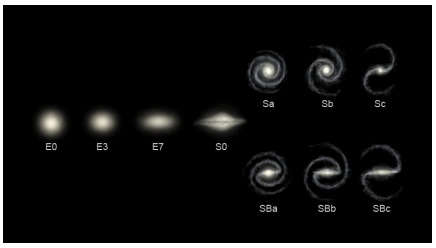
Det lundmarkska sidan skulle med tiden gå segrande ur denna strid om universums uppbyggnad[33] , den så kallade *Stora debatten*. Idag vet vi att spiralnebulosorna verkligen är avlägsna stjärnsystem, jämförbara med vår egen Vintergata. Numera talar vi om spiralgalaxer. Lundmark var pionjär och gjorde centrala insatser för denna sak, men det var inte hans forskning som till sist avgjorde saken. 1924 upptäckte den amerikanske astronomen Edwin Hubble så kallade Cepheider både i Andromeda- och Triangelnebulosan. Detta var en typ av variabla stjärnor med egenskaper som gjorde dem till mycket pålitliga avståndsindikatorer. I en artikel publicerad 1925 tillkännagav han upptäckten samtidigt som han visade att dessa nebulosor måste ligga minst en miljon ljusår bort.[34]

Novor och supernovor

Animation av en supernovaexplosion.

En helt avgörande förutsättning för Lundmarks beräkning av avståndet till Andromeda-nebulosan var föreställningen om att alla novor, oavsett var de befinner sig, alltid når samma absoluta magnitud. Värdet på denna absoluta magnitud var emellertid inte helt fastlagt, vilket Lundmark förstås var väl medveten om. Redan i sin avhandling menade han att tillgängliga data antyder att värdet borde höjas. Han fortsätter att brottas med frågan och speciellt med en ovanligt ljusstark nova i Andromedanebulosan (S Andromedae) och några år senare publicerar han en artikel där han löser problemet genom att istället föreslår att vi måste skilja på två typer av novor, en övre, ljusstarkare klass (*upper-class*) och en nedre, ljussvagare (*lower-class*).[35] Lundmarks terminologi slog inte an, men däremot vann själva uppdelningen med tiden bred uppslutning. Vem som konstruerade det moderna begreppsparet novor–supernovor är oklart – möjligen hade Lundmark ett finger med i spelet även här – men det började användas under 30-talet.[36]

Striden med Hubble om nebulosornas klassifikation



En modern representation av Hubbles klassificering.

Parallellt med forskningen om avstånden till spiralnebulsorna, intresserade sig Lundmark också i en rad studier för frågan om hur olika typer av nebulosor skulle klassificeras och hur detta kunde relateras till deras utveckling över tid. Frågan aktualiserades bland annat av att man i fotografiska undersökningar upptäckte fler och fler av dessa objekt, och att en systematik därmed var av nöden. Redan 1925 publicerade han en grovindelning där han tänkte sig att utomgalaktiska nebulosorna (det vill säga vad vi kallar galaxer) utvecklas från sfäriska nebulosor, via elliptiska, tidiga spiraler och sena spiraler till oregelbundna nebulosor.[37] Året därpå publicerade han en mer utvecklad modell.[38] Ungefär samtidigt hade emellertid Edwin Hubble skapat ett eget och snarlikt klassifikationssystem, Hubbleserien. När han förberedde publiceringen upptäckte han att Lundmark redan hunnit före. Hubble blev rasande och anklagade i sin artikeln Lundmark för plagiat.[39] Lundmark försvarade sig med att detta var tillfälligheternas spel och att deras system förvisso var snarlika, men att grunderna för klassifikationen skilde sig väsentligt. Vetenskapshistorisk forskning har också visat att Lundmark i opublicerad form haft sin klassifikation klar redan 1922.[40]

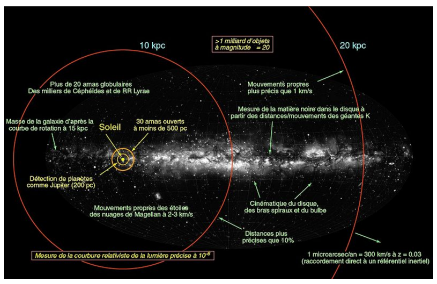
Hubblelagen

Lundmarks forskning tangerade ofta frågor av mer kosmologisk art, det vill säga frågor som har med universums övergripande struktur att göra. Diskussionen om avstånden till spiralnebulosorna var ett exempel på detta, och i en artikel från 1924 tog han steget fullt ut och undersökte rummets krökning med utgångspunkt i Willem de Sitters tolkning av Einsteins relativitetsteori.[41] Frågan var närmare bestämt om spiralnebulosornas uppmätta radialhastigheter berodde på faktiska rörelser eller på relativistiska effekter, det vi idag talar om som universums expansion. Om det senare är riktigt, menade Lundmark, så skall detta visa sig genom att mer avlägsna spiralnebulosor rör sig snabbare bort från oss än mer närbelägna. Och Lundmark fann verkligen en sådan relation i sin undersökning: ”Plotting the radial velocity against these relative distances [...], we find that there may be a relation between the two quantities, although not a very definite one.” [42] Underlaget lät alltså inte Lundmark dra några definitiva slutsatser. Några år senare byggde emellertid Edwin Hubble vidare på bland annat Lundmarks studier, och kunde med ett betydligt större observationsunderlag slå fast detta som en allmän lag, Hubblelagen, och lade samtidigt grunden till den moderna kosmologi.[43] Det kan tilläggas att det inte var Hubble utan Lundmark som (i den ovannämnda artikeln) publicerade det första så kallade 'Hubble-diagrammet'.

Lund General Catalogue

När Lundmark installerades som professor i Lund blev han också föreståndare för ett observatorium avpassat efter en annan sorts astronomi än den han själv bedrev. Föregångaren Carl Charlier var teoretiskt lagd och intresserade sig framförallt för den så kallade stellarstatistiken, en gren av astronomin som genom statistiska analyser av stjärnornas egenrörelser försökte förstå Vintergatans dynamik.[44] För att sköta det matematiska grovarbetet hade Charlier inrättat en speciell "räknebyrå" vid observatoriet där personalen var sysselsatt huvudsakligen med rena beräkningsarbeten, och denna var Lundmark nu tvungen att sätta i arbete.[45] Sedan tidigare hade han en idé om en generalkatalog över alla kända nebulösa objekt, och med personal till förfogande blev den nu möjlig att realisera. Under många år kom observatoriets personal under Lundmarks överinseende att samla och katalogisera data för alla de nebulosor som gjort avtryck i den astronomiska litteraturen.[46] Projektet döptes till *Lund General Catalogue (LGC)* och målet var att katalogisera 40 000 kända (extragalaktiska) nebulosor. Projektet gick emellertid i stå – katalogen blev till slut för otymplig för att publicera och detta samtidigt som liknande utländska projekt hann före – och katalogen blev aldrig mer än ett kortregister.

Vintergatspanoramat



Lundmarks vintergatspanorama här använt för att visa Gaia-sondens räckvidd.
(Klicka på bilden för att få full storlek)

En av de bestående produkterna av Lundmarks ansträngningar, och sannolikt den mest använda, är ett magnifikt vintergatspanorama som stod färdigt 1955. Fram till dess fanns inga visuella representationer som återgav *hela* Vintergatan. Man hade förvisso försök att göra fotografiska montage tidigare, men utan framgång. Lundmark löste en hel mängd tekniska och praktiska problem genom att helt enkelt föreslå att man först samlar in de nödvändiga fotografierna och sedan ritar av dem. Makarna Tatjana och Martin Kesküla anställdes för att göra det konstnärliga arbetet, som bland annat innebar att med stor noggrannhet och i så kallad "Aitoff-projektion" rita in cirka sjutusen stjärnor på den en gånger två meter stora duken. Arbetet tog över åttahundra timmar i anspråk. Sedan tavlan färdigställdes har den används i en mängd olika sammanhang världen över, och anses fortfarande vara en enastående avbildning av Vintergatan. Ett tecken på detta är att målningen var "Astronomy picture of the day" år 1996.[47] Målningen finns att beskåda i Astronomihuset i Lund.[48]

Utåtriktad verksamhet

Vid sidan av sitt astronomiska värv var Lundmark under hela sin karriär djupt involverad i mer utåtriktad verksamhet. Han skrev ett femtontal böcker, hundratals dagstidnings- och tidskriftsartiklar, han reste på långa föreläsningsturnéer och han var dessutom en flitig gäst i Sveriges radios studio.[49] Under en tid arbetade han i redaktionen för Populär astronomisk tidskrift, men drog sig ur och startade istället *Cassiopeia – Tycho Brahe-sällskapets årsbok* (1939–1968). Tidskriften var också husorgan för lundensiska Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe som Lundmark tog initiativ till som påbörjade sin verksamhet 1937. År 1951 startade han tillsammans med psykologen Martin Johnson den tvärvetenskapliga tidskriften *Värld och vetande*.

Men Lundmark hade fler strängar på sin lyra. 1933 deltog han i en manuskriptpristävling som Svenska Filminstitutet utlyst. Lundmark manus, som utgick från Tycho Brahes liv och vetenskapliga gärning, belönades emellertid inte.[50] Han var också en stor beundrare av August Strindberg och var med och grundade Strindbergssällskapet 1945[51] och gav 1948 ut *Strindberg. Geniet – sökaren – människan*.

Här måste också hans religiösa patos nämnas. Detta märks som ett genomgående tema i hans populärvetenskap, men fick också ett mer konkret uttryck genom hans engagemang *Sveriges religiösa reformförbund*, som verkade för liberalteologin. Lundmark skrev en knippe artiklar i förbundets tidskrift *Religion och kultur*, och var från 1937 ledamot i styrelsen. I detta sammanhang argumenterade han för att den moderna vetenskapen kommit till en punkt där den hårdnackade materialismen inte längre räcker, och att ett närmande till den kristna föreställningsvärlden därför blivit nödvändig.[52]

Slutligen kan nämnas att Lundmark också var en intresserad botaniker som varje sommar, när han alltid besökte sin norrländska hembygd, samlade in nya växter till sitt herbarium.[53]

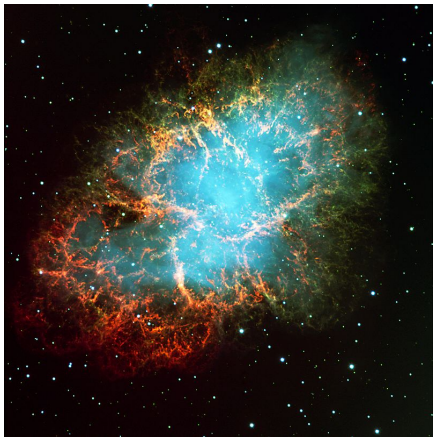
Tycho Brahe

Populärastronomiska böcker i urval

- *Spiralnebulosorna: ett nutida astronomiskt forskningsproblem*, Bonnier, Stockholm 1922, Studentföreningen Verdandis småskrifter, 99-0470915-7 ; 247 **(svenska)**. Libris 1482198 [54].
- *De närmaste stjärnorna*, Astronomisk Selskab, København 1924 **(svenska)**. Libris 10547293 [55].
- *Världsrymdens liv*, Lindblad, Uppsala 1926, Vad vi veta, 99-0392823-8 ; 15/16 **(svenska)**. Libris 1336856 [56].
- *Några blad ur den svenska astronomiens historia.*, Stockholm 1928 **(svenska)**. Libris 2881415 [57].
- *Stjärnsystemens byggnad och övriga egenskaper.*, Stockholm 1929 **(svenska)**. Libris 2881421 [58].
- *En färd genom planetsystemet: Föredrag hållet i Zeiss planetarium på Djurgården den 19 maj 1932*, Stockholm 1932 **(svenska)**. Libris 2881412 [59].
- *Från kaos till kosmos: några utdrag ur den astronomiska världsbildens utvecklingshistoria*, Norstedt & Söner, Stockholm 1934, Norstedts lilla bibliotek, 99-0740216-8 **(svenska)**. Libris 451823 [60].
- *Livets välde: till frågan om världarnas beboelighet. Del 1*, Bonnier, Stockholm 1935 **(svenska)**. Libris 1174133 [61]. (Del två publicerades aldrig)
- *Astronomin i Lund 1667–1936* (1937)
- *Det växande världsalltet*, Natur och kultur, Stockholm 1941, Natur och kultur, 99-0145096-9 ; 145 **(svenska)**. Libris 528289 [62].
- *Religionen och världsbilden.*, Uppsala 1942 **(svenska)**. Libris 2070445 [63].
- *Solförmörkelser förr och nu*, Lindblad, Uppsala 1945 **(svenska)**. Libris 387544 [64].

- *Astronomiska upptäckter: några glimtar från en flertusenårig vetenskaplig utveckling, del 1 och 2*, Harrier, Stockholm 1950-1951 **(svenska)**. Libris 1490222 [65].
- *Världar utan gräns: [Illustr.]*, Stockholm 1951 **(svenska)**. Libris 2881429 [66].
- *Dagmörkret över Sydsverige den 30 juni 1954*, Lindblad, Uppsala 1953 **(svenska)**. Libris 1442634 [67].
- *Ut i världsrymden ...*, Lindqvist, Stockholm 1956 **(svenska)**. Libris 427850 [68].

Astronomihistoria



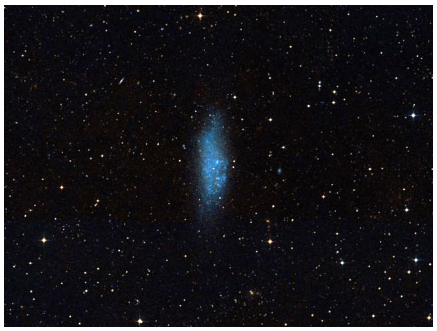
Krabbnebulosan i Oxen

Lundmark hade ett brinnande intresse för astronomins historia. Han skrev flera mer översiktliga arbeten inom området, däribland *Nya himlar: Från stjärnkunskapens gryning till vintergatornas vintergata* (1943), men gjorde också studier där han använde historiskt källmaterial för att studera aktuella astronomiska fenomen. Ett viktigt exempel på det senare är en artikel från 1921 där han argumenterar för att den "gäststjärna" som observerades av kinesiska astronomer år 1054 i själva verket var en nova, idag betecknar vi den som en supernova, och att resterna av den fortfarande kan observeras i form av Krabbnebulosan i Oxens stjärnbild.[69] Denna tes har senare bekräftats.[70]

Ett annat astronomihistoriskt ämne som Lundmark ofta återkom till var frågan om Bibelns Betlehemsstjärna. I flera artiklar argumenterar han för att denna stjärna i själva verket kan ha varit en nova. Han försöker också sätta tilldragelsen i förbindelse med "gäststjärnor" som observerades i Kina år 5 respektive 4 före vår tideräknings början.[71]

Lundmark var också initiativtagare till *Samfundet för astronomisk historieforskning* som instiftades år 1934 i Lund, och till skriftserien *Historical notes and papers* [72] som gavs ut vid observatoriet.

Hedersbetygelser



WLM-galaxen

Asteroiden 1334 Lundmarka är uppkallad efter Lundmark. Den upptäcktes 16 juli 1934 av Karl Wilhelm Reinmuth i Heidelberg. Två år senare föreslog Bror Asplind, men med Reinmuths samtycke, att asteroiden skulle döpas till Lundmarka.[73]

Galaxen Wolf-Lundmark-Melotte (WLM) i stjärnbilden Valfisken upptäcktes 1909 av Max Wolf. Namnet kommer av att Lundmark oberoende av men parallellt med Philibert Jacques Melotte återupptäckte galaxen 1926 på de så kallade Franklin-Adams-plåtarna.[74] Idag vet vi att galaxen tillhör den Lokala gruppen där även Vintergatan och Andromedagalaxen ingår.

En krater på månens baksida, *Lundmark* (Ø 106 km, 39,7 S 152,5 E), har fått sitt namn efter honom.

Lundmark erhöll 1938 *The Rittenhouse Medal* [75]. Priset delades bara ut tio gånger (mellan 1933 och 1943) och då till forskare som gjort enastående insatser för astronomin.

På kyrkogården vid Älvsby kyrka restes år 1978 obelisken *Galaxen*[76] till hans minne.

Eftermäle

Lundmark var en av de stora, om än inte största, astronomerna i sin generation.[77] Hans forskning, som på flera områden var världsledande, hamnade emellertid gång efter annan i skuggan av de amerikanska astronomernas framgångar, inte minst Hubbles. Även på hemmaplan i Sverige fick han se hur lundaobservatoriet med tiden blev frånsprunget av det nya och moderna observatoriet i Saltsjöbaden.[78] Skillnader i materiella resurser spelade förstås en avgörande roll för detta förhållande, men så också Lundmarks egen personlighet. Han hade ett rastlöst sinne, ett encyklopediskt kunnande, och en aldrig stillad nyfikenhet som ständigt fick honom att ge sig in på nya områden, många långt utanför hans egentliga vetenskapsområde, astronomin.[79] Men denna febrila verksamhet gjorde honom istället till en kulturpersonlighet av rang. Den äldre generationen av svenskar kan fortfarande komma ihåg hans radioröst, trots att den avsomnade för över ett halvsekel sedan.[80] Lundmark hade som få andra vetenskapsmän förmåga att nå ut.[81]

Biografisk litteratur

- Sundman, Anita: *Den befriade himlen: ett porträtt av Knut Lundmark*, Carlsson, Stockholm 1988 **(svenska)**. ISBN 91-7798-178-2 (inb.). Libris 7665782 [82].
- Lundmark, Knut: redaktör Johnson, Martin: *Knut Lundmark och världsrymdens erövring: en minneskrift*, Göteborg 1961 **(svenska)**. Libris 1513371 [83].
- Plaskett, H. H: "Obituary Notices: Knut Emil Lundmark" [84] i *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 119, 1959. (dödsruna)
- Collinder, Per: "Knut Lundmark in memorian", i *Cassiopeia*, 1956-57, s. 21ff. (dödsruna)
- Lindblad, Bertil: "Knut Lundmark", i *Populär astronomisk tidskrift*, 1958, s. 158ff. (dödsruna)

Efterlämnade papper

Lundmarks arkiv, som är mycket omfattande, förvaras vid Handskriftsavdelningen vid Lunds universitetsbibliotek.[85] Ytterligare en stor samling, vilken Lundmark själv donerade till Åbo observatorium, förvaras nu på Norrbottens museums arkiv i Luleå.

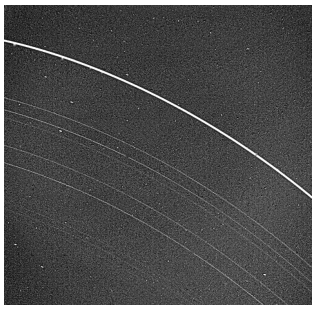
Referenser

Externa länkar

- Lundmarks vetenskapliga artiklar (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-abs_connect?db_key=AST&db_key=PRE&qform=AST&arxiv_sel=astro-ph&arxiv_sel=cond-mat&arxiv_sel=cs&arxiv_sel=gr-qc&arxiv_sel=hep-ex&arxiv_sel=hep-lat&arxiv_sel=hep-ph&arxiv_sel=hep-th&arxiv_sel=math&arxiv_sel=math-ph&arxiv_sel=nlin&arxiv_sel=nucl-ex&arxiv_sel=nucl-th&arxiv_sel=physics&arxiv_sel=quant-ph&arxiv_sel=q-bio&sim_query=YES&ned_query=YES&adsobj_query=YES&aut_logic=AND&obj_logic=OR&author=lundmark,+knut&object=&start_mon=&start_year=&end_mon=&end_year=&ttl_logic=OR&title=&txt_logic=OR&text=&nr_to_return=200&start_nr=1&jou_pick=ALL&ref_stems=&data_and=ALL&group_and=ALL&start_entry_day=&start_entry_mon=&start_entry_year=&end_entry_day=&end_entry_mon=&end_entry_year=&min_score=&sort=SCORE&data_type=SHORT&aut_syn=YES&ttl_syn=YES&txt_syn=YES&aut_wt=1.0&obj_wt=1.0&ttl_wt=0.3&txt_wt=3.0&aut_wgt=YES&obj_wgt=YES&ttl_wgt=YES&txt_wgt=YES&ttl_sco=YES&txt_sco=YES&version=1) på SAO/Nasas söktjänst i ADS **(engelska)**
- Knut Lundmark (http://libris.kb.se/hitlist.jsp?q=fÃ¶rf:(Lundmark,+Knut,+1889â1958)) i Libris
- Tycho Brahe-sällskapets hemsida: Historia (http://www.astb.se/index.php/Historia/)

- Lokala norrbottniska Lundmark-biografier: 1 (http://biphost.spray.se/john.rosen/Knut_Lundmark.htm) 2 (http://nsaaforum.ning.com/profile/SuneNilsson)
- Fotografier på Lundmark: 1 (http://app.ub.uu.se/epub/bildsok/autrecord.cfm?autid=1672) (Uppsala universitetsbibliotek), 2 (http://www42.pair.com/infolund/bolaget/DAHAP/people/3.html) och 3 (http://www.astb.se/cassiopeiabloggen/wp-content/uploads/2010/09/erez-3-1.jpg) (Lunds observatorium)

Uranus ringar

Planetarisk ring	Herdemåne
 Uranus ringsystem	
Upptäckare	James L. Elliot, Edward W. Dunham och Douglas J. Mink
Upptäckt år	1977
Ringdata	
Avstånd från planeten Uranus centrum	38 000 km
Bredd	60 000 km
Optiskt djup	5×10^{-6} - 2,5
Albedo	< 2 %
Excentricitet	0-0,008°

Uranus ringar är ett ringsystem bestående av tretton distinkta ringar som finns runt gasjätten Uranus. Ringsystemets komplexitet befinner sig mellan den mer omfattande uppsättningen ringar runt Saturnus, och det enklare systemet med ringar runt Jupiter och Neptunus. Nio av de tretton ringarna upptäcktes den 10 mars 1977 av James L. Elliot, Edward W. Dunham och Douglas J. Mink. För över 200 år sedan rapporterade dock William Herschel att han observerat ringar runt Uranus. Moderna astronomer är dock skeptiska till om han verkligen kunde se dem då ringarna är väldigt mörka och svaga. Rymdsonden Voyager 2 tog 1986 bilder av ringsystemet vilket ledde till upptäckten av ytterligare två ringar. Två yttre ringar upptäcktes 2003–2005 i foton tagna av Rymdteleskopet Hubble.

Uranus tretton ringar har getts beteckningarna 1986U2R/ζ, 6, 5, 4, α, β, η, γ, δ, λ, ε, ν samt μ listat från ringen närmast planeten och utåt. Deras radieområde spänner från cirka 38 000 km för 1986U2R/ζ-ringen till cirka 98 000 km för μ-ringen. Därtill kommer de stoftband och icke kompletta bågar som kan finnas mellan huvudringarna. Ringarna är extremt mörka — partiklarna som bygger upp ringarna har en Bondalbedo som inte överstiger 2 procent. De består troligtvis av vattenis samt därtill någon mörk strålningsbehandlat organiskt ämne. Uranus ringar är cirka 600 miljoner år gamla, vilket innebär att de är relativt nybildade. Förmodligen har de bildats av kollisioner mellan två eller flera månar som tidigare kretsat kring planeten. Efter kollisionerna har en del av resterna brutits upp i partiklar som samlats i områden där de uppnått maximal stabilitet och nu kan ses som optiskt täta ringar.

Majoriteten av Uranus ringar är ogenomskinliga och endast ett fåtal kilometer breda. Ringsystemet innehåller på det hela taget begränsade mängder stoft utan majoriteten av ringarna består främst av beståndsdelar i storleksordningen

0,2–20 m i diameter. En del av ringarna är dock optiskt tunna: de breda och matta 1986U2R/ζ-, μ- och ν-ringarna består av små stoftpartiklar, medan de smalare och matta λ-ringen även innehåller större beståndsdelar. Den relativa frånvaron av stoft i ringsystemet beror på aerodynamiskt motstånd från Uranus utvidgade exosfär — korona.

De mekanismer som håller de smala ringarna på plats är inte speciellt väl förstådda. Ursprungligen antogs det att de smala ringarna hade ett par närliggande herdemånar som driver in dem i ordning. När *Voyager 2* undersökte Uranus och dess ringsystem år 1986 upptäcktes dock endast ett par herdemånar (Cordelia och Ophelia) runt den ljusaste ringen (ε).

Övergripande egenskaper

År 2011 känner man till tretton klart avgränsade ringar i Uranus ringsystem. Ordnade utifrån deras ökade avstånd från planeten betecknas ringarna i tur och ordning: 1986U2R/ζ, 6, 5, 4, α, β, η, γ, δ, λ, ε, ν samt μ.[1] Ringarna kan delas in i tre grupper: nio smala huvudringar (6, 5, 4, α, β, η, γ, δ, ε),[2] två stoftringar (1986U2R/ζ, λ)[3] och två yttre ringar (μ, ν).[1] [4] Uranus ringar består huvudsakligen av makroskopiska partiklar och endast lite stoft,[5] även om det är känt att 1986U2R/ζ-, η-, δ-, λ-, ν- och μ-ringarna innehåller stoft.[1] [3] Utöver dessa välkända ringar kan det vara ett flertal optiskt tunna stoftband och ljussvaga ringar mellan dem. Dessa ljussvaga ringar och stoftband kan existera endast kortvarigt eller bestå av ett antal separata bågar, vilka ibland upptäcks genom ockultation.[6] En del av dem blev synliga vid en serie av händelser då ring-planen korsade varandra år 2007.[7] Ett antal stoftband mellan ringarna har iakttagits i framåtspridd[a] geometri av *Voyager 2*.[8] Alla Uranus ringar påvisar skillnader i azimutal ljusstyrka.[8]

Ringarna består av ett extremt mörkt material. Den geometriska albedon av ringarnas partiklar överstiger inte 5–6 procent medan Bondalbedon är ännu lägre — cirka 2 procent.[5] [9] Ringarna är något röda i ultraviolett och i det synliga delen av spektrat och grå i nära infrarött.[10] Ringarna visar inga identifierbara spektrala särdrag. Den kemiska sammansättningen av ringarnas partiklar är inte känt. Till skillnad från Saturnus ringar kan de dock inte vara helt gjorda av vattenis då de är för mörka. De är till och med mörkare än de inre av Uranus månar.[10] Detta indikerar att de troligtvis består av en blandning av is och ett mörkt material. Vad detta material är för något är oklart men det kan vara ett organiskt ämne som avsevärt förmörkats av de laddade partiklar som strålat ut från Uranus magnetosfär. Ringarnas partiklar kan bestå av samma material som de inre månarna och ursprungligen liknade de troligtvis varandra, men partiklarna har med tiden bearbetats avsevärt.[10]

På det stora hela skiljer sig Uranus ringar åt från både de svaga och dammiga ringarna runt Jupiter, såväl som de breda och komplexa ringarna runt Saturnus, av vilka vissa består av väldigt ljust material — vattenis. Det är dock likheter mellan vissa delar av Saturnus ringsystem. Saturnus F-ring och Uranus ε-ring är båda smala, relativt mörka och har ett par herdemånar vardera.[2] Uranus yttre ringar liknar Saturnus yttre G- och E-ringar.[11] De smala ringar som finns i de breda ringarna runt Saturnus liknar de smala ringarna runt Uranus.[2] Därtill liknar de stoftband som observerats mellan Uranus ringar de ringar som finns runt Jupiter. I motsats till detta är Neptunus ringsystem relativt likt Uranus ringsystem, även om det är mindre komplext, mörkare och innehåller mer stoft. Neptunus ringsystem ligger även längre ifrån planeten än vad Uranus ringar gör.[3]

Upptäckt

Det första omnämnandet av Uranus ringsystem var i William Herschel ingående anteckningar om hans observationer av Uranus under 1700-talet. Anteckningarna innehåller följande avsnitt: "Den 22 februari 1789: En ring anades".[12] [13] Herschel ritade ett litet diagram av ringen och noterade att den var "lite benägen åt rött".[14] Keck-observatoriet i Hawaii har sedan dess bekräftat att så är fallet, åtminstone för ν-ringen.[7] Herschels anteckningar publicerades i Royal Societys tidskrift år 1797. Under de två efterföljande århundradena, mellan 1797 och 1977, nämns ringarna knappt. Detta skapar tvivel om Herschel verkligen kunde ha sett något sådant när hundratals andra astronomer inte såg någonting. Det har dock hävdats att Herschel gav en korrekt beskrivning av ν-ringens storlek i förhållande till Uranus, hur den förändras när Uranus färdas runt solen, samt dess färg.[15]

Den slutgiltiga upptäckten av Uranus ringar gjordes av astronomerna James L. Elliot, Edward W. Dunham och Douglas J. Mink den 10 mars 1977 med hjälp av Kuiper Airborne Observatory genom serendipitet. De planerade att använda ockultationen mellan Uranus och stjärnan SAO 158687 för att studera planetens atmosfär. När de sedan analyserade sin insamlade data insåg de dock att stjärnan kortvarigt var utom synhåll vid fem tillfällen, både före och efter att den förmörkades av planeten. De slöt sig till att detta måste bero på att ett ringsystem med smala ringar måste finnas där.[16] [17] De observerade ockultation vid fem tillfällen och de angav dem med de grekiska bokstäverna α, β, γ, δ och ε i deras första rapport till IAU Central Bureau for Astronomical Telegrams.[16] Detta sätt att ange ringarna har använts sedan dess. Senare fann de ytterligare fyra ringar: en mellan β- och γ-ringarna och tre stycken inom α-ringen.[18] Den förstnämnda namngavs till η-ringen medan de övriga tre angavs med siffrorna 4, 5 och 6 — enligt numreringen av okultationen i en artikel.[19] Uranus ringsystem var det andra ringsystemet som upptäcktes i solsystemet, efter Saturnus ringsystem.[2]

När rymdsonden *Voyager 2* år 1986 flög igenom Uranus närområde avbildades ringarna.[8] Två svagare ringar avslöjades och det totala antalet kända ringar uppgick då till elva.[8] Hubbleteleskopet upptäckte ytterligare ett par oupptäckta ringar åren 2003–2005 och det totala antalet kända ringar uppgår nu till 13. Genom upptäckten av dessa tidigare okända ringar dubblerade den radie som ringsystemet tidigare troddes ha.[1] Hubbles avbildade även två små satelliter för första gången, varav en av dem, månen Mab, delar sin bana med den yttersta ringen.[20]

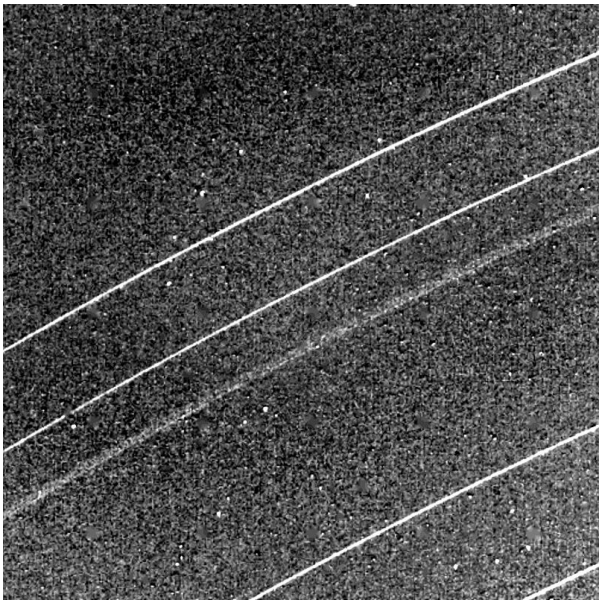
De smala huvudringarna

ε-ringen

ε-ringen, epsilonringen, är den ljusstarkaste och tätaste delen av Uranus ringssystem och står ensam för cirka två tredjedelar av det ljus som reflekteras från ringarna.[8] [10] Även om det är den av Uranus ringar som avviker mest från en perfekt cirkel så har den en försumbar inklination.[21] Att ringens bana inte är en perfekt cirkel får dess ljusstyrka att variera över tid. Den radiellt strukturerade ljusstyrkan från ε-ringen är starkast närmast apsis och svagast närmast periapsis.[22]

En närbild av Uranus ε-ring.

Förhållandet mellan den maximala och den minimala ljusstyrkan är cirka 2,5–3,0.[5] Dessa variationer hänger samman med variationer i ringens bred, vilken är 19,7 km vid periapsis och 96,4 km vid apsis.[22] Då ringarna blir bredare minskar mängden skugga från de övriga partiklarna och fler av dem blir synliga, vilket leder till en högre integrerad reflexförmåga.[9] Skillnaden i bred mättes direkt från bilder tagna av *Voyager 2*. ε-ringen var en av de två ringar som analyserades av Voyagers kamera.[8] Detta indikerar att ringarna inte är optiskt tunna. Faktum är att observationer av okultationen både från marken och från rymdsonden visade att dess normala optiska djupet[c] varierar mellan 0,5 och 2,5,[22] [23] det högsta närmast periapsis. ε-ringen ekvivalenta djup [d] är cirka 47 km och är konstant runt banan.[22]



En närbild av (uppifrån och ner) δ,-, γ-, η-, β- och α-ringarna. Den upplösta η-ringen visar den optiskt tunna breda komponenten.

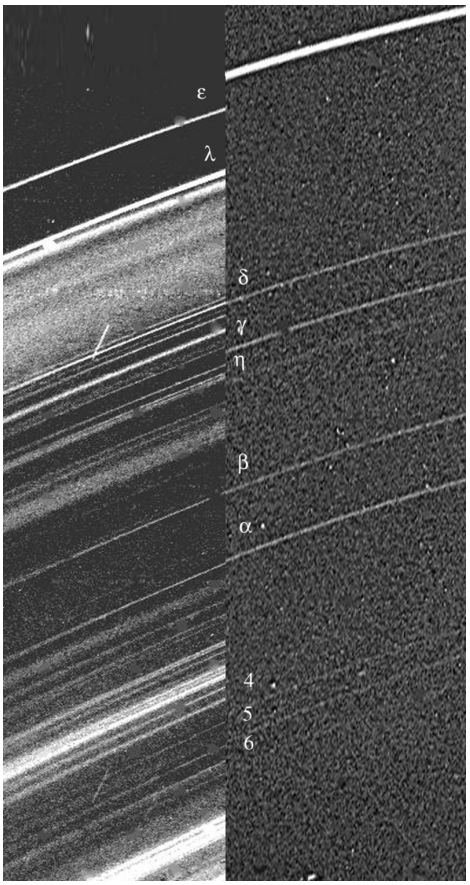
ε-ringens geometriska tjocklek är inte exakt känd även om ringen med säkerhet är väldigt tunn—enligt vissa uppskattningar så tunn som 150 m.[6] Trots sin ringa storlek innehåller den flera lager med partiklar. ε-ringen är en rätt välfylld plats med en fyllnadsfaktor nära apsis som är beräknad till, beroende på källa, att vara mellan 0,008 till 0,06.[22] Genomsnittsstorleken på partiklarna i ringen är 0,2–20,0 m,[6] och det genomsnittliga mellanrummet mellan dem är omkring 4,5 gånger deras radie.[22] Ringen saknar nästan kosmiskt stoft, möjligtvis på grund av luftmotståndet från Uranus vidsträckta atmosfäriska korona.[24] På grund av dess rakbladstunna karaktär försvinner ε-ringen när den iakttas rakt framifrån.[7]

Vid ett experiment med radioockultation upptäckte rymdsonden *Voyager 2* en underlig signal från ε-ringen.[23] Signalen såg ut att vara en skarp stigning av framåtspritt ljus av våglängden 3,6 cm nära ringens apsis. En sådan skarp stigning av framåtspritt ljus kräver att det finns en sammanhållen struktur. Att ε-ringen har en sådan finstruktur har bekräftats vid många observationer av dess okultation.[6] ε-ringen tycks bestå av ett nummer smala och optiskt täta små ringar, av vilket vissa av dem kan ha okompletta cirkelbågar.[6]

Två herdemånar är kända runt ε-ringen: en inre, Cordelia; och en yttre, Ophelia. Den inre kanten av ringen har banresonansen 24:25 med Cordelia, och den yttre kanten har banresonansen 14:13 med Ophelia.[25] Månarnas massor måste vara minst tre gånger ringens massa för att avgränsa dem effektivt. ε-ringens massa beräknas vara cirka 10^{16} kg.[2] [25]

δ-ringen

δ-ringen, deltaringen, är cirkelformad och något böjd.[21] Ringen förevisar en ännu oförklarlig azimutal avvikelse i det normala optiska djupet och bredden.[6] En möjlig förklaring till detta är att ringen har en azimutal vågliknande struktur, exciterad av en liten måne precis innanför den.[26] Den skarpa yttre kanten av δ-ringen är i resonans 23:22 med Cordelia.[27] δ-ringen består av två beståndsdelar: en smal del som är optiskt tät, och en bred med introvärt axel med ett lågt optiskt djup.[6] Den smala delens bredd är 4,1–6,1 km och det ekvivalenta djupet är cirka 2,2 km, vilket motsvarar ett normalt optiskt djup av cirka 0,3–0,6.[22] Ringens breda del är cirka 10–12 km bred och det ekvivalenta djupet är cirka 0,3 km. Detta indikerar ett lågt normalt optiskt djup av 3×10^{-2}.[22] [28] Detta är känt endast genom ockultationsdata eftersom *Voyager 2:s* bildexperiment misslyckades med att analysera δ-ringen.[8] [28] När ringen observerades i framåtspridd geometri av *Voyager 2* framstod ringen som relativt ljusstark. Något som kan förklaras med stoft i den breda beståndsdelen.[8] Den breda delen är geometriskt tjockare än den smala delen. Detta stöds av det observationer som gjordes vid en serie av händelser då ringarna plan korsade varandra år 2007. Då ökade δ-ringen i ljusstyrka vilket är ett beteende som är i linje med vad som förväntas av en ring som samtidigt är geometriskt tjock och optiskt tunn.[7]



Jämförelse mellan Uranus ringar i framåtspritt och bakåtspritt ljus (bilderna tagna av *Voyager 2* år 1986).

γ-ringen

γ-ringen, gammaringen, är smal, optiskt kompakt och har någon excentricitet. Dess baninklination är närmast noll.[21] Ringens bredd varierar mellan 3,6 och 4,7 km, även om det likvärdiga optiska djupet är konstant på 3,3 km.[22] Det normala optiska djupet hos γ-ringen är 0,7–0,9. Då några av ringarnas plan korsade varandra år 2007 försvann γ-ringen vilket betyder att den är geometriskt tunn precis som ε-ringen,[6] och utan stoft.[7] Bredden och det normala optiska djupet hos γ-ringen visar stora azimutala variationer.[6] Mekanismen för hur en sådan smal ring hålls avgränsad är inte känd men det har noterats att den skarpa inre kanten av γ-ringen är i resonans med 6:5 med Ophelia.[27] [29]

η-ringen

η-ringen, etaringen, saknar omloppsexcentricitet och inklination.[21] Precis som δ-ringen består den av två beståndsdelar: en smal och optiskt tät del och ett brett yttre utsprång med lågt optiskt djup.[8] Den smala delens bredd är 1,9–2,7 km och det ekvivalenta djupet är cirka 0,42 km, vilket motsvarar till det normala optiska djupet av omkring 0,16–0,25.[22] Den breda delen är cirka 40 km bred och dess ekvivalenta djup är nära 0,85 km, vilket indikerar ett lågt normalt optiskt djup av 2×10^{-2}.[22] Bilder från *Voyager 2* avgjorde det hela.[8] I framåtspritt ljus framstår η-ringen som ljusstark vilket indikerar att stora mängder stoft finns i den ringen, troligtvis i den breda delen.[8] Den breda delen är mycket tjockare (geometriskt) än den smalare. Denna slutsatts stöds av de observationer som gjordes 2007 då några av ringarna korsade varandra. Då uppvisade η-ringen ökad ljusstyrka och blev den näst ljusstarkaste delen i ringsystemet. Detta överstämmer med uppförandet hos en geometriskt tjock, men samtidigt optiskt tunn ring.[7] Likt majoriteten av de övriga ringarna så visar η-ringen signifikanta azimutala variationer i det normala optiska djupet och bredden. Den smala delen försvinner rent av på vissa ställen.[6]

α- och β-ringarna

Efter ε-ringen är α- och β-ringarna, alfa- och betaringarna, de ljusstarkaste av Uranus ringar.[5] Precis som ε-ringen uppvisar de regelbundna variationer i ljusstyrka och bredd.[5] De är ljusstarkast och bredast 30° från apoapsis och blekast och smalast 30° från periapsis.[8] [30] α- och β-ringarna har ansenlig banexcentricitet och icke negligerbar inklination.[21] Bredden hos dessa ringar är 4,8–10 km respektive 6,1–11,4 km.[22] Det ekvivalenta optiska djupet är 3,29 km och 2,14 km vilket resulterar i ett normalt optiskt djup av 0,3–0,7 respektive 0,2–0,35.[22] År 2007 korsade några av ringarna varandra och α- och β-ringarna försvann då vilket betyder att de precis som ε-ringen är geometriskt tunna och saknar stoft.[7] Samma händelse avslöjade dock ett tjockt och optiskt tunnt lager med stoft i ett band precis utanför β-ringen. Stoftbandet hade tidigare observerats av *Voyager 2*.[8] α- och β-ringarnas massor beräknas till att vara cirka 5×10^{15} kg (vardera) — hälften av ε-ringens massa.[31]

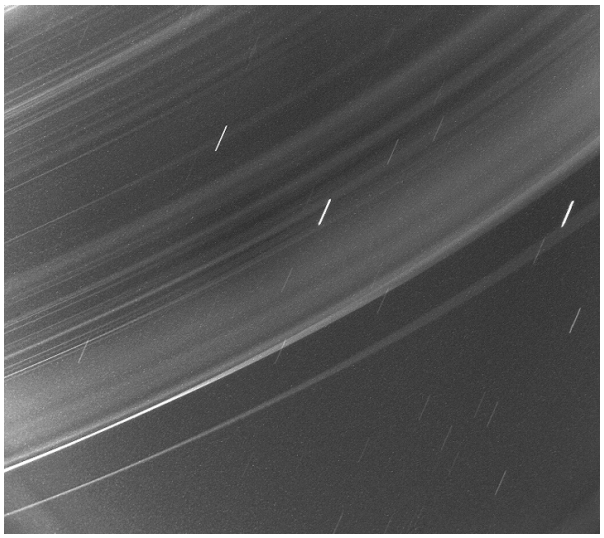
Ringarna 6, 5 och 4

Ringarna 6, 5 och 4 är de innersta och blekaste av Uranus smala ringar.[5] De är de mest inklinerade ringarna och de har den största banexcentriciteten om ε-ringen exkluderas.[21] Faktum är att deras inklination (0,06°, 0,05° och 0,03°) var stor nog för att *Voyager 2* skulle kunna studera deras elevation ovanför Uranus ekvatorialplan, vilket var 24–46 km.[8] Ringarna 6, 5 och 4 är också Uranus smalaste ringar och respektive ring mäter endast 1,6–2,2 km, 1,9–4,9 km och 2,4–4,4 km i bredd.[8] [22] Deras ekvivalenta djup är 0,41 km, 0,91 och 0,71 km vilket resulterar i ett normalt optiskt djup på 0,18–0,25, 0,18–0,48 och 0,16–0,3.[22] På grund av att de var så smala och då de saknar stoft var de tre ringarna inte synliga då ringarnas korsade varandra år 2007.[7]

Stoftringarna

λ-ringen

λ-ringen, lambdaringen, var en av de två ringar som upptäcktes av *Voyager 2* år 1986.[21] Ringen är smal och ljussvag och lokaliserade precis innanför ε-ringen på ena sidan och herdemånen Cordelia på den andra.[8] Månen Cordelia röjer upp en mörk bana inuti λ-ringen. När ringen observeras i bakåtspritt ljus [b], framgår det att ringen är extremt smal — cirka1–2 km—och har ekvivalent optiskt djup på 0,1–0,2 km vid våglängden 2,2 μm.[24] Det normala optiska djupet är 0,1–0,2.[8] [28] Det optiska djupet hos λ-ringen visar stor avhängighet gentemot våglängden, vilket avviker från det övriga ringsystemet. Det ekvivalenta djupet är så högt som 0,36 km i den ultravioletta delen av spektrat. Detta förklarar varför λ-ringen ursprungligen endast påvisades av *Voyager 2* genom ockultation i det ultravioletta stjärnljuset.[28] Upptäckten av ringen vid ockultation av stjärnljus vid våglängden 2,2 μm tillkännagavs först 1996.[24]



En bild från *Voyager 2* med lång exponeringstid och hög fasvinkel (172,5°) av Uranus inre ringar.[5] I framåtspritt ljus kan stoftband som inte är synliga i andra bilder ses, såväl som de vedertagna ringarna.

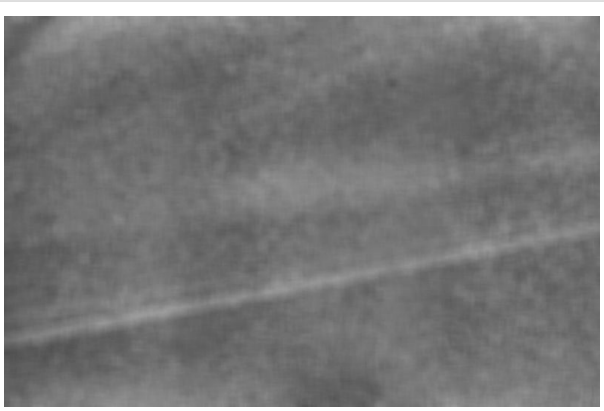
Ringens apparition förändrades dramatiskt när den observerades i framåtspritt ljus år 1986.[8] I denna geometri blev ringen det ljusstarkaste delen av Uranus ringsystem, överglänsande ε-ringen.[3] Denna iakttagelse tillsammans med våglängdens avhängighet av det optiska djupet tyder på att λ-ringen innehåller betydande mängder av mikrometerstort stoft.[3] Stoftet normala optiska djup är 10^{-4}–10^{-3}.[5] Observationer från 2007 utförda av

Keck-observatoriet bekräftade denna slutsats då λ-ringen blev en av de ljusaste delarna i ringsystemet.[7]

Ingående analyser av *Voyager 2:s* bilder avslöjade azimutala variationer i ljusstyrka hos λ-ringen.[5] Variationen tycks vara periodisk och påminner om en stående våg. Upphovet till denna finstruktur i λ-ringen är ännu en gåta.[3]

1986U2R/ζ-ringen

År 1986 upptäckte *Voyager 2* en bred och ljussvag skiva med material inuti Ring 6.[8] Denna ring gavs det provisoriska namnet 1986U2R. Ringen hade ett normalt optiskt djup på 10^{-3} eller lägre och var extremt ljussvag. Den var synlig i en enda av bilderna som *Voyager 2* tog.[8] Ringen var belägen mellan 37 000 och 39 500 km från Uranus mittpunkt, cirka 12 000 km ovanför planetens molntäcke.[24] Ringen observerades inte igen förrän 2003–2004 då Keck-observatoriet åter fann en bred och ljussvag skiva med material precis innanför Ring 6. Denna kallades för ζ-ringen, zetaringen.[24] ζ-ringens återfunna position skiljer sig dock markant från de observationer som gjordes 1986. Nu ligger den mellan 37 850 och 41 350 km från planetens mittpunkt. Det finns en gradvis avtagande vidgning inåt mot planeten som når så långt ned som 32 600 km.[24]



Den första bilden som tagits som avbildar 1986U2R-ringen.

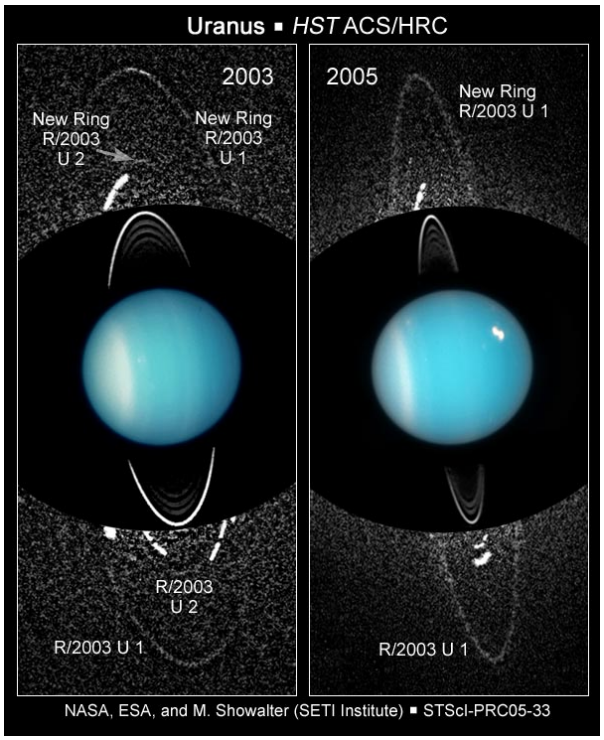
ζ-ringen observerades åter under år 2007 då några av ringarna korsade varandra och den blev då den ljusaste delen av ringsystemet och lyste starkare än alla de övriga ringarna sammantaget.[7] Det ekvivalenta optiska djupet hos denna ring är nära 1 km (0,6 km för utvidgning inåt), medan det normala optiska djupet än en gång är under 10^{-3}.[24] Det förändrade utseendet på ringen kan bero på hur den studerades geometriskt då olika tekniker användes 1986 respektive 2003–2007.[24] [7] Förändringar under de senaste 20 åren i hur stoftet distribuerats, vilket ringen tros bestå av, kan inte uteslutas.[7]

Andra stoftband

Utöver ringarna 1986U2R/ζ och λ finns det andra extremt svaga stoftband i Uranus ringsystem.[8] Stoftbanden är osynliga under ockultationer då de har försumbart optiskt djup, även om de är ljusstarka i framåtspritt ljus.[3] Bilder tagna av *Voyager 2* i framåtspritt ljus avslöjade stoftbandens existens mellan λ- och δ-ringarna, mellan η- och β-ringarna, samt mellan α-ringen och Ring 4.[8] Många av stoftbanden upptäcktes åter 2003–2004 av Keck-observatoriet samt 2007 i bakåtspritt ljus men deras exakta position och relativa ljusstyrka skiljde sig åt från de observationer som gjordes av *Voyager*.[24] [7] Det normala optiska djupet hos stoftbanden är cirka 10^{-5} eller mindre. Distributionen av stoftpartiklarnas storlek tros lyda en potenslag med index $p = 2{,}5 \pm 0{,}5$.[5]

Det yttre ringsystemet

Efter att ha analyserat bilder tagna av Rymdteleskopet Hubble åren 2003–2005 upptäcktes ett par tidigare ringar som varit okända fram till dess. Detta ökade antalet kända ringar till 13. Dessa två ringar kallas nu för de yttre ringsystemet.[1] Ringarna gavs namnet μ och ν.[4] μ-ringen är den som ligger ytterst av de två och ligger på det dubbla avståndet från planeten jämfört med den ljusstarka η-ringen.[1] De yttre ringarna skiljer sig från de inre smala ringarna på ett flertal sätt: de är breda, 17 000 och 3 800 km breda och mycket ljussvaga. Det högsta normala optiska djup som de har är $8{,}5 \times 10^{-6}$ och $5{,}4 \times 10^{-6}$. Det resulterande ekvivalenta optiska djupet är 0,14 km och 0,012 km.[1]



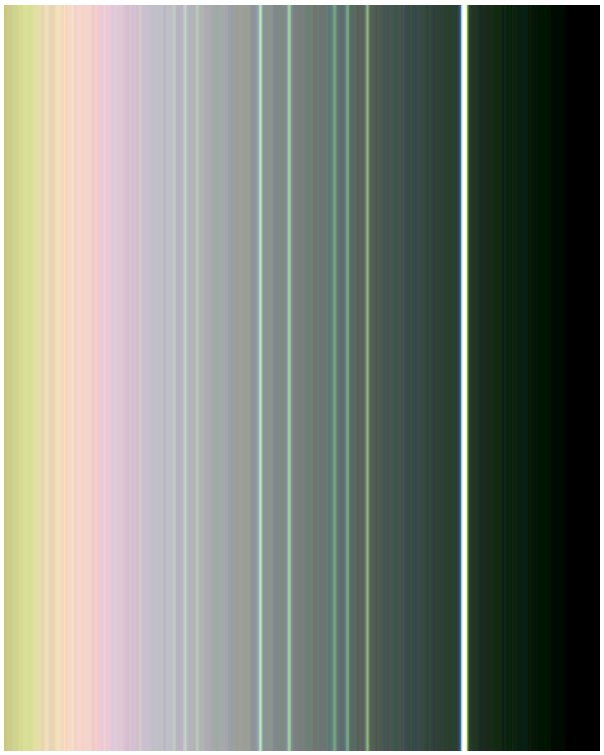
Uranus μ- och ν-ringar (R/2003 U1 and U2) avbildade av Rymdteleskopet Hubble år 2005.

μ-ringens högsta ljusstyrka ligger nästan exakt på den lilla månen Mabs bana. Månen är troligtvis källan till partiklarna i ringen.[1] [20] ν-ringen ligger mellan månarna Portia och Rosalind och har inga månar inom sig. En andra analys av *Voyager 2:s* bilder i framåtspritt ljus visar tydligt μ- och ν-ringarna. I denna geometri är ringarna mycket ljusare vilket indikerar att de innehåller mycket mikrometerstort stoft.[1] De yttre ringarna runt Uranus kan vara liknande G- och E-ringarna runt Saturnus. G-ringen saknar även den alla tecken på en ännu observerbar källa till ringens material. E-ringen är däremot extremt bred och mottar stoft från Enceladus.[1] [20]

μ-ringen kan bestå helt av stoft och inte innehålla några större partiklar över huvud taget. Denna hypotes stöds av de observationer som gjorts av Keck-observatoriet. Teleskopet misslyckades med att upptäcka μ-ringen med hjälp av infraröd strålning i 2,2 μm, men upptäckte ν-ringen.[11] Att detta misslyckades betyder att μ-ringen har en blå färg, vilket betyder att den huvudsakligen består av mycket små stoftkorn (mindre än en mikrometer i storlek).[11] Stoftet kan bestå av vattenis.[32] ν-ringen är däremot något röd i färgen.[11] [33]

Dynamik och ursprung

Ett fysikaliskt skeende som ännu saknar ordentlig förklaring gällande Uranus smala ringar är hur de hålls isolerade. Utan en mekanism som håller dess partiklar samman skulle ringarna snabbt spridas ut radiellt och livstiden för Uranus ringsystem skulle inte vara mer än 1 miljon år.[2] Den modell som oftast anförs för att förklara hur de hålls isolerade föreslogs ursprungligen av Peter Goldreich och Scott Tremaine.[34] Den går ut på att ett par närligande månars gravitation, en yttre och en inre herdemåne, interagerar med en ring. Månarnas respektive gravitation håller kvar ringens partiklar på plats mellan sig, men gradvis flyttar månarna sig själva från ringen.[2] För att detta skall ske på ett effektivt sätt måste herdemånarnas samlade massa överstiga ringens massa med minst faktorn två till tre. Det är känt att denna mekanism sker i fallet med ε-ringen där herdemånarna Cordelia och Ophelia påverkar den. Cordelia är även den yttre herdemånen för δ-ringen och Ophelia den yttre herdemånen för γ-ringen.[27] Ingen måne större än 10 km är dock känd i närheten av någon av de andra ringarna.[8] Det nuvarande avståndet till Cordelia och Ophelia från ε-ringen kan användas för att uppskatta ringens ålder. Beräkningarna visar att ε-ringen inte kan vara äldre än 6×10^8 år.[2] [25]



Ett fotografi av Uranus ringar, taget av *Voyager 2*. Färgerna på fotografiet är inte de naturliga utan bilden är färgbehandlad för att man ska kunna se ringarna bättre.

Eftersom Uranus ringar tycks vara unga måste de konstant fyllas på av de fragment som bildas när större kroppar kolliderar. Uppskattningar pekar på att livstiden för en måne likt Puck är ett fåtal miljarder år innan den slits sönder av kollisioner. Livstiden för mindre objekt är mycket kortare.[2] Alla de mindre månarna såväl som ringarna som existerar idag kan vara resultatet av sönderslitningen av ett flertal drabanter i Pucks storlek som skett under de senaste 4,5 miljarder åren.[25] Varje sådan sönderslitning skulle då ha lett till ett kaskad av nya kollisioner som snabbt malde ner alla större kropparna till en mycket mindre storlek, ända ned till stoftpartiklar.[2]

Stoftbandets ursprung är mindre problematisk. Stoft har en mycket kort livstid, mellan 100–1000 år. Banden fylls dock på då kollisioner med större partiklar i ringarna, små månar och meteoroider som kommer utifrån Uranus system.[3] [25] Bältet med de små månarna som gett upphov till dem samt partiklarna är dock osynliga på grund av deras låga optiska djup. Stoftet visar sig dock i framåtspritt ljus.[25] De smala huvudringar och bältet med de små månarna som skapade stoftbanden tros skilja sig åt när det kommer till distributionen av partiklarnas storlek. De smala huvudringarna fler beståndsdelar som är mellan en centimeter och en meter i storlek. En sådan fördelning ändrar ytan av materian i ringarna, vilket leder till en högre optisk densitet i bakåtspritt ljus. I motsats till detta har stoftbanden relativt få större partiklar, vilket leder till ett lågt optiskt djup.[25]

Utforskning

Ringarna undersöktes noggrant av *Voyager 2* då rymdsonden flög förbi Uranus i januari 1986.[21] Två ljussvaga ringar — λ och 1986U2R — upptäcktes vilket ökade det totala antalet kända ringar till elva. Ringarna studerades genom att analysera den data som insamlades genom ockultationer från radio,[23] ultraviolett strålning[28] såväl som optiska ockultationer.[6] *Voyager 2* observerade ringarna i olika geometri i förhållande till solen och tog bilder i flera olika ljus.[8] Analyser av dessa bilder möjliggjorde derivation av de kompletta fasernas funktioner, geometrisk samt Bondalbedo av ringarnas partiklar.[5] Två ringar — ε och η — kunde analyseras med hjälp av bilderna och de avslöjades då ha en komplicerad finstruktur.[8] Analyser av *Voyager 2:s* bilder ledde även till upptäckten av de tio inre månarna som färdas runt Uranus, inklusive ε-ringens två herdemånar — Cordelia och Ophelia.[8]

Lista över ringarnas egenskaper

Denna tabell sammanfattar de olika ringarnas egenskaper.

Ringens namn	**Radie (km)**[f]	**Bredd (km)**[f]	**Ekvivalent djup (km)**[d][g]	**Normalt optiskt djup**[c][i]	**Tjocklek (m)**[h]	**Excentricitet**[e]	**Inklination(°)**[e]	**Kommentarer**
ζ_c	32 000–37 850	3 500	0,6	~ 10^{-4}	?	?	?	Inre förlängning av ζ-ringen
1986U2R	37 000–39 500	2 500	?	< 10^{-3}	?	?	?	Blek stoftring
ζ	37 850–41 350	3 500	1	< 10^{-3}	?	?	?	
6	41 837	1,6–2,2	0,41	0,18–0,25	?	$1,0 \times 10^{-3}$	0,062	
5	42 234	1,9–4,9	0,91	0,18–0,48	?	$1,9 \times 10^{-3}$	0,054	
4	42 570	2,4–4,4	0,71	0,16–0,30	?	$1,1 \times 10^{-3}$	0,032	
α	44 718	4,8–10,0	3,39	0,3–0,7	?	$0,8 \times 10^{-3}$	0,015	
β	45 661	6,1–11,4	2,14	0,20–0,35	?	$0,4 \times 10^{-3}$	0,005	
η	47 175	1,9–2,7	0,42	0,16–0,25	?	0	0,001	
η_c	47 176	40	0,85	2×10^{-2}	?	0	0,001	Den yttre breda komponenten av η-ringen
γ	47 627	3,6–4,7	3,3	0,7–0,9	150?	$0,1 \times 10^{-3}$	0,002	
δ_c	48 300	10–12	0,3	3×10^{-2}	?	0	0,001	Den inre breda komponenten av δ-ringen
δ	48 300	4,1–6,1	2,2	0,3–0,6	?	0	0,001	
λ	50 023	1–2	0,2	0,1–0,2	?	0?	0?	Blek stoftring
ε	51 149	19,7–96,4	47	0,5–2,5	150?	$7,9 \times 10^{-3}$	0	Vallad av herdemånarna Cordelia och Ophelia
ν	66 100–69 900	3 800	0,012	$5,4 \times 10^{-6}$	?	?	?	Mellan månarna Portia och Rosalind, maximal ljusstyrka vid 67 300 km
μ	86 000–103 000	17 000	0,14	$8,5 \times 10^{-6}$	?	?	?	Vid Mab, maximal ljusstyrka på 97 700 km

Noter

a. ^ Framåtspritt ljus är det ljus som sprids i en snäv vinkel i förhållande till solljuset (fasvinkel nära 180°).
b. ^ Bakåtspritt ljus är det ljus som sprids i en vinkel nära 180° i förhållande till solljuset (fasvinkel nära 0°).
c. ^ En rings normala optiska djup τ är förhållandet av den totala geometriska tvärsnittet av ringens partiklar och ringens yta. Den antar värden från noll till oändlighet. En ljusstråle som under normala förhållanden passerar genom ringen kommer att försvagas med en faktor av $e^{-\tau}$.[5]
d. ^ Det motsvarande djupet ED av en ring definieras som en integral av det normala optiska djupet tvärsöver ringen. Med andra ord $ED=\int \tau dr$, där r är radie.[24]
e. ^ Ringarnas excentricitet och inklination togs från Stone *et al*., 1986 samt French *et al*., 1989.[21] [29]
f. ^ 6-,5-,4-, α-, β-, η-, γ-, δ-, λ- och ε-ringarnas radier togs från Esposito *et al*., 2002.[2] Bredden på 6-,5-,4-, α-, β-, η-, γ-, δ-, λ- och ε-ringarna togs från Karkoshka *et al*., 2001.[22] ζ- och 1986U2R-ringarnas radier togs från Pater *et al*., 2006.[24] Bredden för λ-ringen togs från Holberg *et al*., 1987.[28] Radierna och bredderna för μ- och ν-ringarna togs från Showalter *et al*., 2006.[1]
g. ^ Det ekvivalenta djupet hos 1986U2R-ringen är ett resultat av dess bredd och det normala optiska djupet. Det ekvivalenta djupet hos 6-, 5-, 4-, α-, β-, η-, γ-, δ- och ε-ringarna har tagits från Karkoshka *et al*., 2001.[22] Det ekvivalenta djupet hos λ- och ζ-, μ- och ν-ringarna har härletts genom att använda μEW-värdet från de Pater *et al*., 2006[24] samt de Pater *et al*., 2006b.[11] μEW-värdet för dessa ringar multiplicerades med faktorn 20, vilket motsvarar den förmodade albedon på 5 procent för ringarnas partiklar.
h. ^ Uppskattningen av tjockleken kommer från Lane *et al*., 1986.[6]
i. ^ Det normala optiska djupet för alla ringarna förutom 1986U2R, μ och ν beräknades genom förhållandet av de ekvivalenta djupen mot bredden. Den normala optiska djupet hos 1986U2R-ringen togs från de Smith *et al*., 1986.[8] Det normala optiska djupet för μ- och ν-ringarna är de högsta värdena från Showalter *et al*., 2006.[1]

Referenser

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, *Rings of Uranus* [35]

[1] Showalter, Mark R.; Lissauer, Jack J. (2006). ” The Second Ring-Moon System of Uranus: Discovery and Dynamics (http://adsabs.harvard.edu/abs/2006Sci...311..973S)”. *Science* **311**: ss. 973–977. doi: 10.1126/science.1122882 (http://dx.doi.org/10.1126/science.1122882). PMID 16373533. .

[2] Esposito, L. W. (2002). ” Planetary rings (http://www.iop.org/EJ/article/0034-4885/65/12/201/r21201.pdf)” (pdf). *Reports On Progress In Physics* **65**: ss. 1741–1783. doi: 10.1088/0034-4885/65/12/201 (http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/65/12/201). .

[3] Burns, J.A.; Hamilton, D.P.; Showalter, M.R.: Grun, E.; Gustafson, B. A. S.; Dermott, S. T.; Fechtig H.: *Dusty Rings and Circumplanetary Dust: Observations and Simple Physics* (http://www.astro.umd.edu/~hamilton/research/preprints/BurHamSho01.pdf), Springer, Berlin 2001 (PDF), sid. 641–725.

[4] Showalter, Mark R.; Lissauer, J. J.; French, R. G. *et al*. (2008). ”The Outer Dust Rings of Uranus in the Hubble Space Telescope” (http://adsabs.harvard.edu/abs/2008DDA....39.1602S). American Astronomical Society. . Läst 2008-05-30.

[5] Ockert, M.E.; Cuzzin, J.N.; Porco, C.C.; and Johnson, T.V. (1987). ” Uranian ring photometry: Results from Voyager 2 (http://adsabs.harvard.edu/abs/1987JGR....9214969O)”. *Journal of Geophysical Research* **92**: ss. 14,969–78. doi: 10.1029/JA092iA13p14969 (http://dx.doi.org/10.1029/JA092iA13p14969). .

[6] Lane, Arthur L.; Hord, Charles W.; West, Robert A. *et al*. (1986). ” Photometry from Voyager 2: Initial results from the uranian atmosphere, satellites and rings (http://adsabs.harvard.edu/abs/1986Sci...233...65L)”. *Science* **233** (4759): ss. 65–69. doi: 10.1126/science.233.4759.65 (http://dx.doi.org/10.1126/science.233.4759.65). PMID 17812890. .

[7] de Pater, Imke; Hammel, H. B.; Showalter, Mark R.; Van Dam, Marcos A. (2007). ” The Dark Side of the Rings of Uranus (http://adsabs.harvard.edu/abs/2007Sci...317.1888D)”. *Science* **317** (5846): ss. 1888–1890. doi: 10.1126/science.1148103 (http://dx.doi.org/10.1126/science.1148103). PMID 17717152. .

[8] Smith, B. A.; Soderblom, L.A.; Beebe, A. *et al.* (1986). ” Voyager 2 in the Uranian System: Imaging Science Results (http://adsabs.harvard.edu/abs/1986Sci...233...43S)”. *Science* **233** (4759): ss. 97–102. doi: 10.1126/science.233.4759.43 (http://dx.doi.org/10.1126/science.233.4759.43). PMID 17812889. .

[9] Karkoshka, Erich (1997). ” Rings and Satellites of Uranus: Colorful and Not So Dark (http://adsabs.harvard.edu/abs/1997Icar..125..348K)”. *Icarus* **125**: ss. 348–363. doi: 10.1006/icar.1996.5631 (http://dx.doi.org/10.1006/icar.1996.5631). .

[10] Baines, Kevin H.; Yanamandra-Fisher, Padmavati A.; Lebofsky, Larry A.; *et al*. (1998). ” Near-Infrared Absolute Photometric Imaging of the Uranian System (http://adsabs.harvard.edu/abs/1998Icar..132..266B)”. *Icarus* **132**: ss. 266–284. doi: 10.1006/icar.1998.5894 (http://

dx.doi.org/10.1006/icar.1998.5894). .

[11] dePater, Imke; Hammel, Heidi B.; Gibbard, Seran G.; Showalter, Mark R. (2006). ” New Dust Belts of Uranus: One Ring, Two Ring, Red Ring, Blue Ring (http://adsabs.harvard.edu/abs/2006Sci...312...92D)”. *Science* **312** (5770): ss. 92–94. doi: 10.1126/science.1125110 (http://dx.doi.org/10.1126/science.1125110). PMID 16601188. .

[12] Ursprungligt citat: “February 22, 1789: A ring was suspected"

[13] ”Uranus rings 'were seen in 1700s'” (http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/6569849.stm). BBC News. 19 april 2007. . Läst 2007-04-19.

[14] ”a little inclined to the red”

[15] ”Did William Herschel Discover The Rings Of Uranus In The 18th Century?” (http://www.physorg.com/news95949762.html). *Physorg.com*. 2007. . Läst 2007-06-20.

[16] Elliot, J.L.; Dunham, E; Mink, D. (1977). ”The Occultation of SAO − 15 86687 by the Uranian Satellite Belt” (http://www.cfa.harvard.edu/iauc/03000/03051.html). International Astronomical Union, Circular No. 3051. .

[17] Elliot, J.L.; Dunham, E. and Mink, D. (1977). ” The rings of Uranus (http://www.nature.com/nature/journal/v267/n5609/abs/267328a0.html)”. *Nature* **267**: ss. 328–330. doi: 10.1038/267328a0 (http://dx.doi.org/10.1038/267328a0). .

[18] Nicholson, P. D.; Persson, S.E.; Matthews, K. *et al*. (1978). ” The Rings of Uranus: Results from 10 April 1978 Occultations (http://adsabs.harvard.edu/abs/1978AJ.....83.1240N)”. *The Astronomical Journal* **83**: ss. 1240–1248. doi: 10.1086/112318 (http://dx.doi.org/10.1086/112318). .

[19] Millis, R.L.; Wasserman, L.H. (1978). ” The Occultation of BD −15 3969 by the Rings of Uranus (http://adsabs.harvard.edu/abs/1978AJ....83..993M)”. *The Astronomical Journal* **83**: ss. 993–998. doi: 10.1086/112281 (http://dx.doi.org/10.1086/112281). .

[20] ”NASA's Hubble Discovers New Rings and Moons Around Uranus” (http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2005/33/). *Hubblesite*. 2005. . Läst 2007-06-09.

[21] Stone, E.C.; Miner, E.D. (1986). ” Voyager 2 encounter with the uranian system (http://adsabs.harvard.edu/abs/1986Sci...233...39S)”. *Science* **233** (4759): ss. 39–43. doi: 10.1126/science.233.4759.39 (http://dx.doi.org/10.1126/science.233.4759.39). PMID 17812888. .

[22] Karkoshka, Erich (2001). ” Photometric Modeling of the Epsilon Ring of Uranus and Its Spacing of Particles (http://adsabs.harvard.edu/abs/2001Icar..151...78K)”. *Icarus* **151**: ss. 78–83. doi: 10.1006/icar.2001.6598 (http://dx.doi.org/10.1006/icar.2001.6598). .

[23] Tyler, J.L.; Sweetnam, D.N.; Anderson, J.D.; *et al*. (1986). ” Voyger 2 Radio Science Observations of the Uranian System: Atmosphere, Rings, and Satellites (http://adsabs.harvard.edu/abs/1986Sci...233...79T)”. *Science* **233** (4759): ss. 79–84. doi: 10.1126/science.233.4759.79 (http://dx.doi.org/10.1126/science.233.4759.79). PMID 17812893. .

[24] de Pater, Imke; Gibbard, Seran G.; Lebofsky, Hammel, H.B. (2006). ” Evolution of the dusty rings of Uranus (http://adsabs.harvard.edu/abs/2006Icar..180..186D)”. *Icarus* **180**: ss. 186–200. doi: 10.1016/j.icarus.2005.08.011 (http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2005.08.011). .

[25] Esposito, L.W.; Colwell, Joshua E. (1989). ” Creation of The Uranus Rings and Dust bands (http://adsabs.harvard.edu/abs/1989Natur.339..605E)”. *Nature* **339**: ss. 605–607. doi: 10.1038/339605a0 (http://dx.doi.org/10.1038/339605a0). .

[26] Horn, L.J.; Lane, A.L.; Yanamandra-Fisher, P. A.; Esposito, L. W. (1988). ” Physical properties of Uranian delta ring from a possible density wave (http://adsabs.harvard.edu/abs/1988Icar...76..485H)”. *Icarus* **76**: ss. 485–492. doi: 10.1016/0019-1035(88)90016-4 (http://dx.doi.org/10.1016/0019-1035(88)90016-4). .

[27] Porco, Carolyn, C.; Goldreich, Peter (1987). ” Shepherding of the Uranian rings I: Kinematics (http://adsabs.harvard.edu/abs/1987AJ....93..724P)”. *The Astronomical Journal* **93**: ss. 724–778. doi: 10.1086/114354 (http://dx.doi.org/10.1086/114354). .

[28] Holberg, J.B.; Nicholson, P. D.; French, R.G.; Elliot, J.L. (1987). ” Stellar Occultation probes of the Uranian Rings at 0.1 and 2.2 μm: A comparison of Voyager UVS and Earth based results (http://adsabs.harvard.edu/abs/1987AJ.....94..178H)”. *The Astronomical Journal* **94**: ss. 178–188. doi: 10.1086/114462 (http://dx.doi.org/10.1086/114462). .

[29] French, Richard D.; Elliot, J.L.; French, Linda M. *et al*. (1988). ” Uranian Ring Orbits from Earth-based and Voyager Occultation Observations (http://adsabs.harvard.edu/abs/1988Icar...73..349F)”. *Icarus* **73**: ss. 349–478. doi: 10.1016/0019-1035(88)90104-2 (http://dx.doi.org/10.1016/0019-1035(88)90104-2). .

[30] Gibbard, S.G.; De Pater, I.; Hammel, H.B. (2005). ” Near-infrared adaptive optics imaging of the satellites and individual rings of Uranus (http://adsabs.harvard.edu/abs/2005Icar..174..253G)”. *Icarus* **174**: ss. 253–262. doi: 10.1016/j.icarus.2004.09.008 (http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2004.09.008). .

[31] Chiang, Eugene I.; Culter, Christopher J. (2003). ” Three-Dimensional Dynamics of Narrow Planetary Rings (http://adsabs.harvard.edu/abs/2003ApJ...599..675C)”. *The Astrophysical Journal* **599**: ss. 675–685. doi: 10.1086/379151 (http://dx.doi.org/10.1086/379151). .

[32] Stephen Battersby (2006). ”Blue ring of Uranus linked to sparkling ice” (http://space.newscientist.com/article/dn8960). *NewScientistSpace*. . Läst 2007-06-09.

[33] Sanders, Robert (2006-04-06). ”Blue ring discovered around Uranus” (http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2006/04/06_bluering.shtml). UC Berkeley News. . Läst 2006-10-03.

[34] Goldreich, Peter; Tremaine, Scott (1979). ” Towards a theory for the uranian rings (http://www.nature.com/nature/journal/v277/n5692/abs/277097a0.html)”. *Nature* (Nature Publishing Group) **277**: ss. 97–99. doi: 10.1038/277097a0 (http://dx.doi.org/10.1038/277097a0). .

[35] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rings_of_Uranus&diff=prev&oldid=402942553

Giovanni Antonio Magini

Giovanni Antonio Magini, latin: *Maginus*, född 13 juni 1555 i Padua och död 11 februari 1617 i Bologna, var en italiensk astronom, matematiker, kartograf och astrolog.

Biografi

Giovanni Antonio Magini föddes i Padua som son till medborgaren Pasquale Magini. Han studerade vid Bolognauniversitetet, och avslutade sina studier i filosofi där år 1579. Efter studierna ägnade han sig åt astronomi och år 1582 skrev han en *Ephemerides coelestium motuum*, en *Efemerid över himlavalvets rörelser*, det vill säga ett tabellverk med astronomiska data och förutsägelser över planeternas positioner.

När professorn i matematik vid Bolognauniversitet, Ignazio Danti, dog 1588 fick han professuren i konkurrens med bland andra Galileo Galilei.

Magini förespråkade en geocentrisk världsbild framför Nicolaus Copernicus heliocentriska världsbild. Han skapade en planetteori som lades till redan existerande sådana: ett system av elva planeter, som han beskrev i boken *Novæ cælestium orbium theoricæ congruentes cum observationibus N. Copernici* (Venedig, 1589).

I *De Planis Triangulis* (Venedig, 1592) beskrev han användningen av kvadranter för topografiska och astronomiska mätningar. År 1592 publicerade Magini *Tabula tetragonica*, och 1606 utformade han trigonometriska tabeller med mycket noggranna närmevärden. Han arbetade också med sfärens geometri och trignometriska tillämpningar för vilka han skapade beräkningsvertyg. Han studerade speglar, och publicerade teorin om konkava sfäriska speglar i *Breve instruttione sopra l'apparenze et mirabili effetti dello specchio concavo sferico*. (Tryckt av Giovanni Battista Bellagamba, Bologna 1611).

Som kartograf realiserade han en italiensk atlas, *l'Atlante geografico d'Italia*, som trycktes av sonen Fabio Magini år 1620. För att finansiera detta kostsamma projekt, som han påbörjade 1594, tog han tjänst som lärare i matematik åt hertigen av Mantova Vincenzo I Gonzagas barn. Hertigen var en mecenat för konst och vetenskap och Magini blev hovastronom i hertigdömet.

Magini var samtida, och utbytte erfarenheter, med Tycho Brahe, Clavius, Abraham Ortelius och Johannes Kepler. Korrespondensen mellan Magini och dessa publicerades år 1886 i *Carteggio inedito di Ticone Brahe, Giovanni Keplero e di altri celebri astronomi e matematici dei secoli XVI e XVII con Giovanni Antonio Magini*.

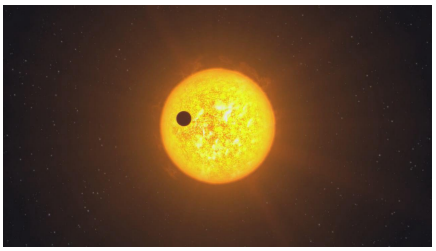
Månkratern Maginus är uppkallad efter honom.

Litteratur och källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på italienskspråkigt material från Giovanni Antonio Maginis biografi i Florens museet Istituto museo di storia della scienzas *katalog* Mille anni di scienza in Italia*, som är licensierad under Creative Commons.*

- Roberto Almagia, *L'"Italia" di Giovanni Antonio Magini e la cartografia dell'Italia nei secoli XVI e XVII*, Napoli 1922.
- A. Favaro, *Carteggio inedito di Ticone Brahe, Giovanni Keplero e di altri celebri astronomi e matematici dei secoli XVI e XVII con Giovanni Antonio Magini*, Bologna 1886.
- A. Favaro, *Gli scienziati italiani*, Roma 1923, sidor 101-11.
- P. Riccardi, *Biblioteca matematica italiana*, vol.I, sidor 64-71.
- G. Loria, *Storia delle matematiche*, Milano 1950, sidor 380, 400, 422-425.
- *Imago Italiae. Fabrica dell'Italia nella storia della cartografia tra medioevo ed eta moderna: realtà, immagine ed immaginazione dai codici di Claudio Tolomeo all'atlante di Giovanni Antonio Magini*, Luciano Lago, Trieste Universitet, Trieste 2002.

Transitmetoden



Planeten CoRoT-9b transiterar sin moderstjärna. (Börjar ca 0:15)

Transitmetoden, även kallad *Fotometrisk metod* och *Passagemetoden*, är ett av flera sätt som används för att upptäcka exoplaneter, hittills har ett antal planeter upptäckts på detta viset. I stora drag går metoden ut på att man observerar en planet som passerar framför den stjärnan som planeten cirkulerar runt. För att man ska se planeten på detta vis krävs att planeten ligger i en sådan bana så den passerar framför stjärnan, det krävs dessutom att planeten i fråga är såpass stor att den skymmer stjärnan så mycket att teleskop här på jorden kan uppfatta förändringen i ljusstyrka. Om stjärnan dessutom är större än vår egen sol blir det ännu svårare, då det krävs planeter någon gång större än jupiter för att de ska upptäckas. Rymdforskare räknar med att transitmetoden kommer att ge goda resultat om några år då man sänder upp rymdbaserade teleskop som kan fota stora delar av rymden samtidigt.[1] Kepler är ett bevis på detta, då det förkunnades att teleskopet hade över 1000 exoplanets kandidater på listan[2] [3] .

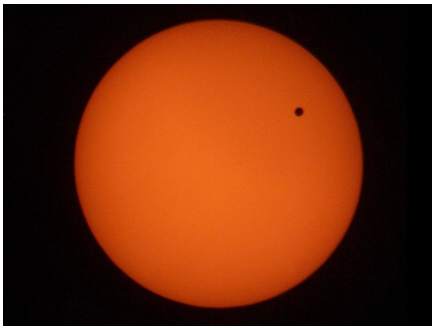
Historia

Den första transiteringen som observerades var av, utan vetskap om varandra, David Charbonneau och kollegor och Greg Henry och hans kollegor år 2000. De observerade en planet som hade upptäckts med radialhastighetsmetoden först, men eftersom dessa andra forskare gick vidare med andra jobb fortsatte David Charboneau och Greg Henry med deras respektive forskargrupper vad de andra påbörjat. Fotometri från Hubble av moderstjärnan visade en underbar ljuskurva, som indikerade att en planet passerade framför stjärnan, och ljusstyrkan sjönk sakta. Den ursprungliga upptäckten av Charbonneau's forskargrupp gjordes med, tro det eller ej, ett 4 tums teleskop på en parkeringsplats i Boulder, Colorado. Variationen i ljusstyrkan är runt 1,5 % för den stjärnan när exoplaneten passerar, så det är ganska fantastiskt att denna första mätning av en exoplanets transitering kunde utföras av ett amatörteleskop. När Hubble gjorde om fotometrin med högre precision fick man fram en i princip perfekt ljuskurva, då kunde man kan se om det fanns månar runt planeten, och sätta gränser för hur stora de är[4] .

Användningsområden

Merkurius och Venus

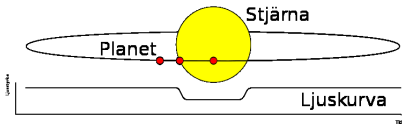
Transitmetoden används även till annat än att hitta exoplaneter, med endast dig själv och en kikare med sotat glas som hjälpmedel kan du se Venus passera framför vår sol(obs, du kan bli blind om du kollar direkt mot solen utan något skyddande glas etc.), och med ett teleskop kan du se en Merkuriuspassage, något som är vanligare än Venuspassagerna[5]



Venus transiterar solskivan, Venus syns då som en svart prick. Bild från passagen 2004.

Differentialfotometri

Differentialfotometri är ett av flera sätt att använda transitmetoden på, i detta fallet mäter man stjärnans relativa ljusstyrka till närliggande stjärnor som har konstant ljusstyrka. Om detta upprepas flera gånger under en tidsperiod kan man med hjälp av datorn framställa ett magnitud-tid-diagram över ljusstyrkans ändring över tid. Detta är den enklaste metoden för att upptäcka exoplaneter[6] .



Ljusstyrkan av moderstjärnan ändras när en planet passerar framför, det syns tydligt i magnitud-tid-diagrammet.

Uppgifter om exoplaneter

Bestämning av omloppsbanans längd

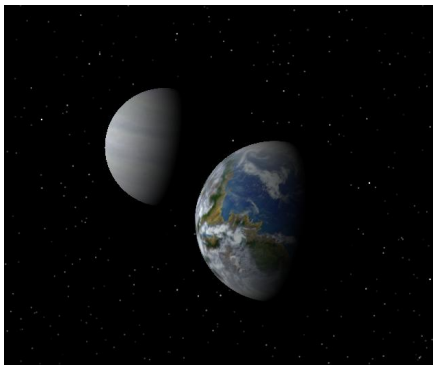
En exoplanets omloppsbana bestäms genom att man tittar på hur lång tiden är mellan två passager och sedan med hjälp av Keplers tredje lag om planeternas rörelse räknar ut stjärnans massa. Med dessa uppgifter bestämmer man enkelt omloppsbanans sträcka[7] .

Storleksbestämning av en exoplanet

Medan metoder såsom radialhastighet och pulsar timing kan användas för att bestämma en planets massa, kan denna metod bidra med information om en planets storlek. När en planet passerar mellan en iakttagare och den stjärna planeten kretsar runt, kan en liten minskning i den stjärnans totala ljusstyrka ses. Beroende på planetens storlek kan denna ljusstyrkeminskning variera. Som exempel kan nämnas planeten HD 209458, där ljusstyrkeminskningen är 1,7%.

Bestämning av temperaturen

En planet som passerar mellan sin stjärna och en betraktare, kan även antas passera *bakom* sin stjärna, så kallad sekundärförmörkelse. Detta tillåter mätning av strålning från stjärnan utan eventuellt bidrag från planeten, och om man subtraherar stjärnans fotometriska intensitet med planeten bakom stjärnan från antingen före eller efter sekundärförmörkelsen kvarstår endast planetens signal. Detta kan användas för att bestämma planetens temperatur. I mars 2005 använde två grupper av vetenskapsmän (från Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics under ledning av David Charbonneau och Goddard Space Flight Center under ledning av L. D. Deming) denna metod för att med hjälp av Spitzerteleskopet undersöka planeterna TrES-1 respektive HD 209458b. Mätningar gav att TrES-1 har en yttemperatur på runt 790°C medan yttemperaturen på HD 209458b är runt 860°C[8] .



En konstnärs vision av en exomåne som cirkulerar runt HD 28185b.

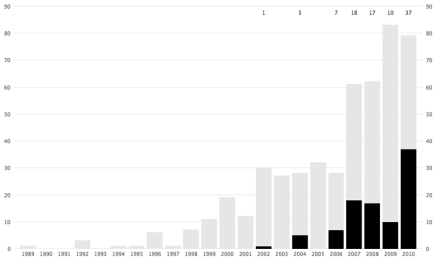
Exomåne

Om ljusstyrkevariationer från en exoplanet är tidsmässigt oregelbundna (TTV, eller Transit Timing Variation), kan det bero på att stjärnan omges av flera planeter. Om ljusstyrkevariationerna varar oregelbundet (TDV, eller Transit Duration Variation) kan det bero på att en upptäckt exoplanet har en exomåne.

För- och Nackdelar

Fördelar

En av de största fördelarna med transitmetoden är att planetens storlek relativt enkelt kan bestämmas från kurvan i ljusstyrkan från stjärnan. Om denna information kombineras med data från radialhastighetsmetoden, som ger planetens massa, kan medeldensitet bestämmas vilket ger information om planetens fysiska egenskaper, såsom om planeten är en gasplanet eller en stenplanet. Hittills har nio planeter studerats via båda dessa metoder, och det är dessa planeter som har beskrivits i störst detaljrikedom av alla hittills funna exoplaneter.



Exoplaneter upptäckta genom användning av transitmetoden(svart), totalt upptäckta exoplaneter(grått). Som man ser har projekt såsom Kepler och CoRoT gett resultat.

Transitmetoden tillåter även att planetens eventuella atmosfär granskas. När planeten passerar framför sin stjärna passerar en liten andel av ljuset genom planetens övre atmosfär, och genom att granska spektrumet från detta ljus kan vissa grundämnens existens bestämmas. Ljusets polarisation kan även det användas för att bestämma egenskaper hos planetens atmosfär.

Nackdelar

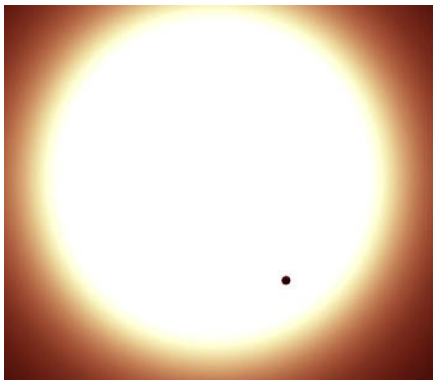
Denna metod har två stora nackdelar. Till att börja med kan transitmetoden endast användas om en exoplanets bana för den direkt mellan sin stjärna och iakttagaren. Sannolikheten för att en planet ska passera framför sin stjärna så att det kan detekteras är lika med förhållandet mellan stjärnans diameter och diametern på planetens omloppsbana. Det beräknas att ungefär 10% av planeter med kort omloppsbana passerar framför sin stjärna på det viset. Ju längre omloppsbanan är, desto mindre är chansen att se planetens passage. Chansen att se en planet som kretsar runt en stjärna av samma storlek som vår egen sol på ett avstånd av 1 AE är 0,50%[7] . Detta kan emellertid till viss del

uppvägas av att många (hundratusentals) stjärnor bevakas, och detta kan teoretiskt leda till fler funna exoplaneter än om man använder till exempel radialhastighetsmetoden. Den andra nackdelen är att metoden gett många felaktigt detekterade planeter varför en annan metod för verifiering krävs. Vanligtvis används radialhastighetsmetoden för denna verifiering.

Projekt

Corot

2006 började satelliten CoRoT från den franska rymdfartsmyndigheten Centre national d'études spatiales söka efter exoplaneter med hjälp av transitmetoden. Den förväntade livslängden var 30 månader, den är dock fortfarande i drift[9] . Projektet skapades för att finna planeter ett par gånger så stora som jorden, men även större planeter. Projektet kommer dessutom att utföra asteroseismologi. Hittills har ett par heta jupiterplaneter funnits. Dessutom har man hittat en planet som knappt är två gånger så stor som jorden, med fast yta som man kan gå på[10] .



En konstnärs version av exoplaneten COROT-Exo-7b framför sin stjärna, den röda dvärgen CoRoT-Exo-7.

Potential

Innan satelliten sköts iväg trodde man att teleskopet skulle kunna upptäcka planeter några gånger jordens storlek och att det inte var designat för att hitta beboeliga planeter, utan potentiellt beboeliga. Enligt ett pressmeddelande fungerar CoRoT bättre än man trott[11] .

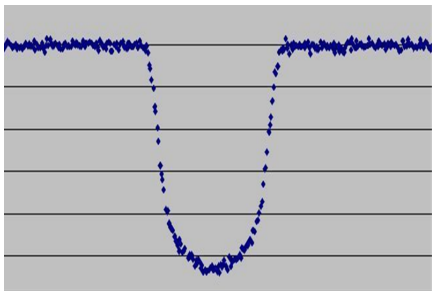
Man förväntar sig att planetsystem som upptäcks och är lämpliga för fortsatt observation kommer att studeras vidare av framtida uppdrag, så som Darwin och TPF.

Upptäckter

I maj 2007 upptäcktes en "het jupiter" kretsande runt en sollik stjärna 1 500 ljusår ifrån oss[12] . Den andra exoplaneten, CoRoT-exo-2b, upptäcktes i december samma år[13] . I maj 2008 var det dags igen, då offentliggjordes upptäckten av två nya exoplaneter, plus en himlakropp som är antingen en brun dvärg eller en exoplanet[14] .

Kepler

I mars 2009 sände Nasa upp teleskopet Kepler med avsikt att bevaka ett stort antal stjärnor i stjärnbilden svanen. Förväntan är att kunna upptäcka planeter med liknande storlek som jorden. Kepler använder transitmetoden för att bevaka ungefär 100 000 stjärnor. Tanken är också att genom att bevaka så många stjärnor kan inte bara jordliknande planeter upptäckas, utan även ge statistik om hur många sådana planeter kretsar runt solliknande stjärnor. Förhoppningen är att Kepler kommer att kunna se gasjättar som inte passerar direkt mellan sin stjärna och teleskopet. Eftersom planeten kretsar runt sin stjärna kommer den att liksom vår egen måne genomgå faser från ny till full, och detta ger upphov till regelbundna variationer i ljusstyrka från stjärnsystemet. Eftersom värmestrålning från planeten kan ses separat från reflekterat ljus, kan information utläsas om värmetransport från dagsidan till nattsidan samt till viss del atmosfärens uppbyggnad.



Fotometri från planeten Kepler 6b. Observerad av Keplerteleskopet.

Upptäckter

Den 3/2 2011 gjorde Kepler en sensationell upptäckt, då man bekräftade att hela sex exoplaneter rör sig runt den solliknande stjärnan Kepler-11. Fem av planeterna har kort omloppsbana, dessa skulle rymmas innanför Merkurius bana i vårt solsystem, medan den sjätte befinner sig längre bort och har en omloppstid på 118 dagar. De inre planeternas massa är 2,3 till 13,5 gånger jordens, och den yttre har en massa av drygt 300 gånger jordens. Man har dessutom lyckats storleksbestämma och räkna ut vad planeterna sannolikt består av. Tidigare har astronomerna bara kunnat bestämma massa och storlek på tre exoplaneter mindre än Neptunus, nu utökas listan till 8 stycken[15] .

Nyligen, 1/2 2011, släppte Nasa sina nya fynd från Keplerteleskopet. Över 1000 potentiella planeter, vilka astronomer tror att man kommer att bekräfta runt 90% som verkliga exoplaneter, har hittats av teleskopet med hjälp av transitmetoden. Detta innebär att transitmetoden kommer vara den mest framgångsrika när exoplaneterna har bekräftats[2] .

Eftersom Kepler inte kräver att planeten passerar framför sin stjärna kan denna fasvariansmetod komma att leda till de flesta upptäckta exoplaneter. Hittills har Kepler hittat 15 planeter (bekräftade), men hela 1235 exoplanet kandidater[16] .

Se även

- Metoder för att upptäcka extrasolära planeter
- Astrometri
- Dopplereffekt
- Atmosfärisk refraktion

Källor

[1] C-I Lagerkvist, Kjell Olofsson: *Astronomi - en bok om universum*, Bonnier Utbildning, 2003, sid. 126. ISBN 91-622-5374-3.

[2] (http://http://www.aftonbladet.se/nyheter/article8501073.ab), Aftonbladet artikel läst 7/2-2011.

[3] ”Kepler official site” (http://kepler.nasa.gov/news/newsaboutplanetfinding/). . Läst 2011-02-03.

[4] ”Astrobiology.net” (http://www.astrobio.net/index.php?option=com_retrospection&task=detail&id=1640). . Läst 2011-01-28.

[5] ”Merkurius- och Venuspassage” (http://media4.obspm.fr/exoplanets/pages_corot-methodes/methode-transit.html). . Läst 2011-01-28.

[6] Mikael Ingemyr. ”Om sökandet efter nya världar.” (http://www.astronomi2009.se/files/Ingemyr.pdf). *Kapitel 3.2, sidan 5.*. . Läst 2011-01-28.

[7] (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/), Keplers information om deras projekt, läst 28/2-11.

[8] http://www.obspm.fr/encycl/papers/nature03507.pdf

[9] http://www.esa.int/esaSC/120372_index_0_m.html

[10] http://www.esa.int/esaCP/SEM7G6XPXPF_index_0.html

[11] COROT discovers its first exoplanet and catches scientists by surprise (http://www.esa.int/SPECIALS/COROT/SEMCKNU681F_0.html)

[12] http://www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070503163458.htm

[13] ”COROT surprises a year after launch” (http://www.esa.int/SPECIALS/COROT/SEMF0C2MDAF_0.html). . Läst 2011-01-28.

[14] ESA. ”Exoplanet hunt update” (http://www.esa.int/esaCP/SEM9E91YUFF_index_0.html). *ESA Space Science*. . Läst 2008-05-23.

[15] ”DN-Nytt planetsystem upptäckt 2/2-2011” (http://www.dn.se/nyheter/vetenskap/nytt-planetsystem-upptackt). . Läst 2011-02-03.

[16] ”Kepler official site” (http://kepler.nasa.gov/news/newsaboutplanetfinding/). . Läst 2011-02-03.

Artikeln är, helt eller delvis, en översättning från engelskspråkiga Wikipedia (http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Methods_of_detecting_extrasolar_planets&oldid=408882455).

Celest mekanik

Celest mekanik, ungefär *himlavalvets mekanik*, är den del av astronomin som behandlar rörelserna hos planeter och deras månar, asteroider, och kometer i framförallt solsystemet. Dessa rörelser styrs huvudsakligen av himlakropparnas inbördes gravitation. I utvidgad betydelse behandlar celest mekanik varje situation där himlakroppar påverkar varandras rörelse genom sin inbördes gravitation.

Historik

Den celesta mekaniken föddes med Isaac Newtons gravitationsteori, då himlakropparnas rörelser för första gången fick en riktig förklaring. Den celesta mekaniken har dock en lång förhistoria av tidigare försök att klarlägga och förutsäga himlakropparnas positioner så noggrant som möjligt. Dessa försök lyckades till en viss gräns, även om dåtidens astronomer inte förstod varför planeterna rörde sig som de gjorde. Isaac Newton använde kunskapen från sina föregångare, från antikens Ptolemaios till renässansens Kopernikus och Tycho Brahe till Johannes Kepler och Galilei. Namnet celest mekanik började användas av Pierre-Simon Laplace hundra år efter Isaac Newton.

Problem

Problemet i celest mekanik är att beskriva och förutsäga rörelsen hos en samling himlakroppar som påverkar varandra huvudsakligen genom sin inbördes gravitation. Traditionellt har den celesta mekaniken använts för att förutsäga planeters, planetmånars, kometers och asteroiders rörelse i solsystemet. Celest mekanik kan även användas utanför solsystemet för att beskriva rörelserna i en dubbelstjärna, en stjärnhop eller t.o.m. en hel galax. En mer modern tillämpning av celest mekanik är inom astrodynamiken, där man beräknar banor för människotillverkade satelliter och rymdsonder.

Ibland måste man i den celesta mekaniken även ta hänsyn till andra krafter än bara gravitationen. Hos kärnan i en komet förekommer ofta utgasningar då kometen närmar sig solen och värms upp; dessa utgasningar ger en reaktionseffekt på kometkärnan som mätbart påverkar kometens position. Och en jordsatellit på låg höjd utsätts för luftmotstånd av den visserligen mycket tunna men ändå närvarande jordatmosfären i satellitbanan.

Inom solsystemet räcker det nästan alltid med att man använder Newtons mekaniska lagar för att förutsäga planetpositionerna. Bara om man eftersträvar mycket hög noggrannhet måste man göra små korrektioner baserade på den allmänna relativitetsteorin, och detta behövs egentligen bara för de inre planeterna. Utanför solsystemet kan relativitetsteorin spela en större roll, framförallt då mycket massiva objekt ligger i bana mycket nära varandra, t.ex. hos en dubbel pulsar.

Analytiska metoder

Med symbolisk matematik kan man finna en lösning på åtminstone enklare celest-mekaniska problem. Det enda problem inom den celesta mekaniken där man funnit en exakt analytisk lösning som också är praktiskt användbar är tvåkropparsproblemet. För alla andra situationer måste man använda approximativa lösningar, antingen i form av oändliga matematiska serier som man trunkerar på ett lämpligt ställe, eller också använder man numeriska metoder.

Ett faktum som förenklar de celest-mekaniska beräkningarna oerhört mycket är att en himlakropp som antingen är helt klotformig, eller som befinner sig på tillräckligt stort avstånd, ger upphov till samma gravitation som om kroppens hela massa vore koncentrerad i en punkt i kroppens centrum. Bara om himlakroppen ligger nära och om dess form avviker från klotets form måste hänsyn tas till himlakroppens form vid beräkningarna.

Tvåkropparsproblemet

Tvåkropparsproblemet är det enklaste celest-mekaniska problemet: två punktformiga massor påverkar varandra genom sin inbördes gravitation enligt Newtons gravitationslag, men inte av några andra krafter. Hur rör sig dessa massor?

Problemet löstes analytiskt redan av Isaac Newton, som visade att de två kropparna rör sig runt sin gemensamma tyngdpunkt längs en bana som har formen av ett kägelsnitt, d.v.s. en cirkel, en ellips, en parabel eller en hyperbel. För enkelhetens skull brukar man oftast betrakta den lättare kroppens rörelse relativt den tyngre kroppen.

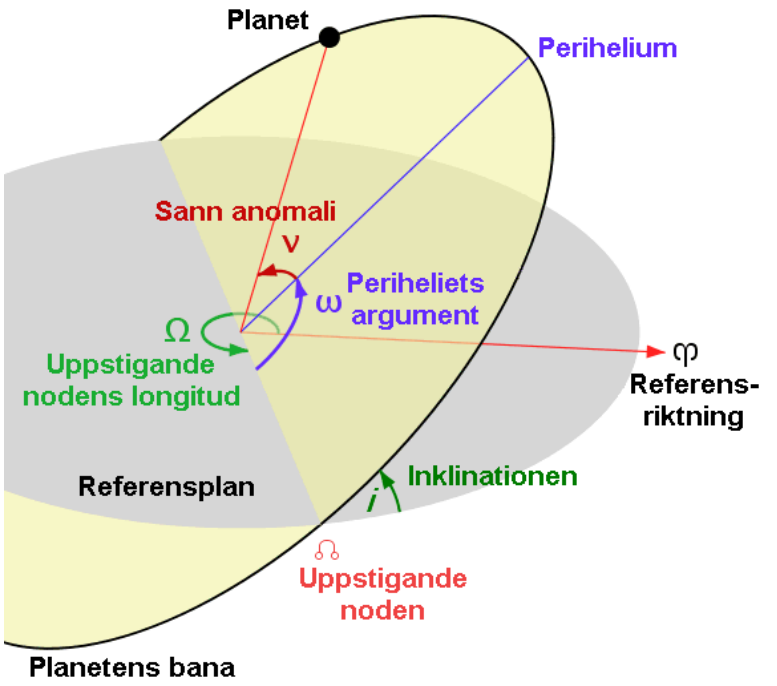
Om banan är en cirkel eller en ellips är rörelsen periodisk, och de två kropparna upprepar sina inbördes positioner med jämna intervall. Längden på detta intervall kallas omloppstid. Banrörelsen följer även Keplers lagar.

Är banan en parabel eller hyperbel, är rörelsen operiodisk: de båda kropparna närmar sig varandra, passerar närmast varandra en gång och far därefter iväg från varandra för att aldrig mer komma i närheten av varandra.

Den bana som uppstår beskrivs traditionellt med sex banelement:

Banelementen

De traditionella Keplerska banelementen är sex stycken.



Banelement - figuren visar de fyra banelementen *Uppstigande Nodens Longitud* Ω, *Inklinationen* i , *Periheliets argument* ω och *Sann anomali* ν

Två av elementen definierar banans storlek och form:

- Excentriciteten (e , ej medtagen i diagrammet) - definierar formen hos ellipsen, parabeln eller hyperbeln . För en cirkel är excentriciteten exakt 0, för en ellips mellan 0 och 1, för en parabel exakt 1 och för en hyperbel större än 1.
- Halva storaxeln, alternativt Periheliets avstånd (a resp q , ej medtagna i diagrammet) - definierar banans storlek och, ifall banan är en ellips eller cirkel, även omloppstiden. Hos en cirkelbana är a och q lika stora, och alltid lika med avståndet mellan de två kropparna. Om banan är en parabel eller hyperbel används q , inte a , för att beskriva banan. Följande samband mellan q och a gäller: $q = a \cdot (1 - e)$

Nästa två element definierar det plan i vilket banan ligger:

- Inklinationen (gröna vinkeln i i diagrammet) - banans vertikala lutning i förhållade till referensplanet vid den uppstigande noden (där planeten rör sig norrut genom referensplanet).

- Uppstigande nodens longitud (gröna vinkeln Ωi diagrammet) - den horisontella orienteringen av banans uppstigande nod i förhållande till referensriktningen som oftast är vårdagjämningspunkten.

De sista två elementen fullbordar beskrivningen av banan:

- Periheliets argument (violetta vinkeln ω i diagrammet) - banans orientering i sitt banplan som vinkeln längs banplanet från uppstigande noden till periheliet.
- Medelanomalin vid epoken (M_o) - en hjälpvinkel som definerar planetens position i sin bana. För paraboliska och hyperboliska banor måste man istället ange (T), tiden för perihelpassagen d.v.s. den tidpunkt då planeten passerar sitt perihelium. Detta kan sedan räknas om till sann anomali (röda vinkeln ν i diagrammet).

Att beräkna positionen ur banelementen

Att beräkna en planetposition i ett tvåkropparsproblem är förhållandevis enkelt, och därför ges här en kort beskrivning på hur man praktiskt går till väga. Detta är ingen härledning av formlerna utan bara en beskrivning av hur de ser ut och hur man använder dem. Den som vill veta varför formlerna ser ut som de gör hänvisas till en grundläggande lärobok i celest mekanik, t.ex. den av Danby eller Moulton, se litteraturlistan.

Vi förutsätter att vi känner planetens alla banelement vid tidpunkten t_o och nu önskar beräkna planetens position vid en annan tidpunkt t framåt eller bakåt i tiden. Eftersom vi förutsätter ett tvåkropparsproblem med elliptisk bana förblir alla banelement oförändrade över tiden, utom medelanomalin M som ökar likformigt med tiden. Vi måste alltså börja med att beräkna M vid tiden t , och det gör vi enkelt med formeln:

$$M = M_o + (t - t_o) \cdot n$$

där n är *medelrörelsen per tidsenhet*, ofta kallad *dagliga medelrörelsen* eller bara *dagliga rörelsen* om tidsenheten är ett dygn. n beräknas ur:

$$n = \sqrt{\frac{G(M_\star + m)}{a^3}}$$

där G är gravitationskonstanten, $M_\star$ och m massorna hos de båda kropparna och a är banans halva storaxel. Använder vi SI-enheter får vi medelrörelsen per sekund på detta sätt. För astronomiskt bruk är SI-enheter lite besvärliga, och astronomerna använder sig därför av en annan gravitationskonstant, k eller Gauss' gravitationskonstant, som definieras på följande sätt:

$$k = \sqrt{G}$$

Om vi väljer solens massa som massenhet, en astronomisk enhet som längdenhet och ett dygn som tidsenhet, då blir:

$$k = 0,01720209895$$

Detta värde på Gauss' gravitationskonstant motsvarar mycket nära jordens medelrörelse i sin bana uttryckt i radianer per dygn.

Den *dagliga rörelsen* kan nu beräknas som:

$$n = k \cdot \sqrt{\frac{1 + m/M_\odot}{a^3}}$$

där $M_\odot$ är solens massa. Om m är försumbart liten jämfört med $M_\odot$ kan formeln ytterligare förenklas till:

$$n = \frac{k}{\sqrt{a^3}}$$

Nästa steg är att beräkna den excentriska anomalin, E , från medelanomalin och vi börjar med att beräkna ett första närmevärde (här måste alla vinkar vara i radianer!):

$$E \approx M + e \cdot \sin M \cdot (1 + e \cdot \cos M)$$

Om banans excentricitet e är högst ungefär 0,06 räcker den noggrannhet vi får med denna formel. Men om e är större måste vi iterera fram ett noggrannare värde: börja med att sätta E_0till det E vi nyss räknade fram. Iterera

därefter med följande formel där n=0 i första iterationen och därefter ökar n med ett för varje iteration (här måste återigen alla vinklar vara i radianer, annars blir det fel!):

$$E_{n+1} = E_n - \frac{E_n - e \cdot \sin E_n - M}{1 - e \cdot \cos E_n}$$

Iterationen upprepas tills E_n och E_{n+1} överensstämmer med önskad noggrannhet. Detta blir vårt beräknade värde på E, den excentriska anomalin.

Vi ska nu fortsätta med att beräkna planetens sanna anomali, ν, och dess avstånd från solen, r. Detta kan göras på det sätt som beskrivs i artikeln för excentrisk anomali, men här ska vi göra på ett annat sätt. Vi börjar med att beräkna rektangulära koordinater i banplanet så att x_b-axeln pekar mot banans perihelium och y_b-axeln pekar mot 90° sann anomali:

$$x_b = a \cdot (\cos E - e)$$
$$y_b = a \cdot (\sqrt{1 - e^2} \cdot \sin E)$$

Nu behöver vi bara göra en vanlig konvertering från rektangulära till polära koordinater för att få fram den sanna anomalin, ν, och avståndet till solen, r:

$$\nu = \tan^{-1} \frac{y_b}{x_b}$$
$$r = \sqrt{x_b^2 + y_b^2}$$

De som använder något av programmeringsspråken FORTRAN, C, C++, Java, Javascript m.fl. använder med fördel biblioteksfunktionen atan2() för att beräkna ν så kommer den automatiskt i rätt kvadrant:

$$\nu = atan2(y_b, x_b)$$

Nu är det dags att beräkna planetens position i rymden. Vi vet nu allt vi behöver veta för att kunna göra detta, och använder bara följande formler. Koordinatsystemet är rektangulärt med x och y i ekliptikans plan och med x-axeln pekande mot vårdagjämningspunkten, y-axeln mot ekliptisk longitud 90° och z-axeln mot norra ekliptiska polen:

$$x = r \cdot (\cos \Omega \cdot \cos(\nu + \omega) - \sin \Omega \cdot \sin(\nu + \omega) \cdot \cos i)$$
$$y = r \cdot (\sin \Omega \cdot \cos(\nu + \omega) + \cos \Omega \cdot \sin(\nu + \omega) \cdot \cos i)$$
$$z = r \cdot (\sin(\nu + \omega) \cdot \sin i)$$

Nu återstår bara att beräkna planetens ekliptiska longitud, λ, och latitud, β:

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$
$$\beta = \tan^{-1} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \sin^{-1} \frac{z}{r}$$

och även här använder man lämpligen biblioteksfunktionen atan2() om man har möjlighet då man skriver ett datorprogram för detta:

$$\lambda = atan2(y, x)$$
$$\beta = atan2(z, \sqrt{x^2 + y^2})$$

och därmed är vår beräkning av planetens heliocentriska position klar.

En varning till användare av programmet Excel från Microsoft: atan2()-funktionen i det programmet tar sina argument i omvänd ordning jämfört med programmeringsspråken C++, Java, etc. Om du försöker koda detta i Excel och får konstiga resultat, prova att låta argumenten till atan2() byta plats!

N-kropparsproblemet

Planeternas rörelser i solsystemet kan som en första approximation behandlas som ett tvåkropparsproblem, eftersom 99,8% av solsystemets totala massa finns i solen: man antar då att planeterna har försumbart små massor och sedan behandlar man en planet i taget tillsammans med solen som ett antal separata tvåkropparsproblem. Detta fungerar bäst hos de inre planeterna, från Merkurius till Mars. Hos de yttre planeterna, från Jupiter och utåt, fungerar det sämre, dels därför att solsystemets tyngsta planeter (som stör mest) ligger där, men också för att solens egen gravitation blir svagare på större avstånd. Avvikelsen från en tvåkropparsrörelse kan hos de yttre planeterna bli flera grader, en avvikelse som är så stor att t.o.m. antikens astronomer lätt skulle ha kunnat upptäcka det. Därför blev problemet att försöka hitta en lösning på N-kropparsproblemet tidigt viktigt för astronomerna.

N-kropparsproblemet är problemet hur N kroppar (där N är 3 eller större) rör sig då de växelverkar med varandra genom enbart sin inbördes gravitation. Oftast förutsätter man Newtonsk mekanik, vilket i de flesta fall räcker bra. Grundekvationerna för ett sådant system består av N stycken differentialekvationer av andra ordningen längs vardera x-, y- och z-axeln, vilket totalt blir 3 N ekvationer. Eftersom varje differentialekvation är av andra ordningen krävs det två integrationskonstanter för att man ska kunna lösa ekvationen. För att lösa hela systemet av ekvationer krävs alltså 6 N integrationskonstanter.

Om systemet består av en enda kropp krävs 6 integrationskonstanter. Lösningen blir i detta fall trivialt enkel: de sex konstanterna är kroppens lägesvektor (x, y, z)och hastighetsvektor (x', y', z')vid en viss tidpunkt. Med hjälp av Newtons första lag (som säger att kroppen rör sig rätlinjigt med konstant hastighet eftersom den inte utsätts för några krafter) kan kroppens läge lätt beräknas vid varje annan tidpunkt.

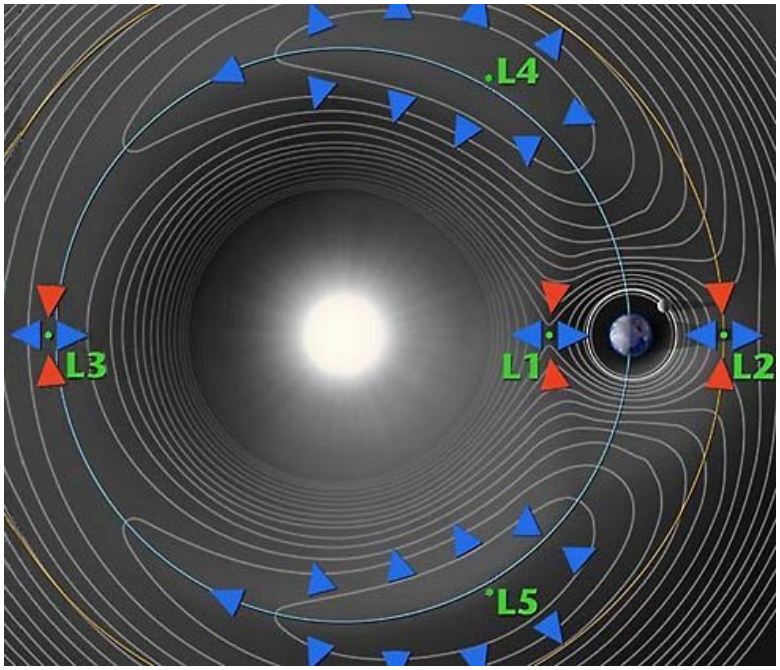
Om systemet består av två kroppar krävs 12 integrationskonstanter. Systemets gemensamma tyngdpunkt rör sig rätlinjigt med konstant hastighet, och detta ger sex konstanter: tyngdpunktens lägesvektor och hastighetsvektor vid en given tidpunkt. Därefter transformerar man ekvationerna så att de behandlar endast den relativa rörelsen mellan de två kropparna, och då får man tre differentialekvationer av andra ordningen. Varje ekvation kräver två integrationskonstanter för sin lösning, vilket innebär att vi nu behöver ytterligare sex integrationskonstanter. De sex traditionella banelementen kan ses som en form av dessa sex integrationskonstanter, och därmed har vi alla integrationskonstanter som vi behöver för att kunna lösa systemet (se det tidigare avsnittet om tvåkropparsproblemet).

Om systemet består av N kroppar, där N är större än 2, blir det besvärligare. Då behöver vi 6 N integrationskonstanter för att lösa ekvationssystemen. Precis som i fallet med en och två kroppar rör sig även här systemets gemensamma tyngdpunkt rätlinjigt med konstant hastighet, vilket ger oss 6 integrationskonstanter: tyngdpunktens lägesvektor och hastighetsvektor vid en viss tidpunkt. Vidare måste, precis som i tvåkropparsproblemet, systemets impulsmoment vara konstant vilket ger oss ytterligare tre integrationskonstanter. Impulsmomentet definierar även ett "invariabelt plan" som förblir oförändrat i systemet av kroppar (hos tvåkropparsproblemet är invariabla planet samma sak som banans plan). Till sist måste systemets totala energi förbli oförändad, vilket ger oss ännu en integrationskonstant. Detta ger oss totalt 6 + 3 + 1 = 10 integrationskonstanter för N-kropparsproblemet. Fler integrationskonstanter än så är inte kända för detta problem, så vi saknar fortfarande 6*N - 10 integrationskonstanter om N är 3 eller större. N-kropparsproblemet har därför ingen sluten analytisk lösning som tvåkropparsproblemet har.

Av detta ska vi dock inte dra slutsatsen att N-kropparsproblemet är olösligt. Det innebär bara att vi inte kan hitta en sluten analytisk lösning som gäller med godtycklig precision för godtyckliga tidsrymder för detta problem. I fallet med solsystemet går det ofta bra att ändå hitta användbara lösningar därför att en av kropparna, solen, innehåller nästan all massa i solsystemet.

Trekropparsproblemet

Ett specialfall av N-kropparsproblemet är trekropparsproblemet, där alltså tre kroppar rör sig under varandras inbördes gravitation. Och ett intressant specialfall av trekropparsproblemet är *det begränsade trekropparsproblemet* där den tredje kroppen förutsätts ha försumbart liten massa och de två andra kropparna förutsätts röra sig i cirkelformiga banor runt sin gemensamma tyngdpunkt. Eftersom den tredje kroppens massa är försumbart liten kan de två andra kropparna ses som ett tvåkropparsproblem, vilket gör det enkelt att beräkna deras rörelser. Problemet är då hur den tredje kroppen rör sig i ett sådant system.



En konturplot av den effektiva gravitationella potentialen för ett två-kropparssystem (här jorden och solen) med de fem Lagrangepunkterna inritade. Fritt rörliga kroppar rör sig längs en kontur.

Joseph Louis Lagrange försökte hitta en exakt lösning på trekropparsproblemet och fann intressanta egenskaper hos det begränsade trekropparsproblemet som åskådliggörs i figuren här bredvid, där koordinatsystemet roterar med de två tunga kropparna i deras banrörelse runt varandra: den tredje kroppen med försumbart liten massa rör sig då längs någon av linjerna i diagrammet. Det finns fem jämviktspunkter i detta system, *Lagrangepunkterna*, där den tredje kroppen i princip ligger kvar om den placeras exakt där. I tre av Lagrangepunkterna, L_1, L_2och L_3, är jämvikten labil, vilket innebär att även mycket små störningar får kroppen att så småningom driva iväg. Men om massförhållandet m_1/m_2mellan de två tyngsta kropparna är ca 25 eller större, då blir jämvikten stabil i de två återstående Lagrangepunkterna L_4och L_5, som ligger 60 grader före resp. efter den andra kroppen i dess bana runt den första, tyngsta, kroppen: de små kroppar som ligger i närheten av dessa jämviktspunkter kommer att ligga kvar i det området. Detta observerar man i solsystemet i främst Jupiters bana, där ett antal asteroider, s.k. trojaner ligger omkring 60 grader före och efter Jupiter i dess bana. Man har även hittat några asteroider som är "trojaner" till Mars resp. Neptunus.

Ett annat intressant resultat från studiet av det begränsade trekropparsproblemet är *Tisserands kriterium för identifiering av kometer* som säger att även om en komet har fått sin bana kraftigt ändrad efter att ha passerat nära en tung planet (oftast Jupiter) så kommer kvantiteten

$$\frac{1}{a} + 2\sqrt{a(1-e^2)}\cos i$$

(där a, e och i är tre av banelementen som beskrevs längre upp) att förbli i stort sett oförändrad för denna komet. I fördatorisk tid var detta kriterium en stor hjälp för astronomerna att avgöra om två kometer med mycket olika banelement som observerats vid olika tidpunkter var samma fysiska komet eller inte.

Perturbationsteori

Perturbationsteori är en metod att finna en approximativ lösning på ett matematiskt problem som inte kan lösas exakt. Den första perturbationsteorin var Newtons lösning på månens rörelse runt jorden, där störningar från solen är tillräckligt stora för att månens avvikelse från en rent elliptisk rörelse skulle vara fullt märkbar på Newtons tid, ja faktiskt redan i antiken: den största störningen i månens rörelse, evektionen, upptäcktes redan av Ptolemaios.

En perturbationsteori börjar med en förenklad form av problemet som kan lösas exakt. I celest mekanik börjar man förstås med en Keplersk ellips, eller kanske t.o.m. en cirkelrörelse. Denna lösning är riktig om det bara är dessa två kroppar (t.ex. jorden och månen) som påverkar varandra genom sin ömsesidiga gravitation. Denna förenklade lösning "perturberas" eller störs sedan så att den kommer närmare den verkliga lösningen, genom att t.ex. i fallet jorden-månen ta med gravitationen även från solen. De små ändringar som detta medför (som kanske också måste räknas ut med förenklande antaganden) används för att korrigera den första lösningen. Man kan sedan upprepa detta och varje gång lägga till fler korrektioner. Lösningen blir aldrig exakt, men kan bli förvånansvärt noggrann redan efter en korrektion.

Svårigheten med denna metod är att varje ny korrektion blir allt mer komplicerad och därmed allt svårare att hantera (Isaac Newton klagade över att månens rörelse var det enda problemet som gav honom huvudvärk). En tidig månteori från 1700-talet, konstruerad av Charles-Eugène Delaunay, innehöll inte mindre än 173 sidor med formler. Moderna månteorier är betydligt mer komplicerade än så; de finns överhuvudtaget inte i tryckt form utan bara som program- och datafiler på datorer.

Perturbationsteori används nuförtiden i många andra vetenskaper och även av ingenjörer, och kan ses som en utveckling av metoden "gissa, kontrollera och korrigera" som har använts sedan antiken

Perturbationsteorin fungerar bra i solsystemets celesta mekanik därför att nästan hela solsystemets massa finns i solen, och planeternas rörelser är i stort sett tvåkropparsrörelser i elliptiska banor. Den fungerar på huvudplaneterna därför att alla planeter rör sig längs banor med ganska små excentriciteter som ligger i ungefär samma plan. Det finns analytiska teorier utvecklade för rörelserna hos huvudplaneterna från Merkurius till Neptunus, för månen, för Jupiters fyrs stora månar och för några av Saturnus månar. Men när det gäller solsystemets mindre kroppar, asteroiderna och kometerna, då räcker perturbationsteorin inte till. Dels beror detta på att solsystemets mindre kroppar är så många till antalet (hundratusentals asteroider är kända idag) och det är en del jobb med att utveckla en teori för en ny himlakropp (varje ny himlakropp måste behandlas individuellt då en perturbationsteori skapas för himlakroppen). Men det beror också på att dessa småkroppar ofta har banor med hög excentricitet och/eller hög inklination, och då konvergerar de serier som dyker upp i teoribygget betydligt långsammare och gör det mycket svårare eller omöjligt att skapa en analytisk perturbationsteori med tillräcklig noggrannhet. Då får man istället använda sig av en annan metod: numeriska integreringar.

Numeriska metoder

När de analytiska metoderna inte räcker till, tvingas man ta till numeriska metoder. Istället för att matematiskt försöka lösa differentialekvationerna som beskriver kropparnas rörelser löser man dem numeriskt: man utgår från alla kropparnas positioner och hastigheter vid en viss tidpunkt t , sedan beräknar man positionen för en ny tidpunkt $t + \delta t$, där δt är ett litet tidsintervall. Och så upprepas processen från den nya tidpunkten, tills man har täckt det önskade tidsintervallet. Integrationen kan göras både framåt och bakåt i tiden.

När man löser ett celest-mekaniskt problem numeriskt har man två val att göra. Först ska man välja vilka ekvationer man vill integrera, och där finns i stort sett bara två alternativ som har fått sina namn efter den förste som valde det angreppssättet: Enckes metod och Cowells metod - mer om detta nedan.

Därefter ska man välja vilken numerisk algoritm man vill använda för själva integreringen. Den enklaste numeriska integrationsalgoritmen är Eulers metod. Den bör dock undvikas därför att den ger dålig noggrannhet på differentialekvationer av högre ordning: i praktiken måste man använda mycket små integrationssteg med Eulers

metod för att noggrannheten ska bli acceptabel, och därmed blir Eulers metod mycket ineffektiv.

En betydligt bättre metod är Runge-Kuttas metod som fungerar bra även med lite större integrationssteg. Runge-Kutta[1] är en samling av olika algoritmer där man kan välja ordning på algoritmen: ju högre ordning desto bättre resultat men också desto mer komplicerad algoritm.

Euler och Runge-Kutta är båda exempel på enstegs-metoder för att integrera numeriskt: de utgår från tillståndet vid en tidpunkt och beräknar nästa steg. Sedan utgår man från tillståndet vid den nya tidpunkten för att beräkna steget efter detta .... och så vidare. Vid varje integrationssteg utgår man bara från tillståndet vid närmast föregående tidssteg.

Det finns en annan familj av numeriska integrationsalgoritmer som kallas flerstegs-metoder[2] . I dessa algoritmer utgår man från tillståndet vid flera tidigare tidssteg för varje nytt integrationssteg man tar. Två vanliga flerstegs-metoder är Adams-Bashforth och Adams-Moulton som fått sina namn efter upphovsmännen: Adams är där samma John Couch Adams som var med och beräknade var Neptunus borde finnas på himlen innan någon hade sett den, och Moulton är samme Forest Ray Moulton som publicerade en klassisk lärobok i celest mekanik 1914 (som man fortfarande kan få tag på, se litteraturlistan).

Flerstegsmetoderna för numerisk integrering är mer komplicerade men betydligt mer effektiva. Att integrera solsystemets rörelser med Adams-Moulton går ungefär 10 ggr snabbare än med Runge-Kutta. En annan nackdel med flerstegs-metoderna är att man måste ha planetpositionerna och -hastigheterna tillgängliga för flera tidigare integrationssteg innan man kan använda en flerstegs-metod för fortsatt integrering. Det vanligaste är att man använder en enstegs-metod, t.ex. Runge-Kutta, för de första integrationsstegen och när man har tillstånden för tillräckligt många tidpunkter går man över till en flerstegs-metod som t.ex. Adams-Moulton.

Svensken Germund Dahlquist (den förste professorn på NADA i Stockholm) gjorde insatser för att bevisa flerstegs-metodernas konvergens[3] .

Enckes metod

Enckes metod är endast användbar om systemet av himlakroppar har en stor dominerande massa så att en tvåkropparslösning är användbar som en första approximation - och precis så är det i vårt solsystem.

För ett rent tvåkropparsproblem med stora massan M och lilla massan m ser ekvationen för de två kropparnas relativa rörelse ut så här:

$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = -k^2(M+m)\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3}$$

där $\mathbf{r}$ är den relativa positionsvektorn, d.v.s. avståndet och riktningen mellan de två himlakropparna, M och m är det två massorna samt k är Gauss gravitationskonstant. Lösningen på denna ekvation är förstås den vanliga tvåkropparslösningen där den relativa rörelsen är en cirkel, ellips, parabel, eller hyperbel. Någon numerisk integrering behövs inte av denna ekvation eftersom det redan finns en analytisk lösning.

Om det, utöver dessa två kroppar, även finns ytterligare kroppar som stör tvåkropparsrörelsen, då ser ekvationen ut så här:

$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = -k^2(M+m)\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} + k^2\sum_{q=1}^{n} m_q\left(\frac{\mathbf{r}_q-\mathbf{r}}{|\mathbf{r}_q-\mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r}_q}{|\mathbf{r}_q|^3}\right)$$

där $\mathbf{r}_q$ är den q:te störande kroppens positionsvektor räknat från den tunga centralkroppen och m_q är massan hos denna störande kropp.

Med Enckes metod använder man den analytiska tvåkropparslösningen för att representera huvudrörelsen, och gör en numerisk integration endast på de betydligt mindre perturberande (störande) krafterna:

$$\frac{d^2\mathbf{r}_{pert}}{dt^2} = k^2\sum_{q=1}^{n} m_q\left(\frac{\mathbf{r}_q-\mathbf{r}}{|\mathbf{r}_q-\mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r}_q}{|\mathbf{r}_q|^3}\right)$$

När man gör en numerisk integration endast på en mindre del av alla krafterna kan integrationssteget göras betydligt större utan att noggrannheten blir lidande. För en given tidsperiod krävs då betydligt färre integrationssteg, vilket radikalt minskar mängden räkneoperationer som krävs. Detta är den största fördelen med Enckes metod, och det spelade stor roll på handräknandets tid, innan datorerna fanns tillgängliga. På den tiden räknade man också ut de störande planeternas positioner med existerande analytiska teorier, eller använde tabeller som andra redan hade räknat ut: bara en himlakropp integrerades numeriskt, i regel en komet.

Allt eftersom man integrerar med Enckes metod kommer himlakroppens bana att mer och mer avvika från den ursprungliga tvåkropparsbanan. När avvikelsen börjar bli för stor brukar man räkna fram en ny uppsättning banelement som definierar en ny bana som stämmer bättre med himlakroppens rörelse - detta kallas *rektifiering*. Därefter fortsätter man integrationen. Det är en bedömingsfråga när man behöver utföra denna rektifiering, och därför är det inte helt trivialt att låta ett datorprogram bestämma när det skall ske.

Enckes metod användes först av Johann Franz Encke när han år 1819 lyckades visa att kometerna år 1786 (upptäckt av Pierre Mechain), 1795, 1805 och 1818 egentligen var en och samma komet. Encke beräknade dess bana och förutsade att den skulle återkomma år 1822. Kometen visade sig enligt förutsägelsen, och sedan dess kallas den för Enckes komet.

Enckes metod användes även vid beräkningen av banan för Halleys komet vid dess återkomst 1835. Ryssarna använde också Enckes metod för att beräkna banan för sin månsond Luna 3, som var först med att fotografera månens baksida 1959. Idag har dock Enckes metod spelat ut sin roll och har huvudsakligen historiskt intresse.

Cowells metod

Med Cowells metod integrerar man de grundläggande rörelseekvationerna direkt:

$$\frac{d^2\mathbf{r}_i}{dt^2} = -k^2 \sum_{j=1, j\neq i}^{n} m_j \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3}$$

där $\mathbf{r}_j$ är positionsvektorn och m_j är massan hos den j :te kroppen och $\mathbf{r}_i$ förstås är positionsvektorn hos den i :te kroppen

Fördelen med Cowells metod är att den är rättfram och enkel: man behöver inte göra några antaganden alls om banornas form eller kropparnas massor, metoden fungerar ändå. Nackdelen är att det blir en hel del rå-räknande. Detta var främst en nackdel då man räknade för hand, i fördatorisk tid, men med dagens kraftfulla datorer som finns tillgängliga i stort sett överallt är detta inget problem alls. Cowells metod kan man också bara låta gå, det behövs ingen "rektifiering" då och då som Enckes metod behöver, och därför lämpar sig Cowells metod mycket väl för användning på moderna datorer.

Cowells metod började användas ganska sent: första gången var vid Crommelins förutsägelse av Halleys komet 1910, och metoden fick sitt namn från Crommelins assistent Phil Cowell som utförde merparten av beräkningarna. Idag använda praktiskt taget alltid Cowells metod då man numeriskt integrerar planeternas rörelser.

Icke-gravitationella krafter

Trots att gravitationen nästan fullständigt dominerar som den kraft som styr himlakropparnas rörelser, finns det situationer då andra krafter än gravitationen orsakar märkbara avvikelser från en rent gravitationell rörelse.

Utgasning från kometer

1950-51 publicerade Fred Whipple sin modell av kometer som "smutsiga snöbollar". En sådan "snöboll" borde delvis smälta då den passerade närmast solen, vilket skulle kasta ut gas från kometen. Detta kunde förklara varför vissa kometer anlände till sitt perihelium tidigare än förutsagt, medan andra anlände senare. För de flesta periodiska kometer var det en skillnad på några timmar, men för Halleys komet var skillnaden flera dagar. Om gas kastas ut

symmetriskt åt alla håll vid uppvärmning av kometytan, avgör kometens rotationsriktning åt vilket håll nettokraften av de utkastade gaserna kommer att peka.

1973 presenterade Brian Marsden med kollegor den modell för kometers icke-gravitationella krafter som sedan dess blivit standardmodellen. Varje komet får två eller tre parametrar med vars hjälp man kan beräkna de icke-gravitationella accelerationerna i tre riktningar i rymden. Parametern A_1 representerar den icke-gravitationella kraften i radiell led (mot solen), parametern A_2 i tangentiell led (vinkelrätt mot solen i kometens rörelseriktning), och den tredje och sista parametern A_3 i en riktning vinkelrätt mot banplanet. Parametrarna måste bestämmas genom observationer av varje komet och hur mycket dess rörelse avviker från en rent gravitationell rörelse. Parametern A_3 är svårast att bestämma och är okänd för de flesta periodiska kometer. Därför har de flesta periodiska kometer som observerats vid flera perihelpassager bara fått sig tilldelade de två första parametrarna A_1 och A_2.[4]

Astrodynamik och rymdfart

När astronomer för några sekler sedan hade svårt att förklara himlakroppars rörelser med gravitation, förekom det flera gånger spekulationer om att det ute bland planeterna kanske fanns någon tunn gas eller något annat medium som bromsade planeternas rörelser en aning.

Inom rymdfarten är ett sådant bromsande medium en realitet. Satelliter i omloppsbana några hundra kilometer ovanför jordytan har egentligen sina banor i de allra översta delarna av jordens atmosfär (termosfären eller exosfären). Luften må vara oerhört tunn däruppe, så tunn att den skulle vara ett utmärkt vakuum i ett jordiskt fysiklaboratorium, men denna tunna luft utövar ändå ett litet motstånd mot de satelliter vars banor ligger där. Att ta hänsyn till motståndet från denna mycket tunna luft blir nödvändigt för att kunna förutsäga satellitens rörelse. En svårighet är att luftens densitet på en viss höjd är mycket beroende av solaktiviteten och kan vara svår att förutsäga: blir solen ovanligt aktiv kan luftens densitet på en viss höjd öka med en faktor 10 eller mer.

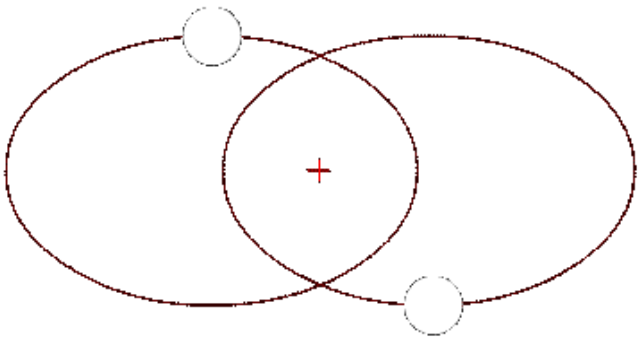
En annan typ av icke-gravitationella krafter inom rymdfarten är avsiktlig: strålar av heta gaser som sprutar ut från en raket ger dels en reaktionskraft som påverkar rymdfarkostens rörelse, och dessutom minskar farkostens massa vilket i sin tur påverkar hur farkosten reagerar på både luftmotståndet och raketstrålarna.

T.o.m. strålningstrycket från solen kan få märkbara effekter på rymdfarkoster som har mycket stor yta i förhållande till sin massa. Ett solsegel är en typ av rymdfarkost som avsiktligt utnyttjar detta strålningstryck.

Celest mekanik tillämpad på konstgjorda satelliter och rymdsonder, där man tar hänsyn till dessa icke-gravitationella krafter, kallas för *astrodynamik*.

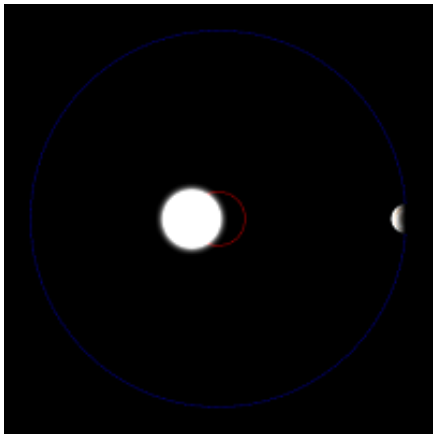
Utanför solsystemet

Den celesta mekaniken och dess lagar gäller självfallet även utanför solsystemet. Vissa effekter sker så snabbt att vi har hunnit observera dem, andra sker över så lång tidsskala att vi bara kan använda den celesta mekaniken för teoretiska beräkningar än så länge.



Simulering av en fysisk dubbelstjärna där två stjärnor med ungefär samma massa går i elliptiska banor runt sin gemensamma tyngdpunkt.

Fysiska dubbelstjärnor och exoplaneter



Ett diagram som visar hur en mörk himlakropp, te.x. en exoplanet, kretsar runt en större stjärna kan skapa ändringar i position och hastighet hos stjärnan när de kretsar runt deras båda masscentrum.

William Herschel var den förste som använde celest mekanik utanför solsystemet, när han märkte att vissa dubbelstjärnor förflyttade sig märkbart runt varandra under de 25 år han observerade dubbelstjärnor. Han försökte beräkna banor för en del av dessa dubbelstjärnor.

Visuella dubbelstjärnor

Idag känner vi banelementen för några tusen fysiska dubbelstjärnor. Dessa dubbelstjärnor kan i regel behandlas som ett perfekt tvåkropparsproblem, eftersom noggrannheten hos våra observationer sällan medger att vi upptäcker störningar från eventuella andra himlakroppar i närheten av dessa dubbelstjärnor.

Ibland tycks en stjärna gå i bana kring vad som ser ut som en tom punkt, och man kan då dra slutsatsen att det är en dubbelstjärna där den svagare komponenten är för ljussvag för att synas. Så var t.ex. fallet med Sirius, himlens ljusaste stjärna, där Friedrich Wilhelm Bessel upptäckte en periodisk rörelse hos stjärnan 1844. Det dröjde sedan 18 år innan Alvan Graham Clark år 1862 för första gången lyckades se Sirius B.

Spektroskopiska dubbelstjärnor

Många dubbelstjärnepar ligger så nära varandra att de inte kan upplösas i våra teleskop, men vi kan ändå sluta oss till att det handlar om en dubbelstjärna p.g.a. periodiska förskjutningar i våglängden hos spektrallinjerna i stjärnans spektrum. Ett sådant par är en *spektroskopisk dubbelstjärna*. Beräkningen av banelement för en sådan stjärna blir ofta begränsad eftersom vi sällan kan mäta banans inklination mot vår synlinje. Men vi kan ändå ur mätningar av radialhastigheten och dess variation med tiden dra slutsatser om stjärnornas massor och banans form. Ibland ser vi spektrallinjer från båda stjärnorna i ett gemensamt spektrum, men ibland bara spektrallinjer från den ena stjärnan. I det senare fallet är följeslagaren för ljussvag för att vi ska kunna observera den. Eventuellt kan följeslagaren vara helt mörk.

Exoplaneter

I modern tid har många av de mörka följeslagarna som upptäckts med känsliga observationer av radialhastigheten hos stjärnan haft så liten massa att de måste vara planeter snarare än stjärnor. Dessa kallas för exoplaneter, och hundratals exoplaneter är kända idag. Antalet kända exoplaneter lär öka snabbt i framtiden, då flera rymdteleskop har fått i uppdrag att söka efter planeter runt andra stjärnor.

Stjärndynamik och statistisk astronomi

I de allra flesta fall kan vi inte bestämma stjärnornas rörelse i rymden med tillräcklig precision för att pålitligt kunna beräkna den bana som stjärnan kommer att följa. Vi kan trots detta använda den celesta mekaniken statistiskt, antingen som medelvärdesberäkningar eller som simuleringar med Monte Carlo-metoden.

Det kan kännas frestande att låna metoderna från statistisk mekanik, men situationen är inte riktigt densamma för stjärnor i rymden. Molekylerna i en gas påverkas mycket av andra molekyler de kolliderar med, men inte alls av molekyler på längre avstånd. För stjärnorna i en stjärnhop eller en galax är det tvärtom: deras rörelser påverkas mest av gravitationen från det stora antalet andra stjärnor på mycket långt avstånd, och passager nära andra stjärnor är såpass sällsynta att de påverkar stjärnans rörelse betydligt mindre. Därför kan en galax som Vintergatan hålla ihop alla sina stjärnor trots att den inte omges av väggar som hindrar stjärnorna från att fara iväg.

En betydelsefull parameter för stjärnorna i en stjärnhop eller en galax är relaxationstiden, som definieras som den tid som behövs för att stjärnans passager nära andra stjärnor ska avböja stjärnans rörelse med ungefär en radian. Efter denna tidsrymd har stjärnans aktuella rörelse i stort sett inget alls att göra med rörelsen innan. För Vintergatan i solens närhet är relaxationstiden mycket lång, ungefär 100 biljoner år, vilket är mycket mer än solens ålder på ca 5 miljarder år eller t.o.m. universums ålder på ca 15 miljarder år. Man kan alltså göra antagandet att stjärnorna i Vintergatan i mycket stor utsträckning "kommer ihåg" hur de har rört sig tidigare.

Relaxationstiden för en stjärnhop är mycket kortare än för en galax, därför att stjärntätheten är betydligt högre i en stjärnhop. För en stjärnhop som Plejaderna är relaxationstiden ca 20 miljoner år, och för en typisk klotformig stjärnhop ca 5 miljarder år. Detta är kortare tidsrymder än hopens ålder, och stjärnorna i dessa hopar har alltså blandats om grundligt sedan hopens födelse.

Virialteoremet är av stor betydelse för studier av dynamiken hos stjärnor och galaxer, det sätter en övre gräns hos medelhastigheten hos en samling stjärnor för att samlingen ska kunna vara stabil. Man kan med virialteoremet beräkna relaxationstiden hos en hop och också hur lång tid det tar för hopen att "avdunsta", dvs att upplösas. En typisk stjärnhop har en ålder på ungefär 10 miljarder år och en "avdunstningstid" på ungefär 160 miljarder år. Den senare siffran är betydligt längre än universums ålder på ca 15 miljarder år, och man kan därför dra slutsatsen att de allra flesta stjärnhopar som en gång bildats fortfarande finns kvar.

Ett annat fenomen man kan studera med "statistisk celest mekanik" är vad som händer när två galaxer kolliderar. En sådan händelse är inte riktigt lika dramatisk som den låter. Stjärnorna ligger så glest i en galax att kollisioner mellan stjärnor skulle vara mycket sällsynta, det skulle bli ungefär som om två glesa bisvärmar flög genom varandra. Men gravitationen från galaxerna skulle ändå röra om rejält bland stjärnorna i dem, och många stjärnor skulle kastas ut i den intergalaktiska rymden. Bland de galaxer vi kan se på himlen finns många exempel på kolliderande galaxer. Och även vår egen Vintergata förväntas kollidera med en annan galax, Andromedagalaxen, om ungefär 3 - 5 miljarder år. [5]

Se även

- Celesta mekanikens historia
- Lagrangepunkter

Referenser

[1] Runge Kutta Methods (http://en.wikipedia.org/wiki/Runge-Kutta_methods)
[2] Linear Multistep Method (http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_multistep_method)
[3] First and Second Dahlquist Barriers (http://en.wikipedia.org/wiki/Adams-Moulton_method#First_and_second_Dahlquist_barriers)
[4] Cometary Orbit Determination and Nongravitational Forces, Yeomans and Chodas (http://www.lpi.usra.edu/books/CometsII/7009.pdf), ur M.C. Festou, H.U. Keller, H.A. Weaver: *Comets II* (http://www.uapress.arizona.edu/books/bid1580.htm), University of Arizona Press, Arizona 2004. ISBN 978-0816524501.
[5] When ur galaxy smashes into Andromeda, what happens to the Sun? (http://www.universetoday.com/1604/when-our-galaxy-smashes-into-andromeda-what-happens-to-the-sun/)

Vidare läsning

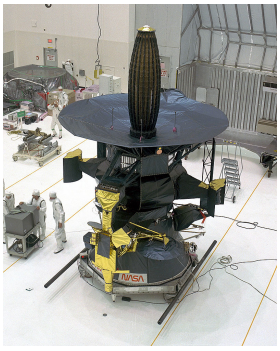
- C.M. Linton: *From Eudoxus to Einstein. A History of Mathematical Astronomy.* (http://www.cambridge.org/gb/knowledge/isbn/item5708731/), Cambridge University Press, Cambridge 2004. ISBN 978-0-521-04571-1.
- J.M.A. Danby: *Fundamentals of Celestial Mechanics* (http://www.willbell.com/math/mc7.htm), Willmann-Bell, 1962,1988. ISBN 0-943396-20-4.
- Forest Ray Moulton: *An Introduction to Celestial Mechanics* (http://store.doverpublications.com/0486646874.html), Dover Books, 1914,1970. ISBN 0486646874.
- Roger Bate: *Fundamentals of Astrodynamics* (http://store.doverpublications.com/0486600610.html), Dover Books, 1971. ISBN 9780486600611.
- Dan Boulet: *Methods of Orbit Determination for the Micro Computer* (http://www.willbell.com/math/mc10.htm), Willmann-Bell, 1991. ISBN 0-943396-34-4.
- Dimitri Mihalas: *Galactic Astronomy*, Princeton University Observatory, 1972. ISBN 7167 03262-2.
- Y. Ryabov: *An Elementary Survey of Celestial Mechanics* (http://store.doverpublications.com/0486450147.html), Dover Books, 1959,1961,2006. ISBN 978-0486450148.
- Jean Meeus: *Astronomical Algorithms* (http://www.willbell.com/math/mc1.htm), Willmann-Bell, 1991,1998. ISBN 978-0943396613.
- Jean Meeus: *Astronomical Formulae for Calculators* (http://www.willbell.com/math/mc3.htm), Willmann-Bell, 1979,1988. ISBN 978-0943396224.
- O. Montenbruk, T. Pfleger: *Astronomy on the Personal Computer* (http://www.springer.com/astronomy/astronomy,+observations+and+techniques/book/978-3-540-67221-0?changeHeader), Springer Verlag, 2000, 4:e upplagan. ISBN 978-3-540-67221-0.
- Ken Crosswell: *Planet Quest* (http://www.amazon.com/Planet-Quest-Discovery-Alien-Systems/dp/0192880837/ref=sr_1_2?ie=UTF8&qid=1298742365&sr=8-2), Oxford University Press, 1999. ISBN 978-0192880833.

Externa länkar

- Solsystemssimulator från JPL (http://space.jpl.nasa.gov/)
- Hur man beräknar planeternas positioner (http://stjarnhimlen.se/comp/ppcomp.html)
- Java-applets som simulerar banrörelser (http://burtleburtle.net/bob/physics/orbit101.html)
- DE118i - källkod i C för numerisk integrering av planeterna i solsystemet (http://www.moshier.net/ssystem.html)
- nmod, en n-kroppssimulator för Windows och Linux (http://code.google.com/p/nmod/)
- Simulator för kolliderande galaxer (http://burro.cwru.edu/JavaLab/GalCrashWeb/)
- Simulering av kollision mellan Vintergatan och Andromedagalaxen (http://www.youtube.com/watch?v=dJRc37D2ZZY)

Galileo (rymdsond)

Galileo



Galileo

Status	**Inaktiv**
Organisation	NASA
Typ	Kretsare, förbiflygare
Förbiflygning av	Venus, jorden, 951 Gaspra, 243 Ida
Datum för förbiflygning	Venus - 10 februari 1990 jorden - 8 december 1990 och 8 december 1992 951 Gaspra - 29 oktober 1991 243 Ida - 28 augusti 1993
Satellit till	Jupiter
Gick in i bana	7 december 1995
Uppskjutning	18 oktober 1989
Uppskjutningsfarkost	Shuttle-Inertial Upper Stage
Uppdragets varaktighet	21 september 2003
NSSDC-ID	1989-084B [1]
Webbsida	Galileo Project Home Page [2]
Massa	2223 kilogram
Dimensioner	5,3 meter hög
Effekt	570 W

Galileo är en rymdsond, namngiven efter den toskanske vetenskapsmannen Galileo Galilei, upptäckare av de Galileiska månarna. Rymdsonden sändes upp av NASA med rymdfärjan Atlantis den 18 oktober 1989 från Kennedy Space Center i Florida, USA[3] . Rymdsonden Galileos uppdrag var att gå in i omloppsbana runt Jupiter och utforska planeten och dess månar samt Jupiters atmosfär. På sin väg till Jupiter genomförde sonden ett flertal observationer av de inre planeterna i solsystemet. Galileo passerade, som första rymdsond, nära två asteroider, 243 Ida och 951 Gaspra och upptäckte då den första asteroidmånen, som gavs namnet Dactyl. Galileo observerade också kollisionen mellan fragment från kometen Shoemaker-Levy 9 och Jupiter år 1994. Galileo nådde Jupiter den 7 december 1995 och gick då i omloppsbana runt planeten. Den hade med sig en mindre mätsond som sändes ned mot planetens yta. Mätsonden hade som uppgift att undersöka Jupiters atmosfär. I en timma skickade den tillbaka data innan den krossades av trycket och värmen. Sedan började huvudsonden sitt uppdrag. Den kretsade i över 8 års tid i en

komplicerad elliptisk omloppsbana runt Jupiter. Det blev totalt 34 varv innan den förstördes i Jupiters atmosfär den 21 september 2003. Rymdsondens bränsle var nästan slut och den riskerade att bli omöjlig att kontrollera från jorden. NASA valde då att avsiktligt sända den mot Jupiter, för att sonden inte skulle riskera att förorena någon av Jupiters månar med bakterier från Jorden.

Galileo gjorde ett flertal viktiga observationer under sina 8 år kring Jupiter [4] . Ingående studier gjordes av magnetfältet och strålningen från planeten. Den fann ett kraftigt radioaktivt bälte ca 50 000 kilometer över Jupiters molntoppar. Mätsonden mätte upp vindhastigheter på 600 kilometer i timmen i Jupiters atmosfär och noterade också otaliga mycket kraftiga åskväder. Rymdsonden observerade i detalj Jupiters ringsystem som tror ha bildats av damm från meteoritnedslag på några av de mindre Jupitermånarna. Galileo hade också i uppgift att detaljerat studera de galileiska månarna Io, Europa, Ganymedes och Callisto. Månarna har inbördes likheter, men också stora olikheter. Månarna visar upp isiga ytskikt, där flera av dem har flytande oceaner under isytan. Io har hela solsystemets mest omfattande vulkaniska aktivitet. Europa saknar höga berg, men visar upp en yta full med sprickor. Ganymedes har formats av omfattande landhöjningar och genererar ett eget magnetfält. Callisto är kraftigt eroderad. Galileo-projektet anses allmänt vara en av NASA:s mest lyckade rymdsondsprojekt[3]

Historia

Galileo-projektet föregicks av mångåriga diskussioner och debatter i den amerikanska kongressen innan projektet godkändes 1977[3] . Därpå följde ett flerårigt planeringsarbete för att konstruera en rymdsond som klarade den tuffa Jupitermiljön. Stora krav ställdes på beräkning av rymdsondens exakta kurs mot Jupiter och på sondens utrustning. Elektronisk och annan utrustning skulle klara av en mångårig färd till Jupiter och också klara av Jupiters kraftiga magnetfält. Under planeringen av projektet förändrades förutsättningarna för rymdfärden flera gånger. Galileo-projektet försenades av att NASA drabbades av budgetnedskärningar i början av 1980-talet och kom också att försenas i och med katastrofen med rymdfärjan Challenger år 1986.

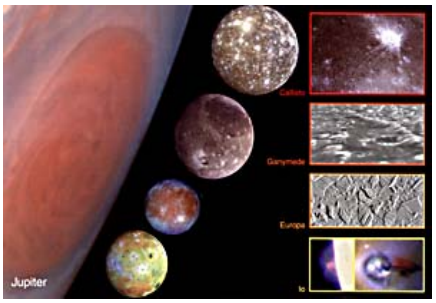
Nya säkerhetsbestämmelser efter Challengerolyckan innebar stora förändringar för rymdfärjorna, vilket komplicerade uppdraget ytterligare. Efter olyckan ansåg NASA att det var för riskabelt att använda Centaur-raketen, ett kraftigt raketsteg, med rymdfärjorna så som det ursprungligen var planerat. Istället fattades beslut om att rymdsonden skulle förses med en enklare tvåstegsraket, Inertial Upper Stage (IUS), som utvecklats av USA:s flygvapen. Detta är en fastbränsleraket som avfyras efter att rymdsonden frigjorts från rymdfärjan. Tekniken hade provats tidigare och Galileo-projektet skulle bli den tionde gången IUS användes [4] .

Den svagare tvåstegsraketen innebar att en direktflygning till Jupiter blev omöjlig. Istället planerades för en mer komplicerad rutt för rymdsonden för att spara så mycket bränsle som möjligt. Det innebar att sonden behövde ta hjälp av gravitationskrafterna hos planeten Venus och Jorden för att på så sätt slungas ut mot Jupiter. Detta i sin tur medförde att rymdsonden kom närmare solen vilket ställde nya krav på att utrustningen skulle klara solens värme och strålning. Den mer komplicerade banan för rymdsonden innebar också att det skulle ta sex år att nå Jupiter istället för de två år som en direktflygning hade tagit.

Galileo-projektet leddes av NASA:s Office of Space Science och av Jet Propulsion Laboratory (JPL), som är en division inom California Institute of Technology. JPL designade och byggde rymdsondens huvudsond och ledde uppdraget. NASA:s Ames Research Center ansvarade för mätsonden. Den byggdes av Hughes Aircraft Company. Drivmodulen byggdes av det tyska företaget Messerschmitt-Bölkow-Blohm [4] .

Galileo-projektet beräknas ha kostat totalt 1,39 miljarder dollar. Till det kommer internationella insatser och deltagande i projektet som beräknas ha kostat 110 miljoner dollar. Mer än 100 forskare från USA, Storbritannien, Tyskland, Frankrike, Kanada och Sverige medverkade. Totalt arbetade ca 800 personer i någon del av projektet [5] .

Andra rymdsonder till Jupiter



Fotomontage av Jupiters röda fläck och de fyra Galileiska månarna (Bild: NASA)

Galileo var inte den första rymdsonden som skickats till Jupiter, men däremot den första sond som satts i omloppsbana runt planeten (och överhuvudtaget runt någon annan planet än jorden). Galileos mätsond var också den första att sändas ner mot ytan på någon av de yttre planeterna i solsystemet. USA har sänt totalt ytterligare sju rymdsonder förbi Jupiter.

Pioneer 10 flög redan i december 1973 på 200 000 kilometers avstånd förbi Jupiter [3] . Den studerade bland annat Jupiters magnetfält och atmosfär samt några av Jupiters månar. Pioneer 10 tog de första närbilderna av Jupiter. Pioneer 11 flög förbi Jupiter i december 1974 på endast 34 000 kilometers avstånd på sin väg mot Saturnus. Sonden observerade särskilt Jupiters röda fläck samt studerade polarregionerna. Pioneer 11 gjorde också beräkningar av månen Callistos massa [6] .

Voyager 1 passerade Jupiter i mars 1979 och Voyager 2 flög förbi Jupiter i juli 1979. De två sonderna tog stora mängder foton av Jupiter och upptäckte tre nya Jupitermånar och ringar runt planeten. Observationerna gav också ny kunskap om de fysiska och geologiska processer som pågår på Jupiter och på Jupiter-månarna. Den kraftiga vulkaniska aktiviteten på månen Io förvånade forskarna. Sonderna studerade också atmosfären kring Jupiter. Dessa rymdsonder passerade därefter Saturnus 1980 och, vad gäller Voyager 2, Uranus och Neptunus 1986 resp. 1989 [7] .

Ulysses passerade Jupiter i februari 1992. Rymdsonden genomförde en rad mätningar av magnetfält, radio- och plasmavågor m.m i Jupiter-systemet. Ulysses, vars huvudsakliga uppdrag var att studera solens heliosfär, flög förbi Jupiter på en annan altitud än de tidigare sonderna. När sonden passerade Jupiter som närmast var den 40 grader norr om Jupiter-ekvatorn, vilket gjorde det möjligt att mer detaljerat studera Jupiters strålningsbälte[8] . Erfarenheten från alla dessa tidiga rymdfärder var till stor nytta vid planeringen av Galileo-projektet.

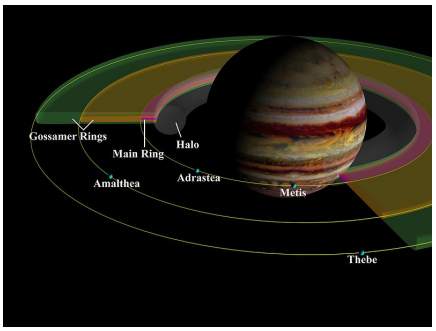
Även efter Galileo-projektet har några rymdsonder passerat Jupiter. Cassini-Huygens for förbi i december 2000 på sin resa mot Saturnus. Det innebar att sonden studerade Jupiter samtidigt som Galileo kretsade kring Jupiter. Cassini-Huygens tog stora mängder fotografier av planeten. På bilderna syntes bland annat ett antal mindre fläckar som visade sig vara kraftiga stormar. Sonden studerade också Jupiters ringar, Io:s vulkanism samt några av de mindre månarna och deras inverkan på Jupiters ringar [9] .

Den senaste rymdsonden som passerat Jupiter är New Horizons i februari 2007 på sin resa mot Pluto och Kuiperbältet. Rymdsonden studerade de galileiska månarna mer i detalj, men genomförde också studier av flera av de mindre månarna. Även denna sond studerade vulkanerna på Io. Sonden studerade också Jupiters lilla röda fläck, planetens magnetosfär och dess ringsystem [10] .

Alla dessa rymdsonder gjorde olika typer av vetenskapliga observationer vid förbipassagerna. Ingen av dem har dock tillnärmelsevis studerat Jupiter så detaljerat som Galileo.

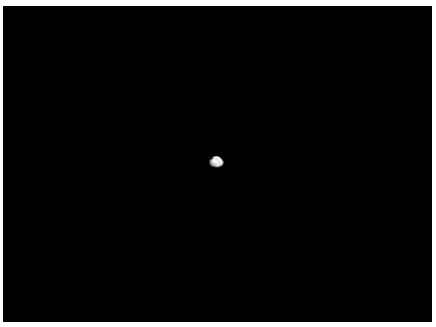
Uppdraget

Uppdraget för rymdsonden Galileo[3] var att, med hjälp av mätsonden, studera Jupiters atmosfär samt att, med huvudsonden, mer i detalj studera Jupiter, dess månar och magnetosfären. Månarnas geologi, gravitation, magnetfält m.m skulle studeras särskilt. Även om Voyager-rymdsonderna utforskade delar av det yttre solsystemet i slutet av 1970-talet och under 1980-talet, så fanns en ambition hos NASA att mer i detalj studera de stora yttre planeterna. Galileo var det första större projektet för att åstadkomma detta. Det följdes några år senare av bland annat Cassini-projektet med en rymdsond mot Saturnus. I Galileos uppdrag ingick också att på vägen till Jupiter-systemet göra andra observationer som skulle öka vår kunskap om solsystemet och dess uppbyggnad. Galileo konstruerades för att fullgöra sitt uppdrag i två års tid. Uppdraget kom att vara i totalt åtta år efter tre förlängningar. Sondens kurs var sådan att tillfälle gavs till observationer av stora delar av solsystemet innan ankomsten till Jupiter. Venus, jorden, månen och några asteroider studerades särskilt.



En illustration av Jupiters ringsystem och de inre månarna (Bild: NASA)

En illustration av mätsondens färd ner i Jupiters atmosfär (Bild: NASA)


Galileo närmar sig asteroiden Ida (Bild: NASA)

Uppdraget innebar att en rymdsond:

- för första gången i detalj utforskade atmosfären hos någon av de yttre planeterna i solsystemet
- för första gången kretsade kring en av de yttre planeterna
- för första gången skickade en mätsond ner i atmosfären på en av de yttre planeterna
- studerade Jupiters månar från ett perspektiv som var mer än hundra gånger närmare än någonsin tidigare
- för första gången systematiskt studerade hela Jupitersystemet under åratal
- för första gången detaljstuderar asteroider och upptäcker en asteroidmåne
- för första gången i detalj observerar en kollision mellan en komet och en planet i solsystemet
- gjorde den första multispektrala studien av månen
- hade instrument för observationer som var överlägsna i kapacitet och precision jämfört med alla föregångare

Vetenskapliga mål

Rymdsonden Galileo bestod av två delar, en huvudsond och en mindre mätsond. De vetenskapliga målen för mätsonden var att [11] :

- bestämma den kemiska sammansättningen i Jupiters atmosfär.
- studera vad som kännetecknar atmosfärens struktur till ett djup där trycket är minst 10 bar.
- utforska molnpartiklars egenskaper, läge och struktur i olika molnskikt.
- undersöka Jupiters värmestrålning.
- studera blixtnedslag och blixtarnas karaktär på Jupiter.
- mäta överföringen av kraftigt laddade partiklar i den yttre delen av atmosfären.

De vetenskapliga målen för huvudsonden var att:

- utforska dynamiken i Jupiters atmosfär
- utforska övre delen av Jupiters atmosfär och jonosfär
- undersöka vad som kännetecknar de galileiska månarnas form, geologi och fysiska egenskaper
- utforska sammansättning och spridning av ytmineraler på de galileiska månarna
- bestämma gravitation och magnetfält samt förhållanden i övrigt vid ytan på de galileiska månarna
- studera atmosfär och jonosfär samt utvidgning av gasmoln på de galileiska månarna
- studera samspelet mellan Jupiters magnetosfär och de galileiska månarna
- undersöka vad som kännetecknar magnetfältet, energispektrum, sammansättning och överföring av partiklar och plasma till ett avstånd av 150 Jupiterradier.

Rymdfärjan, rymdsonden och dess tekniska utrustning

Rymdsonden Galileo lastades på Rymdfärjan Atlantis, med vars hjälp den sköts upp i rymden. Rymdfärjan Atlantis, som konstruerats av Rockwell International, användes för att ta rymdsonden upp i omloppsbana runt jorden. Galileo-projektet var rymdfärjans femte uppdrag och fick beteckningen STS-34. Atlantis användes av NASA i ett flertal rymdsondsprojekt[5] .

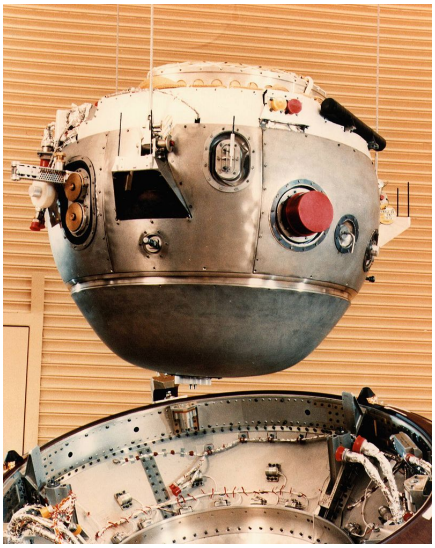
Efter att rymdsonden lösgjorts från rymdfärjan (Bild: NASA)

Galileos huvudsond, som konstruerats av Jet Propulsion Laboratory på uppdrag av NASA, vägde 2 223 kilo, inklusive 925 kilo bränsle och 118 kilo mätutrustning [5] . Den mindre mätsonden, utvecklad av NASA:s Ames Research Center och byggd av Hughes Aircraft Company, vägde 339 kilo, inklusive 30 kilo mätutrustning [12] .

Rymdsonden var totalt 5,3 meter hög, exklusive huvudantennen, och var konstruerad i två huvuddelar. Den övre delen, som inkluderade den 11 meter långa magnetometerarmen, huvudantennen, datorer, kontrollutrustning och det mesta av de elektroniska mätinstrumenten, var konstruerad så att den skulle rotera konstant med 3 varv per minut för att stabilisera farkosten under dess färd [5] . Den nedre delen av sonden hölls stilla med hjälp av en motor. Denna del innehöll den lilla mätsonden och här fanns även SSI-kameran, olika typer av spektrometrar m.m., som var placerade på en rörlig plattform. En mycket enkel dator fanns ombord på rymdsonden, med en 8 bits processor på 1,6 MHz. Datorns tillförlitlighet och förmåga att klara förhållandena i rymden var det viktigaste. Sonden var också utrustad med en bandspelare med en kapacitet på 109 megabyte[12] .

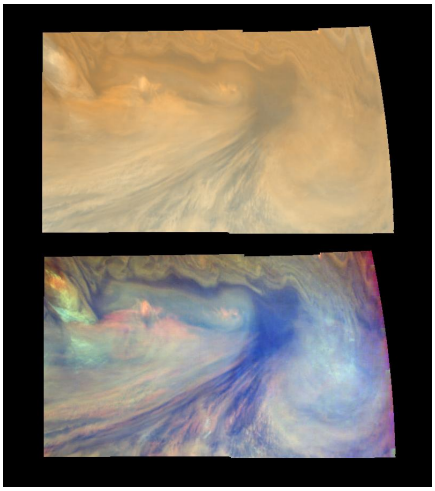
Rymdsondens jetdriftsystem utgjordes av en huvudmotor med en effekt på 400 newton samt 12 mindre drivenheter på vardera 10 newton. Dessa användes för att justera rymdsondens bana och stabilisera sonden[12] . .

Rymdsonden styrdes via radiolänk och med datorinstruktioner från jorden. Galileo kommunicerade med jorden via NASA:s Deep Space Network, som är ett världsomspännande nätverk av radioantenner. Dessa länkas till JPL:s kontrollcenter i Pasadena, Kalifornien. Kommunikationen skedde med en reservantenn med mycket låg effekt (15 watts sändningseffekt), på grund av att huvudantennen inte fungerade som avsett. Det innebar att överföringskapaciteten minskade från 134 000 bps till endast 8 bps. Med hjälp av omprogrammering av instruktionerna till sonden kunde ändå data sändas från Jupiter till jorden, men i betydligt mindre omfattning än planerat [12] . En diskformad antenn på huvudsonden fångade upp signaler från mätsonden.



Galileos mätsond (Bild: NASA)

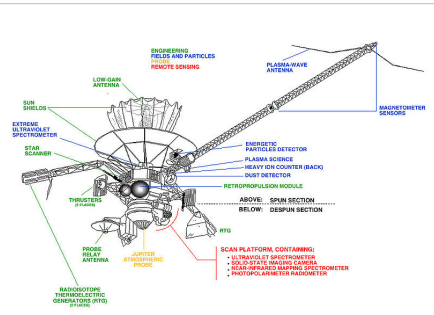
Rymdsonden försågs med elkraft av två s.k RTG-enheter (Radioisotope Thermoelectric Generator). Det är en elektrisk kraftkälla som använder värmen från radioaktivt sönderfall. En RTG används när andra strömkällor är för dyra eller opraktiska. En RTG innehåller en viss mängd radioaktivt material. Totalt genererades en effekt på 570 watt (som reducerades successivt ner till 432 watt vid uppdragets slut 2003)[4] .



Bilder tagna i olika vågängder av en varm fläck vid Jupiterekvatorn (Bilder: NASA

Huvudsondens utrustning

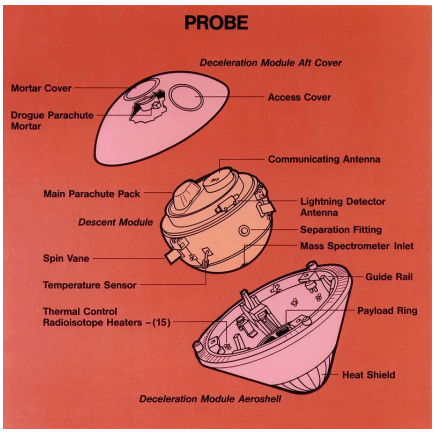
Rymdsonden Galileo hade ett flertal olika typer av vetenskapliga instrument för att utföra planerade observationer. Huvudsondens viktigaste instrument var[3] [12] [13] :



Huvudsonden och dess utrustning (Bild: NASA)

- **Dust Detector Subsystem** (DDS) - Mäter hastighet, massa, laddning samt fördelning av och färdriktning hos dammpartiklar kring Jupiter och dess månar. Med hjälp av instrumentet kunde Jupiters ringsystem studeras mer ingående. Syftet var att få ökad kunskap om hur dammpartiklar sprids och hur de påverkar ringarna samt hur mangnetosfären påverkar partiklarna. Infallsvinklarna från partiklarna visade att partiklarnas banor högst troligt påverkades av Jupiters magnetfält. Instrumentets känslighet var mellan 10^{-16} och 10^{-6} gram.
- **Energetic Particles Detector** (EPD) - Mäter energi, fördelning, variation, sammansättning och intensitet hos laddade partiklar i Jupiters magnetosfär. Syftet var att mäta dynamiken i Jupiters magnetosfär samt att mäta hur de partiklar som försvinner ut i rymden ersätts av nya partiklar. Joner mäts med laddningar från 20 keV till 55 MeV och elektroner från 15 keV till 11 MeV.

- **Heavy Ion Counter** (HIC) - Ger data om sondens kollisioner med tunga joniserade atomer. I början av Galileos färd mättes mängden högenergijoner från utbrott på solen (s.k flares). Forskarna i Galileoprojektet befarade att dessa skulle kunna störa utrustningen på rymdsonden. Inga allvarliga störningar skedde dock. Instrumentet var känsligt för partiklar från karbon till nickel.
- **Magnetometer** (MAG) - Mäter magnetfält i rymdsondens närhet kring Jupiter och dess månar. Magnetometern var installerad på den 11 meter långa bommen för att inte störas av rymdsondens elektroniska utrustning. Syftet var att mäta hur Jupiters magnetosfär påverkade de galileiska månarna, som alla kretsar i magnetosfären runt Jupiter, och få ökad kunskap om månarnas sammansättning, eventuella magnetfält, förekomsten av jonosfär m.m. Mätningarna gav också indikationer på förekomsten av en smält järnkärna hos respektive måne. På färden mot Jupiter mätte magnetometern också effekterna av solvinden och hur den påverkade Venus, jorden och asteroiderna. Instrumentet mätte i området 32 till 16 384 gamma.
- **Near-Infrared Mapping Spectrometer** (NIMS) - Observerar Jupiter och dess månar inom det infraröda området (nära synligt ljus) och mäter särskilt förhållandena i atmosfären och vid ytan på de Galileiska månarna. Med instrumentet mäts sambanden mellan temperatur och tryck i atmosfären inom området mellan 1 och 5 bar. Syftet är att kartlägga sammansättningen i Jupiters atmosfär och hos de galileiska månarna. Med hjälp av de mätningar som gjordes med instrumentet kunde en geologisk karta framställas för respektive Jupitermåne. Detta instrument var en nyhet i rymdsonder och introducerades i och med Galileo-projektet. Det bestod av två huvuddelar; ett teleskop och en spektrometer. Instrumentet mätte i området 700 nm till 5,2 µm.



Mätsonden och dess utrustning (Bild: NASA)

Uppskjutning av rymdfärjan Atlantis, uppdrag STS-34, rymdsonden Galileo (Bild: NASA)

- **Plasma Subsystem** (PLS) - Mäter sammansättning, energi, temperatur, densitet, läge och täthet vad gäller lågenergiplasma i rymdsondens omgivning. Syftet var att undersöka källor till plasma i magnetosfären och hur plasma växelspelar med Jupiters månar. Instrumentet skulle också undersöka hur plasma påverkar laddade partiklar och studera dynamiken i Jupiters magnetosfär. Instrumentet mäter laddade partiklar inom området 1 eV till 50 keV.
- **Photopolarimeter-Radiometer** (PPR) - Mäter intensitet och polarisering av ljus. Syftet var att mäta intensiteten i det solljus som Jupiter och dess månar reflekterar och den värmestrålning som sänds ut. Instrumentet skulle också mäta Jupiters energibudget, dvs mängden energi till och från Jupiter. Instrumentet kan även urskilja vissa fysikaliska egenskaper och detaljer på Jupiters yta och på månytorna. Mätningar gjordes i flera olika våglängder.
- **Plasma Wave Subsystem** (PWS) - Mäter elektrostatiska och elektromagnetiska vågrörelser i plasma. Instrumentet skulle undersöka hur plasmavågorna skapades och mer i detalj studera hur Jupitermånen Io var sammankopplad med Jupiter inom en s.k plasmatorus. Syftet var att få ökad kunskap om Jupiters magnetosfär och hur den växelspelar med de galileiska månarna. Instrumentet mätte det elektromagnetiska fältet inom området 5 Hz till 5,6 Mhz. Det magnetiska fältet mättes inom området 5 Hz till 160 kHz.
- **Radio Science** - Rymdsonden kan sända radiosignaler som ger information om ringar och atmosfärer, massa och vädersystem. Utrustningen användes också för att studera celest mekanik och mäta radiovågor tillsammans med stationer på jorden, i NASA:s Deep Space Network. Syftet var att undersöka hur Jupiters gravitation påverkade

rymdsondens omloppsbana och utifrån det beräkna Jupiters massa. Det skulle också ge mer detaljerad information om Jupiters omloppsbana runt solen samt Jupiters månars omloppsbanor runt Jupiter. Radioutrustningen sökte också efter svaga signaler från extraordinära gravitationsvågor från den interstellära rymden, vilket skulle indikera på mer katastrofala händelser i rymden såsom, stjärnors kollaps eller av andra större galaktiska händelser.

- **Solid-State Imaging** (SSI) Camera - 1500 mm teleskopkamera som ger högupplösningsbilder i synligt ljus. Teleskopdelen var en reflektor av Cassegrain-modell. Sensorn är en CCD med 800 x 800 pixlar och betydligt känsligare än tidigare kameror i rymdsonder. Kameran användes framförallt för att fotografera Jupiters månar i syfte att kartlägga deras geologi och undersöka fördelningen av is och mineraler med hjälp av olika fotografiska filter. Den användes också för att kartlägga Jupiters molnstruktur. För att klara Jupiters starka strålning krävdes ett kraftigt skalskydd runt kameran. Kameran hade 8 olika filter inom våglängderna 380 mm till 1,1 µm. Exponeringstiderna var 2⅓, 8⅔, 30⅓ och 60⅔ sekunder.
- **Ultraviolet Spectrometer** (UVS) - Mäter gaser i Jupiteratmosfären och undersöker molnlager och molnpartiklar. Syftet var att undersöka de övre delarna av Jupiters atmosfär mer i detalj samt att leta efter förekomsten av atmosfär hos de galileiska månarna. Instrumentet sökte också efter molekyler som kunde vara byggstenar för liv. Instrumentet mätte inom området 115 till 430 mm.

Mätsondens utrustning

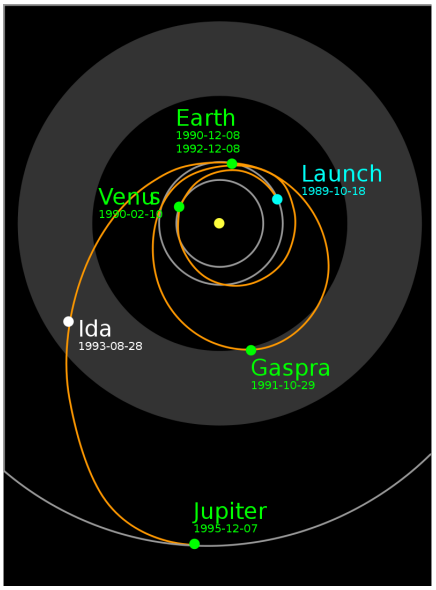
Även den lilla mätsonden hade vetenskaplig utrustning. De viktigaste var [3] [12] [13] :

- **Atmospheric Structure Instrument** (ASI) - Mäter temperatur, densitet och tryck på olika höjder i Jupiters atmosfär. Instrumentet mäter också molekylmassan i de gaser som finns på olika höjder i Jupiters atmosfär. Syftet var att ge kunskap om atmosfärens stabilitet och på vilka höjder som molnlager förekommer. Instrumentet kunde mäta temperaturen inom 0 till 540 kelvin (K).
- **Neutral Mass Spectrometer** (NMS) - Undersöker kemisk sammansättning i detalj i Jupiters atmosfär. Spektrometern mäter massan och intensiteten hos de joner som träffar instrumentet. Syftet var att få en ökad förståelse för de processer som skapat Jupiters komplexa molnformationer. Instrumentet mäter atommassan mellan 1 och 50 AMU.
- **Helium Abundance Detector** (HAD) - Mäter förekomsten av helium i Jupiters atmosfär. Syftet var att mäta fördelningen mellan väte och helium mellan 3 och 8 bars tryck för att se hur det överensstämde med motsvarande fördelning i solen. Effekterna av solvinden, elektromagnetiska fält och karaktären hos dammpartiklar studerades också. Observationerna skulle ge ytterligare kunskap om solsystemets och Jupiters utveckling. Instrumentet hade en precision på 0,1 procent.
- **Nephelometer** (NEP) - Mäter strukturen hos Jupiters moln mellan 0,1 och 10 bars tryck för att avgöra var olika molnlager finns samt storlek, koncentration och form hos individuella molnpartiklar. Syftet var att få ökad kunskap om Jupiters energibalans. Instrumentet klarade att mäta partiklar med storlekar på 0,2 till 20 µm och med ett antal av endast 3 partiklar per kubikcentimeter.
- **Net Flux Radiometer** (NFR) - Undersöker ljus och värmestrålning på olika höjder i Jupiters atmosfär. Syftet var att, genom mätningar åt olika håll, avgöra skillnaderna mellan Jupiters strålning och påverkan av solens strålning. Instrumentet mätte i området mellan 300 nm till 100 µm.
- **Lightning and Energetic Particles Investigation** (LRD/EPI) - Observerar stormar på Jupiter och undersöker partiklar i den inre magnetosfären. Syftet var att studera flödet av protoner, elektroner, alfapartiklar och tunga joner som kretsar i Jupiters magnetosfär med hastigheter på tiotusentals kilometer per sekund. Instrumentet mätte i området 1 Hz till 100 kHz.
- **Radio science** - Mäter vindhastigheter i Jupiteratmosfären. Syftet var att få kunskap om vindfenomen och cirkulation i Jupiteratmosfären och om dynamiken hos Jupiter såväl som de andra stora yttre planeterna i solsystemet.

Uppskjutningen

Den planerade rutten mot Jupiter innebar att uppskjutningen måste ske i ett tidsfönster mellan 12 oktober och 21 november 1989 för att klara uppdraget. Ju senare under denna period, desto mer bränsle skulle förbrukas för att nå alla uppsatta mål i Galileo-projektet [12] . Den 18 oktober 1989 kl 12,54 Eastern Daylight Time (EDT) lyfte rymdfärjan Atlantis med rymdsonden Galileo från Kennedy Space Center i Florida, USA. 6 timmar och 21 minuter efter uppskjutningen lösgjordes rymdsonden från rymdfärjan. En timme senare tändes den första delen i den tvåstegsraket som skulle accelerera rymdsonden ut från jordens omloppsbana och i riktning mot Venus. Den andra delen tändes ytterligare 40 minuter senare och syftade till placera sonden i rätt vinkel mot solen och ge den en rotation på 3 varv per minut.[3] .

Observationer på Galileos färd mot Jupiter



Rymdsondens färd på väg mot Jupiter (VEEGA) (Bild: NASA)

För att Galileo skulle få tillräcklig kraft att ta sig ut till Jupiter krävdes en kurs via de inre delarna av solsystemet, en s.k VEEGA (Venus Earth Earth Gravity Assist). Det innebär att rymdsonden tar hjälp av Venus och jordens gravitation (två gånger) för att få nödvändig kraft att ta språnget ut i de yttre delarna av solsystemet. Denna extratur gav forskarna möjlighet att studera dessa två planeter och månen.

Galileo passerade Venus som närmast den 10 februari 1990, på ett avstånd av 16 000 km[4] . Sonden upptäckte att det förekommer atmosfäriska stormar på planeten samt att atmosfären är torrare än vad man tidigare trott. Sondens fotografier gav också värdefull kunskap om molnstrukturen på Venus [12] . Därefter rundades jorden två gånger, som närmast på endast några hundra kilometers höjd över jordytan. Förbiflygningarna av månen gav forskarna möjlighet att närstudera månens norra polarregion. Galileo bekräftade att det finns en mycket gammal och omfattande nedslagskrater på den södra delen av månens baksida. Indikationer på att en sådan fanns kom från Apolloprogrammets observationer. Galileo fann också bevis för att det funnits aktiva vulkaner på månen. Rymdsonden upptäckte också en oväntat intensiv dammstorm i den interplanetära rymden.

På färden ut mot Jupiter passerade rymdsonden asteroidbältet, vilket gav möjligheter att närstudera asteroiderna 951 Gaspra och 243 Ida. Gaspra, som är 19x12x11 kilometer i storlek, passerades 29 oktober 1991 på ett avstånd av 1 600 kilometer. Det var första gången som en rymdsond passerar nära en asteroid och har möjlighet att detaljstudera asteroidens form och yta. Galileo tog ett stort antal fotografier, trots vissa problem med sondens kamera. Efter det andra varvet runt jorden återkom sonden till asteroidbältet 1993 och passerade då asteroiden Ida den 28 augusti 1993. Kring denna asteroid, som är något större än Gaspra (54x24x15 kilometer i storlek), upptäcktes en liten asteroidmåne, som döptes till Dactyl. Upptäckten skedde efter detaljerade studier av de fotografier Galileo tagit. Rymdsonden blev därmed först med att upptäcka en måne runt en asteroid.

Galileo var också perfekt placerad 1994 för att på nära håll studera kollisionen mellan fragment från kometen Shoemaker-Levy 9 och Jupiter. Kometen hade två år tidigare, vid en nära passage förbi Jupiter, splittrats upp i flera kilometerstora delar, som nu träffade Jupiters yta. Ca 20 fragment kolliderade med planeten. Nedslagen skedde på baksidan av Jupiter, sett från Jorden. Detta gjorde att nedslagsögonblicket enbart kunde dokumenteras av rymdsonden, medan effekterna av nedslaget några timmar senare kunde studeras från rymdobservatorier på jorden. Effekten i Jupiters atmosfär var spektakulär och oväntad för forskarna. Analyser av Galileos fotografier av kollisionen tillsammans med observationer från Rymdteleskopet Hubble och teleskop på jorden visade att effekterna

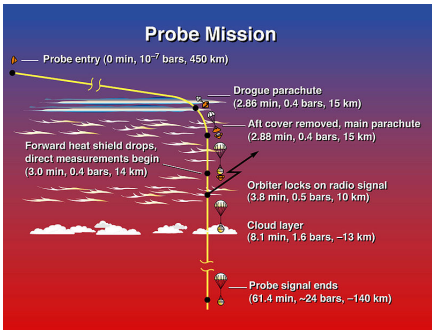
av kollisionen var oväntat stora. Galileos instrument visade att eldklotet nådde en temperatur på drygt 20 000 grader. Det svampformade molnet från eldklotet nådde en höjd på över 3 000 km.[14]

Alla dessa observationer genomfördes före ankomsten till Jupiter då det egentliga uppdraget påbörjades. Rymdsonden färdades totalt 3,9 miljarder kilometer, med en hastighet av 71 000 kilometer i timmen, för att nå Jupiter [3] . När rymdsonden närmar sig Jupiter lösgörs den lilla mätsonden. Detta sker 147 dagar innan rymdsonden når Jupiter. Dessförinnan hade sondens rotationshastighet ökats till 10 varv per minut. Även den tidigare fasta nedre delen av sonden roterade nu med denna hastighet. Syftet var att mätsondens färd mot Jupiters atmosfär skulle stabiliseras.

Galileos observationer av Jupiter och dess månar

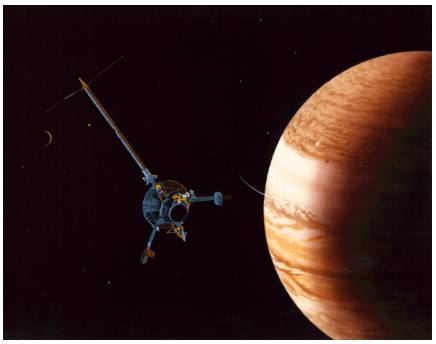
Rymdsonden nådde Jupiter den 7 december 1995 och gick då in i bana runt planeten. 5 månader tidigare, den 13 juli 1995 hade den mindre mätsonden släppt från modersonden och påbörjat sin resa ner i Jupiters atmosfär. Mätsonden hade ingen egen raket utan färdas i fritt fall mot planetytan. Galileos huvudsond sattes i en komplicerad elliptisk omloppsbana runt Jupiter för att i detalj studera de galileiska månarna.

Mätsondens observationer av Jupiters atmosfär



Mätsondens planerade färd ner i Jupiters atmosfär (Bild: NASA)

4 timmar efter huvudsondens ingång i omloppsbanan runt Jupiter börjar sonden ta emot data från mätsonden. Denna far med en mycket hög hastighet (170 000 km/h) in i de övre delarna av Jupiters atmosfär. Medan sonden sjönk igenom 150 kilometer av den övre delen av atmosfären, sände den under drygt 57 minuters tid stora mängder data. Med sina instrument mätte sonden t.ex. strålning, temperatur, tryck, vindar och atmosfärens sammansättning av olika grundämnen. En värmesköld skyddade mätsonden och bidrog till en kraftig inbromsning av sonden innan den 2,5 meter stora fallskärmen vecklades ut. Hastigheten minskade från 170 000 km/h till 40 km/h på endast 3 minuter. Värmeskölden som skyddat mätsonden lossas och sonden sjunker allt djupare ner i Jupiteratmosfären. Sändningen upphörde först när det atmosfäriska trycket översteg 22 bar och temperaturen 152 grader Celsius, då elektroniken inte längre klarade att sända. Då befann sig sonden ca 200 kilometer ovanför de översta molnlagren på Jupiter[4] .

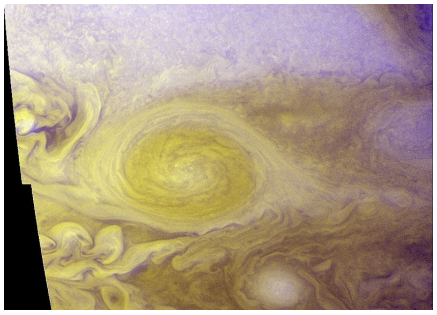


Galileo anländer till Jupiter (Illustration: NASA)

Huvudsondens observationer av Jupiter och dess månar

Galileo kretsade totalt 34 hela varv runt Jupiter och passerade ett flertal gånger de fyra stora månarna Io, Europa, Ganymedes och Callisto för att studera dessa mer i detalj. Ibland var rymdsonden endast några hundra kilometer från månarna Io och Europa. Instrument på Galileo undersökte månarnas yta och förhållanden i övrigt. Rymdsonden passerade på nära håll Io totalt 7 gånger, Callisto 8 gånger, Ganymedes 8 gånger och Europa 11 gånger samt den mindre Jupitermånen Amalthea 1 gång[5] .

Vetenskapliga resultat[4]



Storm på Jupiter (Bild: NASA)

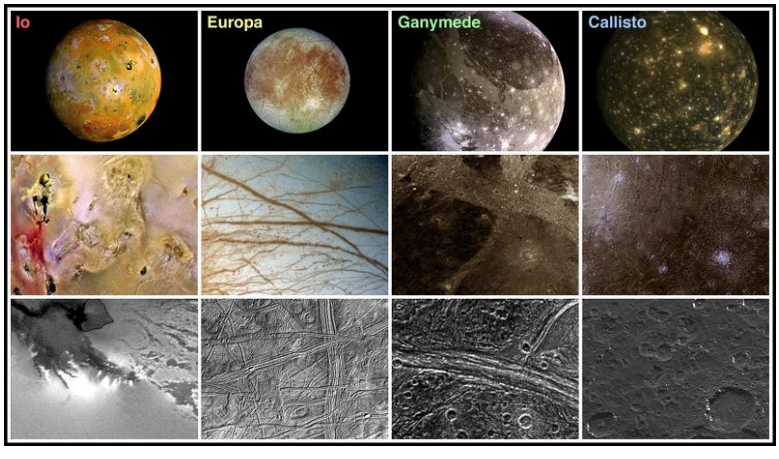
Jupiter

Rymdsonden Galileos observationer visade att planetens ringsystem har formats av damm som skapats när de fyra små inre Jupitermånarna träffats av meteoriter. Galileo påvisade också att det rör sig om flera separata ringar. Studier av Jupiters stora röda fläck visade att den består av molnstrukturer på olika nivåer i Jupiteratmosfären. Fläcken roterar moturs med en period på ungefär sex dagar[15] . Jupiters atmosfär är mycket turbulent och mätsonden mätte upp vidhastigheter på 650 km/h. Energikällan till dessa kraftiga vindar tycks vara Jupiters inre värme och inte solens värme såsom på jorden. Undersökningen av Jupiters molnlager visade på en mindre komplex struktur än förväntat, vilket överraskade forskarna. En förklaring kan vara att mätsonden råkade passera en s.k varm fläck i Jupiteratmosfären som var mer molnfri än normalt. Detta skulle också kunna förklara varför mängden vatten var mindre än väntat. Galileo noterade åskväder på Jupiter med blixtar som är 1 000 gånger kraftigare än på jorden. Antalet åskväder var dock mindre än vad man tidigare trott[3] .

Mätningar visade att den kemiska sammansättningen i Jupiters atmosfär, vad gäller förekomsten av väte och helium, är nästan identisk med solens. Det visar på att planeten utvecklats ur solnebulosan. Galileo upptäckte en del tunga grundämnen som förekom i större omfattning än i solen, vilket överensstämde med teoretiska beräkningar av hur Jupiters gravitation dragit till sig dessa ämnen under de miljarder år planeten funnits. En överraskande upptäckt var att förekomsten av ädelgaserna argon, krypton och xenon var tre gånger större än i solen. Orsaken till detta är föremål för omfattande forskning och kan påverka synen på hur planeter, s.k exoplaneter, bildas kring andra stjärnor[15] . Rymdsondens observationer av Jupiters magnetosfär visade att den bestod av materia som framförallt skapades av vulkanutbrott på Jupitermånen Io. Ett kraftigt radioaktivt bälte upptäcktes också ca 50 000 km över Jupiters molntoppar.

När rymdsonden Cassini passerade Jupiter år 2000 var det första gången som någon planet studerats samtidigt av två rymdsonder.

Io



Galileos fotografier och andra observationer visade på en mycket kraftig vulkanisk aktivitet på Io, som ständigt omformar månens yta. Galileo observerade i detalj ett stort antal vulkanutbrott, som visade att Io är den mest vulkaniska himlakroppen i solsystemet[3] . Vulkanutbrotten är mycket långlivade och rökmoln från vulkaner kan nå drygt 200 kilometers höjd från månytan, vilket kräver mycket stora krafter. Detta har fått forskarna att misstänka att Io:s vulkaniska aktivitet på ett grundläggande sätt skiljer sig från den som förekommer på jorden och kan liknas vid gejsereruptioner. Vulkanismen kan vara 100 gånger större än på jorden. Lavaströmmarna är också avsevärt större och varmare än på jorden och tros likna de som förekom för mer än 3 miljarder år sedan på jorden. Galileos mätningar visade att lavan består av magnesium och järn[15] . Mätningarna av Jupiters magnetfält visade att Io

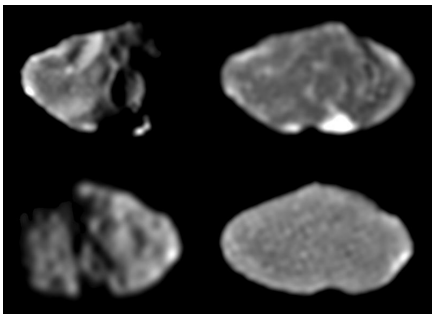
påverkas av mycket kraftig elektrisk ström. Rymdsondens undersökningar visade också att Io eventuellt genererar ett eget magnetfält samt att Io:s plasma flyter på månytan i riktning mot polerna. Galileos samlade observationer av Io antyder att månen har en järnkärna som upptar ungefär halva diametern.

Europa

Galileos fotografier av Europa visar en relativt jämn yta där höga berg helt saknas. Bilderna visar inte heller någon stor förekomst av kratrar. Det antyder att Europa har varit föremål för en omfattande geologisk aktivitet. Månen kännetecknas av att den är överkorsad med sprickor och förkastningszoner. Observationerna visade på bevis för teorin om att det finns flytande oceaner under månens isiga yta. Det finns också indikationer på vulkaniska isflöden med flytande vatten på själva ytan. Europa har en kärna av järn samt en tunn atmosfär som består av syre, som sannolikt skapas av Jupiters magnetosfär. Förekomsten av oceaner och syre gör att forskarna tror att encelliga organismer kan ha utvecklats i vattnet. Detta var det främsta skälet till att NASA medvetet sände ner Galileo mot Jupiters yta för att undvika att sonden förorenade Europa med bakterier från jorden[15] .

Ganymedes

Galileos observationer av Ganymedes visade att månen, liksom Europa, tycks ha ett flytande saltvattenlager under isytan och ha en kärna av järn. Månens yta har formats genom hög tektonisk aktivitet. Bilderna från Galileo visade en yta som liknar den som vi kan se på månen, med ett stort antal kratrar med stora mörka och ljusa partier på månytan. Ganymedes har en tunn atmosfär och forskarna upptäckte att Ganymedes genererar en egen magnetosfär, som t o m är något större än planeten Merkurius magnetosfär. Rymdsonden fann att Ganymedes magnetfält samverkar med Jupiters magnetfält och skapar elektriska strömmar[15] . Även Ganymedes har en kärna av järn, som dock relativt sett är mindre än Ios och Europas. Kring månen finns också ett mindre strålningsbälte som påminner om jordens Van Allen-bälte.



Amalthea fotograferad från Galileo (Bild: NASA)

Callisto

Rymdsondens observationer visade lite oväntat att månen Callisto är den mest förbryllande av de fyra galileiska månarna. Månens yta skiljer sig från de tre andra galileiska månarnas. Den har påverkats av kraftig erosion, som man inte vet orsaken till. Callisto är täckt av otaliga stora kratrar, medan de små kratrarna tycks ha eroderat bort. Callistos yta är täckt av mörk materia. Forskarna vet inte hur den uppkommit och spridit sig över månens yta. Även Callisto tycks ha ett magnetfält, som även den är svår att förklara utifrån resultatet av Galileos observationer. Callistos kärna består huvudsakligen av is och sten. Månen har en tunn atmosfär[15] .

Amalthea Mot slutet av rymdsondens uppdrag beslöt NASA att Galileo även skulle studera en av de mindre Jupitermånarna, Amalthea. Det skulle bli rymdsondens sista förbiflygning av Jupitermånarna. Trots mycket kraftig strålning i Jupiters närhet lyckades sonden genomföra undersökningar av Amalthea. Månen passerades på ett avstånd av 160 km. Fotografier visade en måne av sten med oregelbunden form. Månen är avlång och dess yta är fylld av kratrar.

Efter passagen av Amalthea påbörjades förberedelserna av Galileoprojektets avslutning.

Se också Jupiters naturliga satelliter om Jupiters samtliga månar.

Galileos uppdrag avslutas

Målet med Galileo-projektet var att under två år studera Jupiter och dess månar. Under denna tid hade Galileo klarat Jupiters ogästvänliga miljö över förväntan och fick därför fortsätta sitt uppdrag i ytterligare nästan 6 år. Uppdraget slutfördes år 2003, nästan 14 år efter uppskjutningen. Den 21 september klockan 11:57 Pacific Daylight Time (PDT), eller 18:57 Greenwich Mean Time (GMT), dök sonden ner i Jupiters täta atmosfär. Åtgärden var planerad i syfte att minska risken för en kollision med månen Europa. Galileo färdades med en hastighet på 48,2 kilometer per sekund ner i Jupiteratmosfären[5] .

Under de närmare åtta år som Galileo utförde observationer förändrades vår kunskap om Jupiter och dess månar på ett mycket omfattande sätt. Under rymdsondens 14 år sände den totalt 30 GB data, inklusive 14 000 bilder. Totalt färdades rymdsonden 4 631 miljoner kilometer[5] .

Galileoprojektets nuvarande, och ett flertal tidigare, forskare var närvarande vid JPL i Pasadena, Kalifornien för att ta farväl av farkosten. "Vi har inte förlorat en rymdfarkost, vi har tagit ett steg på vägen in i framtiden för utforskning av rymden", sa Dr. Torrance Johnson, chefsforskare i Galileoprojektet.

Uppdraget en stor framgång trots många tekniska problem

På rymdsondens färd mot Jupiter uppstod en rad allvarliga problem med den tekniska utrustningen. Först uppstod problem med sondens huvudkamera, som teknikerna lyckades reparera genom fjärrmanövrering så att kamerans dator hela tiden omprogrammerades. Därefter blev det problem med bandspelaren. Även detta problem löstes, men fick som effekt en kraftigt försämrad lagringskapacitet. Det allvarligaste problemet uppstod när sondens paraplyliknande huvudantenn skulle vecklas ut. Delar av antennen fastnade vilket innebar att antennen inte fungerade. Därför blev man tvungna att använda reservantennen istället, som hade en betydligt lägre förstärkning av signalen. Genom omprogrammering av IT-systemen i utrustningen kunde rymdsonden trots lägre kapacitet sända nödvändiga data till jorden. Det var också problem med bränsleläckage vilket innebar att justeringar gjordes i sondens omloppsbana för att spara bränsle och istället utnyttja dragningskraften från Jupiters månar maximalt.

De tekniska problemen kunde bemästras och rymdsondens uppdrag fullföljas. Galileo-projektet anses allmänt som en av NASA:s största forskningssuccéer [3] . I princip alla de vetenskapliga mål som hade satts upp för projektet uppnåddes.

Vetenskaplig betydelse

Galileo-projektet har haft en stor betydelse för planetforskningen och för astronomisk forskning i stort. Det var den första rymdsonden som mer systematiskt utforskade någon av de yttre planeterna och dess månar i vårt solsystem. Projektet innebar också starten för ett flertal obemannade rymdfärder till andra planeter. Rymdsonden bidrog till att kunskapen om Jupiter och dess månar ökade i och med att dess observationer gav svar på en mängd frågor som forskningen om solsystemet ställt. Ett flertal resultat bekräftade tidigare studier av Jupitersystemet, men Galileos observationer gav också många överraskande resultat som gav upphov till nya frågor som kräver fortsatt forskning.

Se även

- Galileo Galilei
- Jupiter
- Jupiter (mytologi)
- Jupiters naturliga satelliter
- NASA
- Rymdsond
- Solsystemet

Referenser

[1] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=1989-084B

[2] http://www2.jpl.nasa.gov/galileo/

[3] Meltzer, M: *Mission to Jupiter - a history of the Galileo project*, NASA History Division, Washington, 2007

[4] NASA: *NASA_Fact_Sheet.pdf*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena

[5] NASA: http://solarsystem.nasa.gov/galileo", *(läst 2011-02-27)*

[6] NASA: http://www.solarviews.com/eng/pn10-11.htm", *(läst 2011-02-27)*

[7] NASA: http://voyager.jpl.nasa.gov/science/jupiter.html", *(läst 2011-02-27)*

[8] NASA: http://ulysses.jpl.nasa.gov/science/jupiter.html", *(läst 2011-02-27)*

[9] Space Today Online: http://www.spacetoday.org/SolSys/Jupiter/JupiterCassini.html", *(läst 2011-02-27)*

[10] NASA: http://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/news/jupiter_system.html", *(läst 2011-02-27)*

[11] NASA, *The Galileo Project Information* (http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/galileo.html), (läst 2011-02-27)

[12] Fischer, D: *Mission Jupiter - a spectacular journey of the Galileo spacecraft*, New York, 2001

[13] Harland, D: *Jupiter Odyssey - The story of NASA:s Galileo Mission*, Cornwall, 2000

[14] Martin T. Z. (1994): *Shoemaker-Levy 9: Temperature, Diameter and Energy of Fireballs*, DPS meeting #28, Bulletin of the American Astronomical Society, v. 28, s. 1085

[15] Freedman,R och Kaufmann, W: *Universe*, 2008

Vidare läsning

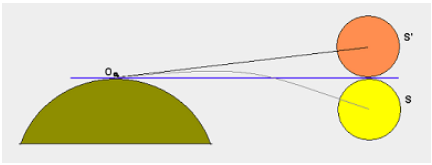
- Fischer, D: *Mission Jupiter - a spectacular journey of the Galileo spacecraft*, New York, 2001
- Freedman,R och Kaufmann, W:*Universe*, New York, 2008
- Harland, D: *Jupiter Odyssey - The story of NASA:s Galileo Mission*, Cornwall, 2000
- Meltzer, M: *Mission to Jupiter - a history of the Galileo project*, NASA History Division, Washington, 2007
- NASA: *NASA_Fact_Sheet.pdf*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena

Externa länkar

- NASA - Solar System Exploration (http://sse.jpl.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Jupiter)
- NASA - Solar System Exploration: Galileo (http://galileo.jpl.nasa.gov)
- Solarviews (http://www.solarviews.com/eng/galileo.htm#pr)
- Rymdportalen (http://www.rymdportalen.com/?page=rymdfart)
- Robotbyn (http://www.robotbyn.se/rymdfart/rymdsonder/index.php)

Astronomiportalen — portalen för astronomi på svenskspråkiga Wikipedia.

Atmosfärisk refraktion



Atmosfärisk refraktion är den refraktion som sker när ljus passerar genom atmosfären, på grund av troposfärens inverkan.

Ljuset böjs så att det ser ut som om objektet som ljuset kommer ifrån ligger på en annan punkt än vad det egentligen gör. Detta fenomen har störst inverkan närmast horisonten och vid zenit så existerar det inte alls. Det här påverkar också antalet soltimmar man får per dygn, speciellt vid polerna[1] .

Exempel på matematiska modeller för korrektion av atmosfärisk refraktion är Hopfields och Saasatamoinens atmosfärsmodeller.

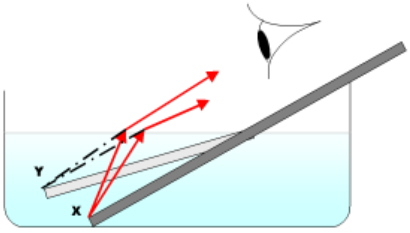
En bild på fullmåne som går ner bakom jorden. Längst ner ser det ut som månen är ihoptryckt, detta är ett resultat av atmosfärisk refraktion.

Värden

Den atmosfäriska refraktion är noll vid zenit, mindre än 1 bågminut vid 45° höjd, fortfarande bara 5.3 bågminuter vid 10° höjd, men sedan ökar den kraftigt när man närmar sig horisonten. Vid horisonten är refraktionen cirka 34 bågminuter, bara lite större än solens diameter. Refraktionen påverkas också av temperatur och tryck i atmosfären. Värdena som är givna ovan är för temperaturen 10 °C och 101.3 kPa. För temperaturen gäller: lägg till 1% på refraktionen för varje 3 °C kallare det blir och dra bort om det blir varmare istället. För trycket gäller: lägg till 1% på refraktionen för varje 0.9 kPa högre trycket blir och dra bort om trycket minskar.[2] Det här gör till exempel att det är meningslöst att försöka säga exakt när solen går upp och ner då det beror på vädret, ett lagom avrundningsvärde är en bågminut.

Hopfields atmosfärsmodell

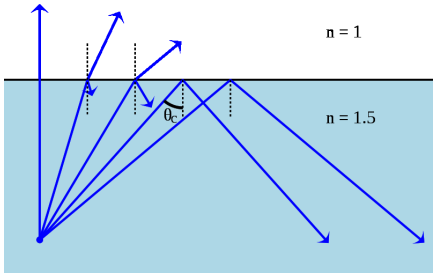
Hopfields atmosfärsmodell är ett av sätten man kan använda för att räkna ut hur stor den atmosfäriska refraktionen är vid ett visst tillfälle. För att göra det används skalningsparametrar. Som nämndes tidigare så påverkar värme, tryck och luftfuktighet den atmosfäriska refraktionen. Det som påverkar mest är luftfuktigheten, därför blir det bäst resultat om man mäter vid torr luft. Det blir också svårare att använda den om objektet har låga elevationsvinklar.[3]



Pennan ser ut att ligga längre fram i skålen än vad den gör.

Andra typer av refraktion

Det finns andra typer av refraktion som är betydligt mer synliga och lättare att förstå för oss människor än den atmosfäriska refraktionen. Det här kan man själv se genom ett väldigt enkelt experiment. *Lägg ett mynt i en kopp mot ena kanten, gå iväg någon meter från koppen och ställ dig på en sådan höjd så du inte ser botten eller myntet. Be nu en kompis att hälla på vatten och håll huvudet stilla, efter ett tag ser du myntet, ljuset har böjts runt koppens kant.*[4] Ett annat exempel på detta är om du ligger och snorklar och kollar lite snett uppåt, så ser du inte ovanför ytan, utan någon meter framför dig, för ljuset där har brutits ner framför dig. Även ljud kan refrakteras.



Om du står under vatten och ska ser uppåt ser du rakt upp ovanför ytan, men desto mer du kollar åt något håll så ser du mindre och mindre över ytan tills du inte ser något alls, detta sker med vatten och luft vid ca 40-45°

Se även

- Refraktion
- Troposfär
- Brytningsindex
- Internationella standardiseringsorganisationen

Källor

[1] Doody, Dave. ”Electromagnetic Phenomena” (http://www2.jpl.nasa.gov/basics/bsf6-6.php). . Läst 2010-12-10.

[2] Schaefer, Bradley E., and William Liller: *Refractions near the horizon vol. 102*, Astronomical Society of the Pacific, 1990, sid. 796-805.

[3] Jämtnäs, Lars. ”Fältstudie av Internetdistribuerad nätverks-RT” (http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Rapporter-Publikationer/LMV-rapporter/Lmv-Rapport_2005_04_exjobb.pdf). Lars Jämtnäs & Linda Ahlm. . Läst 2011-01-19.

[4] Pålsgård, Jan: *Ergo Fysik*, Liber, 2000, sid. 109.

Artikeln är, helt eller delvis, en översättning från engelskspråkiga Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction).

Variabla stjärnor

Variabla stjärnor eller **variabler**, förr ofta **föränderliga stjärnor**, är stjärnor vars ljusstyrka varierar över tiden. Variabiliteten har ingen entydig orsak utan det finns flera olika tillstånd som kan orsaka ljusvariationer bland stjärnor. Variationerna har mycket brett spektrum både vad gäller deras amplitud och period. Variationerna kan också vara regelbundna, halvregelbundna eller oregelbundna. Många, troligen de flesta, stjärnor kan klassas som variabla vid en tillräckligt noggrann mätning. Solens energiutflöde varierar t.ex. med 0,1%[1] över den 11-åriga solfläckscykeln, vilket motsvarar en förändring i ljusstyrkan med en tusendels magnitud.

De mest extrema variabla stjärnorna är supernovorna som kan öka sin ljusstyrka med 20 magnituder [2] vilket motsvarar en ökning i ljusstyrkan med 100 miljoner gånger. Detta innebär att en supernova ensam kan lysa lika starkt som sin värdgalax. Det våldsamma supernovautbrottet innebär också slutet för stjärnan och kan därför bara uppträda en gång i dess liv. De flesta andra typer av variabilitet är däremot periodiskt återkommande, antingen med ett regelbundet eller oregelbundet tidsintervall.

Utifrån variabilitetens orsak eller stjärnans uppträdande klassificeras de variabla stjärnorna i många olika typer. Några av de viktigaste huvudgrupperna är:

- Pulserande variabler: Stjärnor som varierar pga. storskaliga vågrörelser i stjärnan, t.ex. att dess radie ökar och minskar. Pulserna kan vara av regelbunden eller halvregelbunden karaktär.
- Eruptiva variabler: Stjärnor som oregelbundet får våldsamma och plötsliga energiutbrott och snabbt kan ändra sin ljusstyrka. Ännu våldsammare är stjärnorna i undergruppen Kataklysmiska eller Explosiva variabler.
- Roterande variabler: Stjärnor vars yta har osymmetrisk ljusstyrka och som varierar i takt med stjärnans rotation.
- Förmörkelsevariabler: Dubbelstjärnsystem där stjärnorna har en sådan bana att de i siktlinjen från jorden passerar framför och förmörkar varann.

Inom varje huvudgrupp finns det många olika undergrupper.

En annan uppdelning är i Fysiska och Optiska variabler. Fysiska är stjärnor som ändrar sin ljusstyrka på grund av inre processer i stjärnan själv (Pulserande, Eruptiva). Optiska är stjärnor som bara skenbart på grund av geometriska effekter ser ut att variera (Roterande och Förmörkelsevariabler). Denna uppdelning är dock problematisk då variabilitet hos till exempel rotation- och förmörkelsevariablerna kan ha både optiska och fysiska orsaker.

Historik

De tidigast dokumenterade variabla stjärnorna vi känner till är novor och supernovor. Äldre kinesiska, japanska och koreanska källor har noterat förekomsten av cirka 80 "nya stjärnor" fram till år 1600.[2] Av dessa tros åtta ha varit supernovor och resten vanliga novor. Så har till exempel Krabbnebulosan, bland annat genom insatser av den svenske astronomen Knut Lundmark, kunnat identifieras som en rest efter den supernova som sågs av kinesiska och japanska astronomer år 1054.[3] [4]

I november 1572 upptäckte Wolfgang Schuler en ny stjärna i stjärnbilden Cassiopeia. Tycho Brahe studerade den nya stjärnans ljusstyrka och gjorde noggranna mätningar av dess position. Han publicerade 1573 *De Nova Stella* om sina observationer av den nya stjärnan.[5] I oktober 1604 upptäckte Johannes Kepler (och oberoende av honom David Fabricius) en annan ny stjärna i stjärnbilden Ormbäraren. Båda dessa stjärnor var supernovor i vår egen galax Vintergatan. Den från 1604 är dessutom den senast kända supernovan som synts i Vintergatan.

Fabricius upptäckte också 1596 den första periodiskt variabla stjärnan Omikron Ceti (Mira). Dess periodicitet upptäcktes 1638 av Johannes Holwarda. Stjärnan gavs namnet Mira av Johannes Hevelius i verket *Historiola Mirae Stellae* 1662. En mer exakt periodbestämning av 333 dygn presenterades av Ismael Boulliau i *Ad astronomos monita duo* 1667.[6]

Beta Persei (Algol) upptäcktes vara variabel 1669 av Geminiano Montanari och 1782-1783 gjorde John Goodricke en noggrann mätning av dess period och var den förste som föreslog en korrekt förklaring till dess variabilitet, att

stjärnan är vad vi nu kallar en förmörkelsevariabel.[7]

År 1600 upptäckte Willem Janszoon Blaeu P Cygni, en stjärna som först antogs vara en nova men nu klassas som en S Doradus-stjärna.[8] År 1670 upptäcktes en nova i stjärnbilden Räven av Anthelm, stjärnan har nu fått beteckningen CK Vulpeculae. 1686 upptäckte Gottfried Kirch att Chi Cygni var variabel.

Under 1700-talet upptäcktes sedan R Hydrae 1702 av Giacomo Maraldi; R Leonis 1782 av Julius August Koch; Beta Lyrae och Delta Cephei 1784 av John Goodricke; Eta Aquilae 1784, R Coronae Borealis och R Scuti 1795 av Edward Pigott; Alfa Herculis 1795 av William Herschel.

Under 1800-talet upptäcktes en mängd nya variabler, i en katalog sammanställd av George F. Chambers 1865[9] listas 123 variabler varav 23 upptäckta av John Russell Hind och 16 av Friedrich Argelander med kollegor vid Bonns observatorium. Takten ökade sedan ännu mer, speciellt sedan den fotografiska tekniken i början av 1900-talet togs i anspråk. 1907 var antalet kända variabler 3748 varav 1791 stycken i de Magellanska molnen, en majoritet av dessa, 2909, hade upptäckts vid Harvard College Observatory.[10]

Sternberginstitutet vid Moskvas universitet ansvarar tillsammans med Ryska Vetenskapsakademien för att under IAU upprätthålla den moderna huvudkatalogen över kända variabla stjärnor, General Catalogue of Variable Stars. Den fjärde upplagan, GCVS4, uppdaterad 2008, listar drygt 41000 kända variabla stjärnor i vår galax tillsammans med nästan 15000 misstänkta variabler och drygt 10000 variabler i andra galaxer.[11]

Observation av variabla stjärnor

I stort sett allt vi vet om stjärnor, deras uppkomst, fysiska egenskaper, utveckling och död, har vi fått fram genom att på olika sätt analysera den elektromagnetiska strålning i form av synligt ljus och inom andra våglängdsområden som når oss. Variabla stjärnor erbjuder ytterligare dimensioner inom stjärnfysiken för att förstå stjärnornas uppbyggnad. Bland annat ska ju våra stjärnmodeller kunna förklara alla de typer av variabilitet vi kan observera för att vara trovärdiga.

Den vanligaste formen av variabilitet är ändring av ljusstyrka i det synliga våglängdsområdet. Även variation i andra våglängdsband studeras, som ultraviolett och infrarött ljus. Variabiliteten kan också orsaka att stjärnans spektrum, temperatur och radialhastighet varierar. Genom att studera hur dessa förändringarna sker över tiden kan astronomer komma fram till vad som orsakar variabiliteten och öka förståelsen om stjärnors uppbyggnad och utveckling.

Ett ljuskurvediagram är ett kraftfullt verktyg för analys av variabla stjärnor. Det är ett diagram där ljusstyrkans förändring över tiden ritas in. Ur ljuskurvan kan bland annat följande information fås fram.

- Är ljusväxlingarna regelbundna, halvregelbundna, oregelbundna eller unika?
- Vilken form har ljusväxlingarna? Mjuka eller kantiga? Ökar ljusstyrkan lika snabbt som den avtar?
- Förekommer plötsliga toppar eller dalar i ljusstyrkan?

För regelbundna variabler används ljuskurvan också för att få fram ljusväxlingarnas period och amplitud, kvantiteter som dock kan variera för vissa stjärnor, för en del i ett längre tidsperspektiv, för andra från en period till nästa. Stjärnan sägs vara i maximum när den lyser som starkast och i minimum när den lyser som svagast.

Amatörastronomer kan utföra ett nyttigt vetenskapligt arbete genom att studera variabla stjärnor och rapportera in deras ljusstyrka till olika centrala variabelorganisationer. Till exempel samlar American Association of Variable Star Observers in observationer från deltagare runt om i världen och håller sedan sitt material tillgängligt för forskare och andra intresserade. Andra såna organisationer är den franska AFOEV (Association Francaise des Observateurs d'Etoile Variables) och brittiska BAAVSS (The British Astronomical Association, Variable Star Section).

Nomenklatur

Beteckningen för variabla stjärnor följer en standard som först etablerades av Friedrich Argelander. Ljusstarka stjärnor som redan hade en Bayer-beteckning innan de upptäcktes vara variabla har fått behålla denna, som Epsilon Aurigae. Övriga variabler betecknas med en bokstav och stjärnbildens latinska namn i genitivform. Den först upptäckta variabeln i stjärnbilden betecknas med R, nästa S och sedan T, U, V, W, X, Y och Z. Därefter upptäckta variabler betecknas med två bokstäver, RR, RS ... RZ, sedan SS, ST ... SZ. Efter ZZ betecknas de AA, AB ... AZ, sedan BB, BC ... BZ, till sista beteckningen som är QZ. Bokstaven J hoppas över i alla beteckningar. Detta ger totalt 334 kombinationer. Namngivarna gav sedan upp bruket av bokstäver och därefter används beteckningen V335, V336, V337 och uppåt. Exempel på beteckningar: U Orionis, RR Lyrae, V838 Monocerotis.

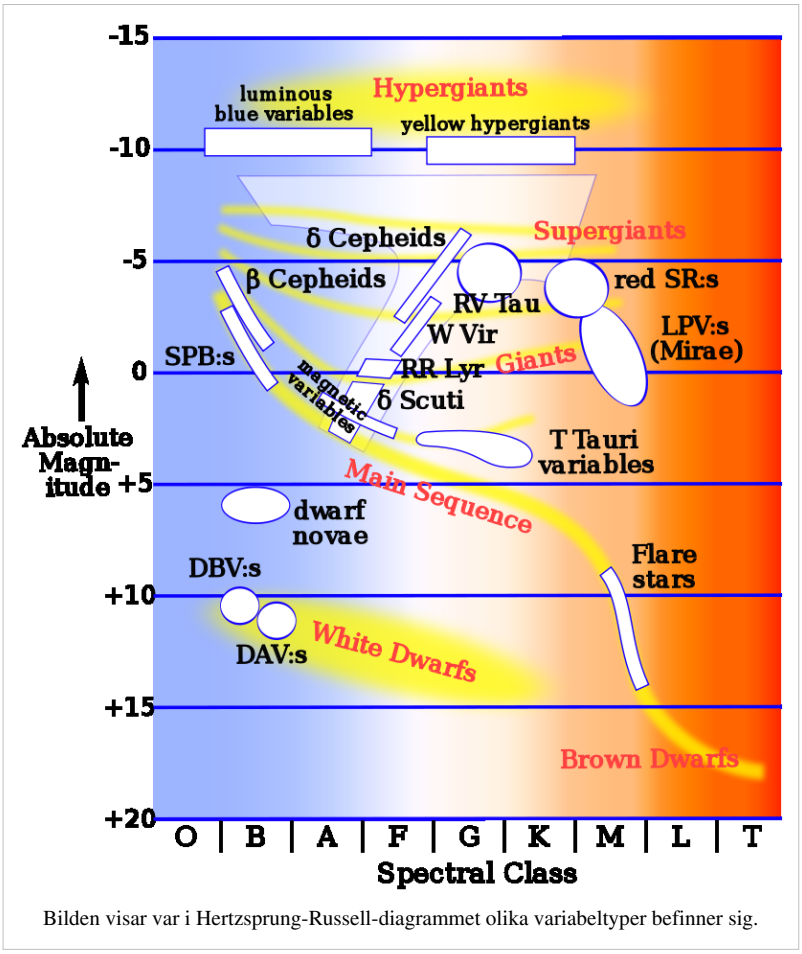
Nyupptäckta variabla stjärnor går igenom en process där det säkerställs att stjärnan verkligen är variabel, vilken variabeltyp den tillhör och andra egenskaper. Stjärnor som på detta sätt certifierats publiceras av IAU i så kallade *Information Bulletin on Variable Stars* och tas sedan upp GCVS-katalogen.[2]

Klassificering

GCVS4 delar in de variabla stjärnorna i följande huvudgrupper.[12]

1. Eruptiva variabler
2. Pulserande variabler
3. Roterande variabler
4. Kataklysmiska variabler
5. Förmörkelsevariabler
6. Variabla täta dubbelstjärnsystem som också är Röntgenkällor
7. Övriga typer

I följande avsnitt används klassificeringen i GCVS4 som grund.



Bilden visar var i Hertzsprung-Russell-diagrammet olika variabeltyper befinner sig.

Eruptiva variabler

Eruptiva variabler är ingen enhetlig grupp, utan i GCVS4 har man under denna kategori samlat variabeltyper med sinsemellan rätt olika egenskaper. Gemensamt är dock att de har en plötslig och oregelbunden karaktär. Det kan vara stjärnor som varierar i ljusstyrka på grund av våldsamma processer och flares på stjärnans yta, stjärnor som kastar ut massa i en skiva eller ett skal runt sig eller unga stjärnor som ännu inte nått huvudserien.

Stjärnor som kontraherar mot huvudserien

Detta är unga nybildade stjärnor, som ännu inte nått nollårslinjen på huvudserien. Dessa så kallade *pre-main sequence stars* eller PMS-stjärnor kan uppvisa många olika variabla beteenden som troligen alla stjärnor går igenom i sin första fas. De kan vara omgivna av rester av den nebulosa de bildades ur, som över tiden mer eller mindre kan skymma stjärnan. De kan vara omgivna av en insamlingsskiva med material som faller ner på stjärnan i en ojämn takt. Material som faller ner kan bilda heta fläckar på ytan, vilket får stjärnan att ändra ljusstyrka i takt med rotationen. Unga stjärnor har också en förhållandevis snabb rotation som tillsammans med stjärnans magnetfält kan orsaka solfläckar och flares.

Dessa variabler är särskilt vanligt förekommande i stjärnbildningsområdena i och runt stjärnbilden Orion och kallas därför också Orionvariabler. De är också vanliga i unga öppna stjärnhopar. Ett annat drag är starka absorptionslinjer av litium i deras spektrum som pekar på en halt 100 gånger eller mer än den i solen. Litium är ett ämne som snabbt fusioneras och är därför vanligt bara i unga stjärnor.

I GCVS4 är klassifikationen av dessa stjärnor rätt snårig, en modernare indelning med bara fyra klasser har föreslagits:[2]
CTTS: Klassiska T Tauri-variabler, som uppvisar en insamlingsskiva.
WTTS: *Weak-lined* T Tauri-variabler, som saknar insamlingsskiva.
HAEBE: Herbig Ae/Be-stjärnor.
FUOR: FU Orionis-variabler.

Klassiska T Tauri-variabler (CTTS)

GCVS-typ: INST, INST(YY), INT, INT(YY), IT.
Unga stjärnor av spektralklass Fe, Ge, Ke och Me. De karaktäriseras av speciella emissionslinjer i spektret som kommer från insamlingsskivan. Variabilitetens amplitud kan uppgå till ett par magnituder. Förändringarna kan ske på alla tidsskalor från minuter till år beroende på variabilitetens sinsemellan olika orsaker som nämnts ovan. Viss periodicitet kan förekomma men förändringarna är mest av oregelbunden karaktär.

I beteckningen betyder **T**: av T Tauri-typ, **N**: uppvisar nebulositet, **S**: har snabba variationer av 1 magnitud inom 1-10 dygn, **(YY)**: uppvisar tecken på infallande material.

Övriga T Tauri-liknande variabler (WTTS)

GCVS-typ: IN, IN(YY), INB, INS, INSB, INSB(YY).
Unga stjärnor av spektralklass F till M eller Fe till Me, men som saknar T Tauri-stjärnornas karaktäristiska emissionslinjer. Utvecklingsmässigt är de i fasen mellan de klassiska T Tauri-stjärnorna och nollårslinjen på huvudserien. Variabiliteten har ofta ett mer periodiskt uppträdande men med mindre amplitud än för de klassiska T Tauri-stjärnorna, antagligen beroende på stjärnfläckar och stjärnans rotation. Flares kan också förekomma.

I beteckningen betyder **B**: Orionvariabel av spektraltyp F-M, **N**: uppvisar nebulositet, **S**: har snabba variationer av 1 magnitud inom 1-10 dygn, **(YY)**: uppvisar tecken på infallande material.

Herbig Ae/Be-stjärnor

GCVS-typ: INA, INSA.
Unga stjärnor av spektralklass B, A, Be eller Ae. De är den massivare och luminösare motsvarigheten till de klassiska T Tauri-stjärnorna och återfinns i nebulösa stjärnbildningsområden. Variabilitet tros orsakas av förmörkelser av klumpar av överblivet material från stjärnbildningen.

FU Orionis-variabler (fuorer)

GCVS-typ: FU.
En sällsynt typ av orionvariablerna med bara 5 konstaterade och 9 misstänkta medlemmar i GCVS4. Under en period om några månader ökar de i ljusstyrka med upp till 6 magnituder och ligger sedan kvar på den högre nivån eller avtar bara ytterst sakta med ett par magnituder över en period av flera decennier. Ingen fuor har studerats så länge att den setts gå tillbaka till sin ursprungliga ljusstyrka. Beteendet tros bero på en stor plötslig ökning av inflödet av material från insamlingsskivan till stjärnans yta och misstänks kunna ske flera gånger under en stjärnas T Tauri-fas.

Bild på FU Orionis från Digitized Sky Survey.

Prototypstjärnan FU Orionis upptäcktes 1937 då den ökade från magnitud 16 till 9 på ett halvår, den har sedan dess sjunkit en magnitud fram till år 2010. Två svenskar har upptäckt varsin fuor. Den andra kända fuoren V1057 Cygni upptäcktes 1969 av Gunnar Welin, den var tidigare klassad som en T Tauri-stjärna. V733 Cephei upptäcktes på POSS-plåtar av Roger Persson 2004.

Massiva eruptiva blåvita stjärnor

Dessa stjärnor är de mest ljusstarka i sin värdgalax. Med sin stora massa och enorma luminositet ligger de nära Eddingtongränsen för den maximala storleken för en stjärna. Detta gör dem instabila med ett kaosartat beteende istället för att pulsera stabilt som lättare stjärnor.

S Doradus-variabler

GCVS-typ: SDOR.
Kallas även *luminous blue variables* (luminösa blåa variabler eller LBV-stjärnor) eller Hubble-Sandage-variabler (främst för variabler av denna typ upptäckta i M31 och M33). Detta är eruptiva hyperjättar som under tidsperioder av månader till decennier kan ändra sin ljusstyrka 1 till 7 magnituder. Dessa stjärnor är ofta omgivna av utstötta skal av gas och stoft, material som först kan öka stjärnans ljusstyrka för att sedan när stoftet kondenseras delvis skymma stjärnan.

Ett exempel är P Cygni som under 1600-talet fick flera utbrott. Ett annat exempel är Eta Carinae som fick ett stort utbrott 1843 och ett tag var den näst starkaste stjärnan på himlen med magnitud -0,8. Sedan bleknade den och var under 1900 till 1940 bara en stjärna av magnitud 8, den har därefter successivt åter ljusnat och hade under 2010 en magnitud mellan 4,5 och 5, ungefär så stark som när den först katalogiserades 1677.

Wolf-Rayet-variabler

GCVS-typ: WR.

Wolf-Rayet-stjärnor är massiva stjärnor som kännetecknas av mycket starka absorptionslinjer i sitt spektrum orsakade av massutflöde och en stark stjärnvind. Variationerna på upp till 0,1 magnituder tros orsakas av fluktuationer i massutflödet. Den ljusstarkaste WR-variabeln är Gamma2 Velorum.

Flarestjärnor

GCVS-typ: UV, UVN.

Flarestjärnor eller UV Ceti-stjärnor är huvudseriestjärnor av spektralklass Ke eller Me. Jämfört med solen är de lätta och ljussvaga stjärnor. De uppvisar oregelbundet och slumpmässigt plötsliga ljusökningar med upp till 6 magnituder. Ljusstyrkan kan nå maximum inom en eller ett par minuter och inom en timme kan stjärnan vara helt tillbaka på sin tidigare nivå. Ljusökningen är mest märkbar i kortare våglängder på grund av utbrottens höga temperatur. Utbrottens amplitud varierar och mindre utbrott är vanligare än större. Den troligaste orsaken till utbrotten är samma mekanism som orsakar flares på solen. Upplagrad energi i stjärnans magnetfält som frisläpps plötsligt i samband med att magnetfältets fältlinjer vrids, bryts och återkopplas. Detta är en svårobserverad variabeltyp som kräver lång och kontinuerlig bevakning.

Några av solens närmsta grannar är flarestjärnor till exempel den närmaste V645 Centauri (Proxima Centauri) och UV Ceti (Leuyten 726-8, det sjätte närmaste stjärnsystemet).

Undertypen **UVN** eller så kallade flash-stjärnor är unga stjärnor som ännu inte hunnit kontrahera till huvudserien och som uppvisar flare-beteende. Dessa har likheter med T Tauri-stjärnorna.

Be- och Gamma Cassiopeiae-stjärnor

GCVS-typ: BE, GCAS.

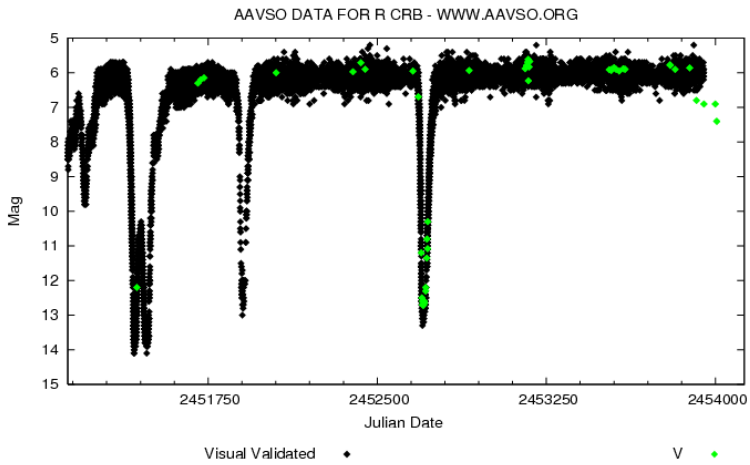
Detta är stjärnor av spektralklass Be (e står för emissionslinjer i spektret). Spektret varierar dock typiskt över tiden och ibland kan emissionslinjerna försvinna. Dessa stjärnor har mycket hög rotationshastighet, upp till 500 km/s vid ekvatorn.[2] Den höga hastigheten gör att material kan slungas ut från ekvatorregionen till en skiva eller ett skal runt stjärnan. Pulsering i stjärnan kan också bidra till att material stöts ut och stjärnan varierar.

BE: Har småskaliga och snabba variationer, mest tydligt i deras spektrum. Variationen beror troligtvis mest på rotations- och pulseringseffekter.

GCAS: Be-stjärnor med massutkast. De kan variera med upp till 1,5 magnituder. Prototypstjärnan Gamma Cassiopeiae fick 1937 ett utbrott och ljusnade till magnitud 1,5, sjönk till 2,2 i slutet av 1937, fortsatte att sjunka till 3,0 år 1940 och har sedan dess sakta ökat till mellan 2,1 och 2,2 år 2010. Delta Scorpii upptäcktes vara en GCAS-stjärna först år 2000 då amatörastronomen Sebastian Otero lade märke till att den ökat i ljusstyrka. Den nådde magnitud 1,6 år 2003, 2005 hade den gått tillbaks till sin ursprungliga nivå på 2,3 och har 2005-2010 pendlat mellan 2,3 och 1,8.

R Coronae Borealis-variabler

GCVS-typ: RCB.



Ljuskurva från AAVSO över R CrB. Diagrammet visar kurvan för Julianskt datum mellan 2451000 och 2454000 (motsvarar datum 1998-07-05 till 2006-09-26). Svarta punkter är visuella observationer, gröna fotometriska.

En liten och märklig grupp, i GCVS4 finns bara drygt 40 konstaterade eller misstänkta medlemmar. De är luminösa jättestjärnor med låg halt av väte och med ovanligt hög halt av helium och kol i sin atmosfär. Normalt lyser de med nästan konstant ljusstyrka men kan plötsligt och oregelbundet falla 1 till 9 magnituder. Minimet kan vara från en månad till flera år. Den troligaste förklaringen till beteendet[2] är att dessa stjärnor är långt utvecklade AGB-stjärnor som kastat av sig sitt yttre väterika skal och blottlagt sitt helium- och kolrika inre. Minimum tror man inträffar då moln av kol stöts ut och senare kondenseras till sot som blockerar ljuset tills dess molnet skingras. Dessa stjärnor kan också pulsera oregelbundet med en amplitud på upp till 0,5 magnituder och en period av 30 till 100 dagar. Exempel är SU Tauri och R Coronae Borealis som från juli 2007 fick ett ovanligt långt minimum som i början av 2011 fortfarande pågick. Stjärnan lyser normalt med magnitud 6 och i sitt minimum med magnitud 14 till 15.

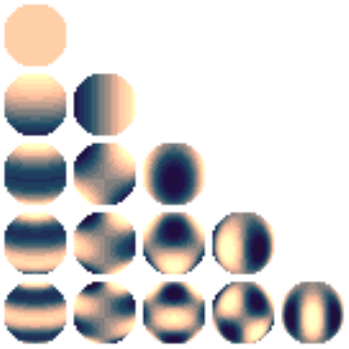
RS Canum Venaticorum-variabler

GCVS-typ: RS.

Detta är stjärnor i ett tätt dubbelstjärnsystem som uppvisar hög aktivitet i kromosfären och koronan genom emissionslinjer av kalcium, väte och kalium. Flera av dem är också förmörkelsevariabler och vissa är röntgen- och radiokällor. RS CVn-stjärnorna uppvisar också en sinusformad ljuskurva med en amplitud upp till 0,2 magnituder och en period som ligger nära, men inte exakt på omloppstiden.

Dessa effekter tolkas som att stjärnornas snabba omloppstid genom tidvattenkrafter har snabbat upp deras rotation. Detta genererar i sin tur starka magnetfält, vilket orsakar aktiviteten i atmosfären och stora områden med solfläckar. Fläckarna tros orsaka variationen på 0,2 magnituder i takt med stjärnans rotation och att de förflyttar sig över ytan.

Pulserande variabler



Exempel på hur ytan på en stjärna kan svänga vid icke-radiell pulsering.

Stjärnor som varierar i ljusstyrka genom att hela stjärnan pulserar. Inte olikt luften i en orgelpipa svänger stjärnan i en stående våg med sin egenfrekvens. Stjärnan kan svänga med olika moder, i sin grundton och olika övertoner. Svängningarna kan vara antingen radiella (då hela stjärnan dras samman och utvidgas) eller icke-radiella. Icke-radiella vågor kan vara tryckvågor eller transversella svängningar (då olika delar av stjärnans yta buktar in och ut). De radiella svängningarna ger de största förändringarna i ljusstyrka.

För att inte svängningen ska dö ut måste det finnas en mekanism i stjärnan som ständigt tillför mekanisk energi vid rätt tidpunkt i svängningsfasen. Denna mekanism är i allmänhet ett gaslager på lagom djup under stjärnans yta som har den egenskapen att det blir mer ogenomskinligt vid högre kompression. Detta lager absorberar då strålning från kärnreaktionerna i stjärnans inre vilket orsakar utåtriktat tryck som får stjärnans hölje att expandera. När stjärnan expanderar blir det hindrande gaslagret svalare och mer genomskinligt vilket släpper igenom den innestängda strålningen. Eftersom trycket som orsakade expansionen då är borta drar stjärnan ihop sig igen vilket återigen ökar trycket och minskar genomskinligheten i gaslagret och processen börjar om på nytt. Arthur Eddington[13] var 1917 den som först föreslog en sån mekanism som en förklaring till cepheidernas variabilitet.

Vilken typ av gas som orsakar dessa effekter varierar mellan olika typer av pulserande stjärnor. Det är osäkert om det i sig är tillräckligt att ett gaslager med rätt sammansättning och temperatur finns på rätt djup i en stjärna för att den ska börja pulsera, men vi hittar alltid pulserande stjärnor av en viss typ på samma ställe i HR-diagrammet där dessa egenskaper är uppfyllda, till exempel instabilitetsområdet för cepheiderna.

Cepheider

GCVS-typ: CEP, CEP(B).
Cepheiderna är en viktig grupp variabler som används som standardljus för avståndsbestämning inom vår galax och till andra närbelägna galaxer. Dessa stjärnor har en korrelation mellan logaritmen av sin period och sin absoluta magnitud. Denna upptäckt gjordes av Henrietta Leavitt[14] 1908 då hon undersökte variabler i det Lilla Magellanska molnet. Då dessa stjärnor befann sig på ungefär samma avstånd kunde hon härleda att de starkare hade längre period. Denna egenskap användes av Edwin Hubble 1924 för att bestämma avståndet till Andromedagalaxen.[15] Svårigheten med att kalibrera period/luminositets-förhållandet och att det finns två typer av cepheider (vilket var okänt vid den tiden) gjorde dock att han fick ett kortare avstånd än dagens accepterade värde.

Den fysiska orsaken till cepheidernas pulserande är skillnaden i genomskinlighet hos enkelt och dubbelt joniserat helium. Dubbelt joniserat helium som uppstår vid högre temperatur har högre opacitet och skapar det tryck som driver pulserandet. När stjärnan ökar sin radie svalnar den samtidigt och heliumet rekombinerar sig till enkelt joniserat som har lägre opacitet vilket släpper igenom mer strålning. Trycket i stjärnan minskar och den faller ihop.

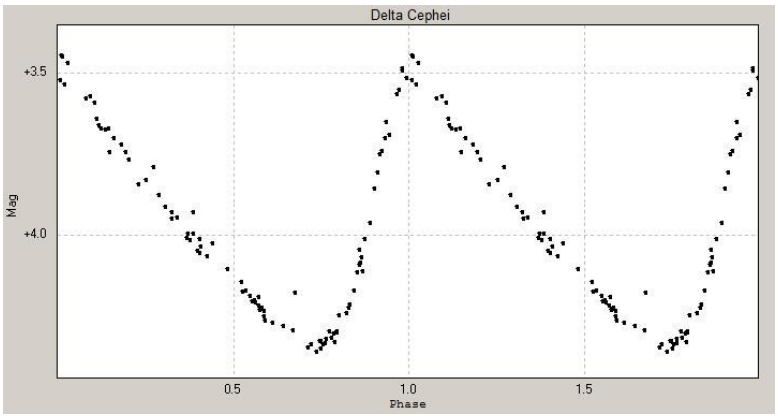
Cepheiderna är ljusstarka stjärnor 100-tals till 10000-tals gånger luminösare än solen. Stjärnan varierar också i temperatur. Högst temperatur har stjärnan då radien är som minst. Störst ljusstyrka i pulsfasen inträffar ungefär när den utåtriktade hastigheten är som störst, halvvägs från minimal till maximal radie. Minst blir ljusstyrkan när stjärnan är halvvägs mellan maximal och minimal radie. Radien kan fysiskt variera inom gränserna 2-20% för en cepheid.

I HR-diagrammet återfinns cepheiderna i den övre delen av det så kallade instabilitetsområdet.

I GCVS4 klassificeras cepheider där man inte känner till undertypen som CEP och CEP(B). Ändelsen (B), "beat cepheider", betecknar cepheider som pulserar i flera moder, vanligen grundtonen och första övertonen.

Klassiska cepheider (Delta Cephei-variabler)

GCVS-typ: DCEP, DCEPS, DCEP(B).
Detta är relativt unga och massiva stjärnor som lämnat huvudserien och migrerat in i instabilitetsområdet i HR-diagrammet. De hittas främst i Vintergatans skiva och i öppna stjärnhopar. Perioden kan variera från drygt 1 till över 100 dygn, med majoriteten inom 4-12 dygn. Amplituden kan variera från några hundradels magnituder till över 1 magnitud. Alfa Ursae Minoris (Polstjärnan) är den cepheid som ligger närmast jorden och även en av de med minst amplitud. Andra exempel är prototypstjärnan Delta Cephei och Eta Aquilae



Fasdiagram för Delta Cephei, en typisk klassisk cepheid som varierar inom 3,5-4,4 magnituder på 5,4 dygn

Undertypen **DCEPS** är en grupp som har symmetrisk ljuskurva med en amplitud under 0,5 magnituder och en period under 7 dygn. De pulserar troligen i sin första överton.

Typ II cepheider (W Virginis-variabler)

GCVS-typ: CW, CWA, CWB.
Detta är äldre och lättare stjärnor än de klassiska cepheiderna. Typisk massa är 0,5 solmassor. Vanligtvis är de population II-stjärnor som återfinns i Vintergatans halo och i klotformiga stjärnhopar. Då deras uppträdande är snarlikt de klassiska cepheidernas dröjde deras upptäckt till 1952 då Walter Baade fann att det finns två typer av cepheider.[16] Det finns några karaktäristiska egenskaper i de två typernas spektrum och ljuskurva som skiljer dem åt, men klassificeringen är fortfarande osäker i vissa fall. Typ II cepheiderna har en period på 0,8 till 50 dygn, med majoriteten inom 2-20 dygn. Amplituden ligger på 0,3 till 1,5 magnituder. Deras absoluta magnitud är 0,7 till 2 magnituder lägre än en klassisk cepheid med samma period.

Undertypen **CWA** har en period av över 8 dygn.
Undertypen **CWB** (BL Herculis-stjärnor) har en period under 8 dygn.

Cepheidliknande variabler

Variabeltyper som finns inom cepheidernas instabilitetsområde i HR-diagrammet och som drivs av samma mekanism (jonisation av helium) men som inte uppvisar cepheidernas karaktäristiska period/luminositets-förhållande.

RV Tauri-variabler

GCVS-typ: RV, RVA, RVB.
RV Tauri-stjärnorna är en heterogen grupp stjärnor vars natur inte är fullt förstådd. Troligen är det gamla stjärnor som är i slutet av sina liv. De varierar karaktäristiskt med omväxlande djupa och grunda minima. Perioden, som räknas från ett djupt minimum till nästa, kan variera mellan 30 och 150 dygn. Ljusstyrkan kan variera med 3 till 4 magnituder. Spektralklassen kan variera från F till G vid maximum och från K till M vid minimum. De strålar också starkt i infrarött ljus, troligen från stoft som stötts ut från stjärnan.

Undertypen **RVA** har en konstant medelmagnitud. Exempel är R Scuti och AC Herculis.
Undertypen **RVB** har en varierande medelmagnitud av upp till 2 magnituder och en period av 600 till 1500 dygn. Exempel är RV Tauri och U Monocerotis.

RR Lyrae-variabler

GCVS-typ: RR, RR(B), RRAB, RRC.

Detta är en homogen grupp bestående av äldre population II-stjärnor med en massa av 0,5-1,0 solmassor. Utvecklingsmässigt är detta stjärnor som gjort slut på sitt väte i kärnan och nu bränner helium. De befinner sig i ett ganska litet område inom instabilitetsområdet i HR-diagrammet, mellan huvudserien och de egentliga cepheiderna. De är mycket vanligt förekommande i vissa klotformiga stjärnhopar och kallas därför också klustervariabler. De förekommer också i Vintergatans halo, men är inte vanliga i Vintergatans skiva.

Alla RR Lyrae-stjärnor har ungefär samma absoluta magnitud och är därför viktiga standardljus för att bestämma avstånd inom Vintergatan och dess närhet. Värdet på den absoluta magnituden är fortfarande under debatt. Värden på +0,1 till +0,9 har föreslagits. Värdet tros också variera med stjärnornas metallicitet på så sätt att stjärnor med låg metallicitet är ljusstarkare. Mest accepterat är ett värde på +0,6 ±0,2 beroende på metallicitet.[2]

RR Lyrae-stjärnornans period varierar mellan 0,2 och 1,2 dygn med ett medianvärde på 0,5. Förändringar i perioden är inte ovanliga. Amplituden är upp till 2 magnituder. Spektralklass från A5 till F5.

Undertypen **RRAB** pulserar i sin grundton, har en ljuskurva som stiger snabbt mot maximum och har en högre amplitud än RRC.
Undertypen **RRC** pulserar i sin första överton, har en sinusformad ljuskurva med en amplitud på max 0,8.
Undertypen **RR(B)** pulserar både i sin grundton och första överton.

Ungefär 20-30% av RRAB och 5% av RRC-stjärnorna[17] uppvisar den s.k. Blazhko-effekten, där ljuskurvans form och amplitud varierar från en period till nästa.

Delta Scuti-liknande variabler

Detta är stjärnor på eller strax ovanför huvudserien där denna korsas av cepheidernas instabilitetsområde. De har kortare period, lägre amplitud och lägre luminositet än RR Lyrae-stjärnorna. Då detta är huvudseriestjärnor är de också förhållandevis vanliga jämfört med andra cepheidtyper, men eftersom de har liten amplitud krävs noggrann fotometrisk undersökning för att hitta dem.

Delta Scuti-variabler: GCVS-typ: DSCT. Är stjärnor av spektraltyp A0-F5 med en period av 0,01-0,3 dygn. Amplituden är från det detekterbara till 1 magnitud. De pulserar ofta i flera olika moder, både radiellt och icke-radiellt. Underklassen **DSCTC** har en amplitud på högst 0,1 magnituder och återfinns ofta i öppna stjärnhopar.

SX Phoenicis-variabler: GCVS-typ: SXPHE. En grupp med egenskaper liknande Delta Scuti-stjärnorna, men bestående av population II-stjärnor. De återfinns liksom W Virginis-stjärnorna därför oftast i Vintergatans halo och i klotformiga stjärnhopar.

Gamma Doradus-variabler: GCVS-typ: GDOR. Detta är en relativt ny grupp variabler. De har en längre period än traditionella Delta Scuti-stjärnor, 0,3 till drygt 1 dygn, och en amplitud på högst 0,2 magnituder. De tros pulsera icke-radiellt.

Pulserande röda jättar

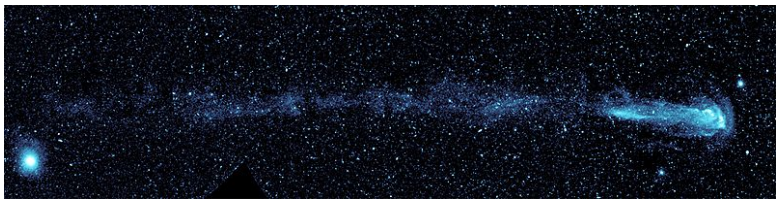
Detta är gamla stjärnor ur population I eller II med 0,6 till några solmassor. De uppvisar stor spridning både i graden av regelbundenhet, amplitud och periodlängd. Jonisering av väte tros vara den huvudsakliga drivkraften i pulseringen. Några allmänna egenskaper är:[2]

- Jättar av spektralklass senare än K5 tenderar att vara variabla.
- Svalare och större stjärnor tenderar att ha större amplitud.
- Svalare stjärnor tenderar att ha längre period.
- Stjärnor med liten amplitud tenderar i högre grad vara oregelbundna.
- Stjärnan kan pulsera med flera olika perioder samtidigt.
- Variation i amplitud och period från cykel till cykel är vanlig.

I GCVS4 klassificeras dessa stjärnor strikt efter amplitud, grad av regelbundenhet och periodlängd.

Miravariabler

GCVS-typ: M.



Mira i ultraviolett ljus från NASA's Galaxy Evolution Explorer. Här syns hur stjärnan lämnar ett spår av gas och stoft efter sig i rymden. Mira är inbäddade i det täta molnet till höger. Molnet är 13 ljusår långt och de äldsta delarna längst till vänster lämnade stjärnan för ca. 30000 år sedan.

Detta är svala och mycket luminösa AGB-stjärnor, stjärnor som förbränner helium i ett skal runt kärnan. I GCVS4 definieras de som stjärnor av spektralklass Me, Se eller Ce med en amplitud av 2,5 till 11 magnituder och en period av 80 till 1000 dygn. De i GCVS4 förtecknade miravariablerna har en medianperiod av 275 dygn. På grund av deras låga temperatur strålar de starkare i infrarött ljus än i visuella våglängder. Amplituden i infrarött är också mycket lägre än i visuellt ljus. De är också drabbade av stor massförlust då gas och stoft stöts bort från stjärnans ytterkant vid pulseringen.

På grund av sin stora ljusvariation och långa period är de lämpliga för visuella studier och populära bland amatörastronomer.

Namnet kommer från prototypstjärnan Omikron Ceti som även kallas Mira. Stjärnan är den ljusstarkaste i sin klass och kan nå magnitud 2 vid maximum, även om 3-4 är vanligare, perioden är cirka 332 dygn. Andra exempel på ljusstarka miravariabler är Chi Cygni, R Leonis, U Orionis, R Trianguli och R Aquilae

Halvregelbundna och oregelbundna röda jättar

GCVS-typ: SR, SRA, SRB, LB.

Röda jättar av spektralklass K, M, C och S. Detta är en heterogen grupp där observerat beteende mer än astrofysiska egenskaper definierar typerna. Typen SR inkluderar både halvregelbundna jättar och superjättar. Typen L inkluderar både oregelbundna jättar och superjättar samt stjärnor som är otillräckligt studerade för att en period ska ha konstaterats.

SRA: Stjärnor med tydlig periodicitet och en amplitud under 2,5 magnituder. Många av dessa skiljer sig inte från miravariablerna mer än att deras amplitud är lägre. Perioden är i intervallet 30 till 1200 dygn, med ett medianvärde av 180. Flera överlagrade perioder kan förekomma. Exempel är Z Aquarii och V Bootis.

SRB: Stjärnor med svag periodicitet. En del växlar mellan perioder av oregelbundet, periodiskt eller till och med konstant beteende. Många har ändå en medelperiod angiven, som är i intervallet 10 till 2300 dygn. Ett antal stjärnor har också flera överlagrade perioder. Exempelstjärnor är AF Cygni och g Herculis.

LB: Långsamt och oregelbundet varierande stjärnor utan konstaterad period. Exempel är Beta Pegasi. Alfa Tauri (Aldebaran) är en misstänkt LB-stjärna.

Pulserande gula och röda superjättar

Detta är unga population I-stjärnor med en ursprunglig massa av över 15 solmassor, som gjort slut på sitt bränsle av väte i kärnan och nu utvecklats till superjättar. Variabiliteten är halvregelbunden till oregelbunden. GCVS4 delar in dessa i följande typer:

SRC: Halvregelbundna röda superjättar av spektralklass M, C eller S. Periodlängden varierar från 30 till ett par tusen dygn med an amplitud på upp till 2 magnituder. Lång- och kortsiktiga förändringar av oregelbunden natur förekommer också. Orsaken till dessa stjärnors variabilitet är inte helt förstådd. Utöver pulsering har även konvektion och rotation föreslagits som delorsaker.[2] Exempel är Alfa Orionis (Betelgeuse) och My Cephei.

SRD: Halvregelbundna gula superjättar av spektralklass F, G eller K. Dessa stjärnor ligger i HR-diagrammet ovanför

och i förlängningen av cepheidernas instabilitetsområde och varierar av samma orsaker, dock mer oregelbundet. Periodlängden varierar från 30 till 1100 dygn med en amplitud på upp till 4 magnituder. Exempel är Rho Cassiopeiae och SX Herculis.
LC: Oregelbundet varierande superjättar av spektralklass K, M, C eller S. De har vanligen en amplitud på högst en magnitud. Exempel är Alfa Scorpii och Epsilon Pegasi.

Pulserande blåvita stjärnor

Pulserande heta och massiva stjärnor. De har förhållandevis kort period och liten amplitud och pulserar ofta på ett komplicerat sätt med flera olika moder parallellt.

Beta Cephei-variabler

GCVS-typ: BCEP, BCEPS.
Dessa är huvudseriestjärnor av spektralklass B0 till B2. De pulserar i en eller flera samtidiga moder. De multiperiodiska pulserar vanligtvis med en radiell och en eller flera icke-radiella moder. Periodlängden är 0,1 till 0,6 dygn och amplituden upp till 0,3 magnituder. Orsaken till dessa stjärnors pulserade var länge oklar, men olikhet i opaciteten av joniserat järn vid en temperatur av 100000-200000K anses numera vara drivkraften. Exempelstjärnor är Beta Cephei och Beta Canis Majoris.

Undertypen **BCEPS** har kortare perioder på under 1 timme.

Alfa Cygni-variabler

GCVS-typ: ACYG.
Superjättar av spektralklass Bep eller Aep. De pulserar icke-radiellt och multiperiodiskt med periodlängder från några dygn till flera veckor och med en amplitud på ungefär 0,1 magnituder. De många överlagrade perioderna kan ge ett intryck av oregelbundenhet. Exempel är prototypstjärnan Alfa Cygni och Beta Orionis.

PV Telescopii-variabler

GCVS-typ: PVTEL.
Detta är en ovanlig grupp med bara ett dussintal kända medlemmar. Stjärnorna är "heliumsuperjättar", stjärnor av spektralklass Bp med mycket svaga linjer av väte och starka linjer av helium och kol i sitt spektrum. De pulserar med en period på 0,1 till 1 dygn. På en tidsperiod av ungefär ett år kan de variera med en amplitud på upp till 0,2 magnituder. Med sina höga halter av kol kan dessa stjärnor ha släktskap med R Coronae Borealis-stjärnorna.

Pulserande vita dvärgar

GCVS-typ: ZZ, ZZA, ZZO och ZZB.
Vita dvärgar pulserar med samma mekanism som cepheiderna och har egna instabilitetsområden i HR-diagramet som passeras allteftersom de svalnar. De pulserar icke-radiellt, vanligen i många olika moder samtidigt. Perioden kan vara 30 sekunder till 25 minuter med en amplitud på upp till 0,2 magnituder.

Undertypen **ZZA** (DAV eller ZZ Ceti-stjärnor) har spektraltypen DA med absorptionslinjer enbart av väte.
Undertypen **ZZB** (DBV eller V777 Herculis-stjärnor) har spektraltypen DB med absorptionslinjer enbart av helium.
Undertypen **ZZO** (DOV eller GW Virginis-stjärnor) har spektraltypen DO med absorptionslinjer av helium, kol och syre. Detta är heta stjärnor som är på väg att bli vita dvärgar.

Roterande variabler

Stjärnor med fläckig yta eller elliptisk form som växlar i ljusstyrka i takt med sin rotation då de exponerar olika delar av sin yta mot oss. Fläckigheten kan bero på stora regioner av solfläckar eller olikhet i den kemiska sammansättningen av ytan orsakade av starka magnetfält. En förutsättning för variabiliteten ska synas är att stjärnan inte vänder sin rotationsaxel direkt mot oss. Detta kan vara den vanligaste gruppen[4] av variabla stjärnor, men minst iögonenfallande då amplituden vanligen inte överstiger några tiondels magnituder.

Icke-sfäriska stjärnor

Elliptiska variabler

GCVS-typ: ELL.
Stjärnor i täta dubbelstjärnsystem som inte förmörkar varann men påverkar varann genom tidvattenkrafter så att en eller båda har en utdragen form. I takt med att de kretsar kring varann visar de upp olika stor area och ytljusstyrka mot oss. Elliptiska variabler klassas ibland som en undertyp till förmörkelsevariablerna.[2] Exempel är Alfa Virginis (Spica) och b Persei.

Stjärnor med solfläckar

FK Comae Berenices-variabler

GCVS-typ: FKCOM.
Snabbt roterande jättar av spektralklass G till K med ojämn ytljusstyrka, troligen orsakade av stora solfläckar. De uppvisar också starka emissionslinjer i sitt spektrum. En teori är att dessa stjärnor är resultatet av en sammansmältning av ett tätt dubbelstjärnesystem av W Ursae Majoris-typ, vilket skulle förklara den snabba rotationen. Exempel är FK Comae Berenices och UZ Librae.

BY Draconis-variabler

GCVS-typ: BY.
Huvudseriestjärnor av spektralklass K till M med emissionslinjer i sitt spektrum. Variabiliteten orsakas av en ojämn ytljusstyrka, troligen solfläckar, och aktivitet i kromosfären, detta tillsammans med stjärnans rotation. Flera BY-stjärnor uppvisar också flares och klassas då också som en UV Ceti-stjärna.

Stjärnor med starka magnetfält

Alfa2 Canum Venaticorum-variabler

GCVS-typ: ACV.
Pekuljära A-stjärnor (Ap-stjärnor), stjärnor med en ovanligt hög halt av ämnen som kisel, strontium, krom och sällsynta jordartsmetaller i sitt spektrum, och med mycket starka magnetfält. Troligen är magnetfältet orsak till att de ovanliga ämnena organiseras fläckvis på stjärnans yta som då får en ojämn ytljusstyrka, vilket orsakar ljusvariationen i takt med stjärnans rotation.

Undergruppen **ACVO** är också snabbt icke-radiellt oscillerande med en period på 6-12 minuter och en amplitud av 0,01 magnituder, de räknas ibland till de pulserande variablerna. Exempel är DO Eridani

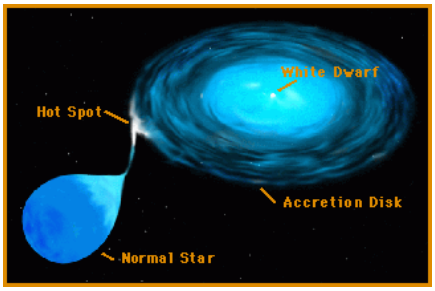
SX Arietis-variabler

GCVS-typ: SXARI.
Dessa stjärnor är en hetare variant av ACV-stjärnorna och gränsdragningen är något oklar. Huvudseriestjärnor av spektralklass B0p till B9p med starka magnetfält och varierande emissionslinjer av He I och Si III. Kallas också helium-variabler.

Pulsarer

GCVS-typ: PSR.
Pulsarer som varierar i synligt ljus. Pulsarer är snabbt roterande neutronstjärnor med starkt magnetfält. Få har detekterats i synligt ljus, mest känd är pulsaren i Krabbnebulosan, CM Tauri. Variationen är från några millisekunder till några sekunder. Variationen beror på att axlarna för stjärnans rotation och magnetfält är förskjutna och att den sänder ut fyrliknande strålar i magnetpolernas riktning. Termen pulsar är egentligen missvisande då dessa stjärnor roterar och inte pulserar.

Kataklysmiska variabler



Ett kataklysmiskt dubbelstjärnsystem med en vit dvärg.

Kallas också explosiva eller novaliknande variabler. Ordet *nova* kommer från latin och betyder ny som i "ny stjärna". Vi vet nu att det inte är frågan om nya stjärnor utan om befintliga stjärnor som plötsligt flammar upp i enorma energiutbrott så de ser ut att dyka upp som nya stjärnor på himlen. Supernovor av typ Ia, novor och dvärgnovor har alla det gemensamt att de uppstår i ett tätt dubbelstjärnsystem med en vit dvärg och en vanlig stjärna. Den senare stjärnan har fyllt sin roche-lob, antingen p.g.a. att den börjat svälla av åldersskäl eller att omloppsradien med tiden har minskat. Från roche-loben förs material över till en insamlingsskiva runt den vita dvärgen för att till slut falla ner på dess yta (se bild till höger). För en typ Ia supernova slutar processen med att hela den vita dvärgen förintas i en okontrollerad kärnreaktion, för novorna sker explosionen enbart på ytan av den vita dvärgen och för dvärgnovorna är det processer i insamlingsskivan som orsakar utbrotten.

Supernovor

GCVS-typ: SN, SNI och SNII.
Supernovor är den mest dramatiska typen av kataklysmiska variabler och är bland de mest energirika händelserna överhuvudtaget i universum. Det finns två olika tillstånd tros orsaka supernovor:

- Massöverföring till en vit dvärg i ett tätt dubbelstjärnsystem. I motsats till en nova är det vid ett supernovautbrott den vita dvärgens kärna av degenererat kol och syre som antänds i en okontrollerad kedjereaktion, varvid hela stjärnan exploderar och sprids ut i rymden. Detta är typ Ia.
- En massiv stjärna som i slutet av sitt liv har en massa som överskrider Chandrasekhargränsen kollapsar till en neutronstjärna eller ett svart hål då dess bränsle tar slut och det utåtriktade strålningstrycket inte längre kan upprätthållas. Detta är typ Ib, Ic och II.

Indelningen i olika typer bygger på egenskaper i supernovans spektrum. Typ II har linjer av väte i sitt spektrum vilket saknas hos typ I. Typ Ia har linjer av kisel, typ Ib har linjer av helium och Ic saknar linjer för både kisel och helium.

En supernova kan öka i ljusstyrka med över 20 magnituder. Supernovor av typ Ia antas ha ungefär samma absoluta magnitud vid maximum på -19,3 ±0,1 och är ett viktigt standardljus för de längsta avstånden i universum, övriga typer har en varierande, men något lägre, absolut magnitud vid maximum. Efter explosionen tar det 2 till 3 veckor innan supernovan når maximum. Efter maximum avtar den efter en månad ett par magnituder, därefter avtar den i en

långsammare takt. Vissa typ II supernovor (II-P) har en platå med konstant ljusstyrka under ca. 80 dagar efter första maximum, eller t.o.m. ett andra maximum. Supernovorna år 1572 och 1604 var synliga med blotta ögat i över ett år efter deras upptäckt.

Studiet av supernovor har bidragit till flera viktiga astronomiska upptäckter:

- Universums expansion.
- Bidragit till förståelsen om universums storskaliga struktur.
- Teorin om mörk energi och att takten i universums expansion ökar.
- Ökad förståelse om stjärnors utveckling.

Supernovorna har en egen namnstandard skild från övriga variabla stjärnor. De har betecknas med SN följt av upptäcktsår och en eller två bokstäver som räknas upp löpande under året. Först används A till Z, sedan aa till az, sedan ba till bz. Upptäckter av nya supernovor rapporteras till IAU's Central Bureau for Astronomical Telegrams som också administrerar namnsättningen.

Statistiskt sett räknar man med att i genomsnitt ett par supernovor per sekel bör uppträda i Vintergatan.[2] Trots det har ingen registrerats sedan SN 1572 (Tycho Brahes nova) och SN 1604 (Johannes Keplers nova). Däremot upptäcks ett allt mer ökande antal i andra galaxer. Ett par viktiga är S Andromedae (SN 1885A) i Andromedagalaxen och SN 1987A i Stora Magellanska molnet. Den förra var den först upptäckta supernovan i en annan galax, även om man vid den tiden inte var medveten om skillnaden mellan novor och supernovor och att Andromedagalaxen låg utanför Vintergatan. Den senare är den närmsta supernovan i modern tid och därför relativt lätt att studera. Fram till år 1980 hade omkring 500[2] supernovor upptäckts, vilket kan jämföras med de 338 som upptäcktes 2010.[18] Flera supernovor upptäcks varje år av amatörastronomer, bl.a. har den svenske amatörastronomen Gregor Duszanowicz fram till 2010 upptäckt 10 stycken.

Novor

GCVS-typ: N, NA, NB, NC och NR.
Novorna ökar i ljusstyrka med 6 till 19 magnituder under några dagar, veckor eller månader. Den absoluta magnituden är maximalt cirka -9. Novan avtar sedan i ljusstyrka under en period av månader, år eller decennier. Novans absoluta magnitud är korrelerad med hur snabbt den avtar, en snabb nova har en högre absolut magnitud. Denna relation kan användas för att uppskatta avståndet.

Väte- och heliumrikt material som ansamlas på den vita dvärgens yta antänds i en okontrollerad kedjereaktion när massa, temperatur och tryck når en kritisk gräns. I samband med explosionen kastas ett skal av material ut med en hastighet av upp till 2000 km/s[2] som exciteras av UV-ljus från den vita dvärgens heta yta. Detta kan ses genom de starka, breda och blåförskjutna emissionslinjerna som är typiska i en novas spektrum en tid efter maximum.

Cirka 30[2] novor per år tros förekomma i Vintergatan, de flesta av dem skyms dock av stoftet i Vintergatans plan. I genomsnitt 8.[19] synliga novor per år registrerades under perioden 2001 till 2010.

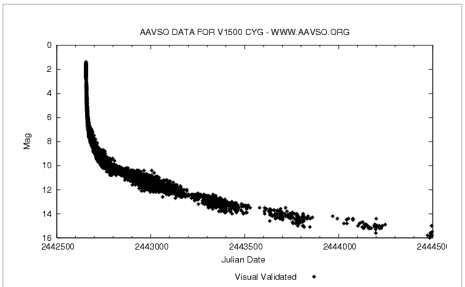
För en liten grupp, de rekurrenta novorna, har mer än ett utbrott förekommit. Kanske är alla novor rekurrenta men på en så lång tidsskala att vi inte hunnit observera mer än ett utbrott.

Beroende på hur många dygn det tar novan att avta med 3 magnituder från sitt maximum delar man in dem i följande kategorier:

NA: Snabba novor, som avtar med 3 magnituder inom 100 dygn. Dessa är också de ljusstarkaste. Två av de starkaste novorna under 1900-talet var Nova Aquilae 1918 (V603 Aquilae) och Nova Cygni 1975 (V1500 Cygni). 1963 upptäckte den svenske amatörastronomen Elis Dahlgren Nova Herculis 1963 (V533 Herculis).

NB: Långsamma novor, som kräver minst 150 dygn för att avta 3 magnituder.

NC: Mycket långsamma novor, som kan ha ett maximum i över ett decennium och sedan långsamt avta. Exempel är V838 Monocerotis.



Ljuskurva från AAVSO för Nova Cygni 1975, perioden 1975-03-28 till 1980-09-17.

NR: Rekurrenta novor, det vill säga novor som har haft flera utbrott. Amplituden är upp till 8 magnituder med en period av 10 till 80 år. Detta är en rätt sällsynt grupp stjärnor med bara åtta kända medlemmar. Exempel är T Coronae Borealis som haft utbrott 1866 och 1946 och RS Ophiuchi som haft utbrott 1958, 1967, 1985 och 2006.

Dvärgnovor

GCVS-typ: UG, UGSS, UGSU, UGZ.

Dvärgnovor får oregelbundet utbrott med en ökning i ljusstyrkan med upp till 6 magnituder. Utbrottens intervall och amplitud varierar, men med en tendens att ju större utbrottet är, ju längre tid tills nästa utbrott. Den genomsnittliga tiden mellan utbrotten varierar kraftigt mellan olika dvärgnovor, från 10 till flera tusen dygn. Utbrottens längd är vanligtvis några dagar eller en vecka, men är för vissa stjärnor längre. Omloppstiden i dubbelstjärnsystemet är kort, 1 till 12 timmar. Ett märkligt gap i omloppstiden finns för intervallet 2,2 till 2,8 timmar, där nästan inga dvärgnovor återfinns.

Där materialet från givarstjärnan träffar insamlingsskivan bildas en het fläck, när systemet inte befinner sig i utbrott kommer det mesta av ljuset från denna fläck och från insamlingsskivan. I takt med omloppstiden syns små pucklar, *humps*, på ljuskurvan som härstammar från att den heta fläcken syns från olika riktningar under omloppet. Hack i ljuskurvan från förmörkelser av den heta fläcken kan också förekomma. Dessutom förekommer små flimrande variationer vilket tros bero på interaktion mellan materieströmmen och den heta fläcken. Dvärgnovorna strålar också ofta i UV-ljus och röntgenstrålning från den heta innersta delen av insamlingsskivan.

Dvärgnovornas stora utbrott tros bero på att materialet som ansamlas i insamlingsskivan inte direkt och i jämn takt strömmar ned på den vita dvärgens yta. Istället byggs det upp mer och mer material i skivan som vid ett utbrott blivit instabil och lämnar ifrån sig en stor mängd material som plötsligt faller ner på ytan. Utbrottets energi kommer från den lägesenergi som utlöses när materialet faller ner genom den vita dvärgens gravitationsfält.

Dvärgnovorna är ett hett forskningsområde inom astronomin, speciellt viktiga för förståelsen av dynamiken kring ackretionsskivor (insamlingsskivor). Många amatörastronomer ägnar sig också åt att bevaka dvärgnovor och rapportera deras utbrott.

UGSS: Dvärgnovor av typen U Geminorum eller SS Cygni. Detta är den vanligaste typen med enbart normala utbrott.

UGSU: Dvärgnovor av typen SU Ursae Majoris. De har förutom normala utbrott emellanåt större utbrott, s.k. supermaxima, som är upp till 2 magnituder ljusare och varar upp till 5 gånger längre tid än ett normalt utbrott. Ett annat kännetecken är förekomsten av s.k. *superhumps* under supermaximat, större pucklar om 0,2-0,3 magnituder överlagrade på ljuskurvan med en period vanligtvis något större än omloppstiden. Båda dessa fenomen tros bero på resonans- och precessionseffekter i insamlingsskivan.

UGZ: Dvärgnovor av typen Z Camelopardalis. Detta är dvärgnovor som ibland "fastnar" halvvägs ner efter ett utbrott och under flera cykler lyser med en ljusstyrka mellan maximum och minimum. Detta tros bero på att insamlingsskivan kan växla mellan två olika tillstånd, ett vid normala utbrott då material ansamlas och frisläpps periodiskt, och ett då material strömmar i jämn takt från insamlingsskivan till den vita dvärgen.

Novaliknande variabler

GCVS-typ: NL, AM.

NL: Novaliknande stjärnor. Detta är kataklysmiska system som inte setts i utbrott men har spektrum och andra egenskaper som liknar novor och dvärgnovor. Det kan vara system som permanent verkar ha fastnat i platåfasen hos UGZ-stjärnorna (UX Ursae Majoris), eller stjärnor som normalt verkar ligga på platåfasen och ibland får djupa minimum (VY Sculptoris).

AM: AM Herculis-stjärnor eller polarer. Detta är dvärgnovasystem med ovanligt starka magnetiska fält. Så starka att en normal insamlingsskiva inte bildas utan istället följer materialet från givarstjärnan de magnetiska fältlinjerna och ansamlas vid de magnetiska polerna på den vita dvärgen. De är källor till röntgenstrålning och sänder ut polariserat ljus. Amplituden i synligt ljus är upp till 4-5 magnituder.

Det finns också mellanformer där magnetfältet inte är lika starkt och där både insamlingsskiva och inflöde vid de magnetiska polerna förekommer (DQ Herculis).

Symbiotiska stjärnor (Z Andromedae-variabler)

GCVS-typ: ZAND. Symbiotiska stjärnor är dubbelstjärnsystem bestående av en stor och sval jättestjärna röd jätte och en liten het stjärna, vanligtvis en vit dvärg, i övrigt en rätt heterogen grupp. Jämfört med dvärgnovorna kretsar dessa stjärnor på ett mycket längre avstånd från varandra, perioder från 100 till 850 dagar är vanliga. Variabiliteten kan bero på utbrott i insamlingsskivan runt den heta stjärnan, som bildas av material som strömmar från den svala stjärnan, pulsering hos den röda jätten samt att komponenterna kan förmörka varandra. Amplituden i ljusförändringarna är upp till 4 magnituder och har på grund av variabilitetens skilda orsaker både oregelbundna och regelbundna inslag. Några exempel av denna typ är Z Andromedae, CH Cygni och CI Cygni.

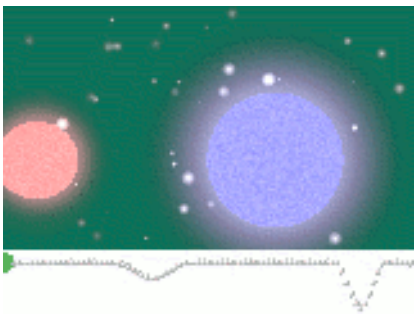
Förmörkelsevariabler

En förmörkelsevariabel är en dubbelstjärna där komponenterna råkar ha en sådan bana att de sett från jorden passerar framför varandra. När detta sker minskar den totala ljusmängden som når oss jämfört med stjärnornas kombinerade ljusstyrka. Av geometriska skäl är sannolikheten större att stjärnorna förmörkar varann ju närmare varandra de kretsar. I täta par kan stjärnorna också interagera fysiskt på olika sätt, till exempel deformeras genom tidvattenkrafter eller överföring av material mellan stjärnorna. Utifrån ljuskurvan kan egenskaper som förhållandet mellan de båda stjärnornas diameter, ljusstyrka och temperatur beräknas. Om man känner till stjärnornas radialhastigheter kan deras absoluta avstånd, ljusstyrka, massa och diameter fås fram.

Förmörkelsen kan vara av två typer, partiell då stjärnornas yta bara delvis överlappar varann och total då en av stjärnornas yta helt döljs av den andra (åtföljs av en passage då den mindre stjärnan passerar framför den större). I det första fallet blir ljuskurvan V-formad vid minimum i det andra fallet har den en platt fas i botten under minimat. Vanligtvis uppvisar ljuskurvan två minima för varje omlopp stjärnorna gör. Det större, primärminimum, inträffar då den hetare stjärnan förmörkas och det mindre, sekundärminimum, inträffar då den svalare stjärnan förmörkas. Periodlängden för förmörkelsevariabler är vanligen 2 till 3 dygn, men varierar från några timmar för de snabbaste till ett par decennier för de långsammaste systemen.

Förmörkelsevariabler klassificeras traditionellt efter ljuskurvans utseende. I GCVS finns till exempel klasserna EA, EB och EW enligt detta system. I modern klassificering[2] tar man mer hänsyn till stjärnsystemets fysiska egenskaper. Specifikt ser man om en eller båda stjärnorna är så utvecklade att de fyllt sina Roche-lober och var i HR-diagrammet de är belägna. I GCVS finns tilläggsbeteckningar för dessa uppgifter.

Algol-variabler



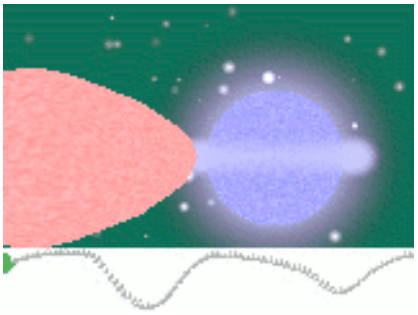
Förmörkelsevariabel av Algol-typ och ljuskurva med primär- och sekundärminimum.

GCVS-typ: EA.
Traditionellt stjärnor vars maximum i huvudsak är konstant och med tydligt avgränsande minima (se bild). Numera avses vanligen ett system där stjärnorna är väl innanför sina Roche-lober och där stjärnorna är i stort sett sfäriska. Prototypstjärnan Algol är i detta sammanhang inte ett bra exempel då den ena stjärnan i det systemet har fyllt sin roche-lob.

Beta Lyrae-variabler

GCVS-typ: EB.
Stjärnor där ljuskurvan ständigt växlar, så det inte finns någon tydlig gräns för förmörkelsernas start- och slutpunkter. Detta beror på att en komponent i systemet är så utvecklad att den fyllt sin Roche-lob och blivit ellipsformad. Primär- och sekundärminima är ändå tydligt urskiljbara. Prototypstjärnan Beta Lyrae är inte heller den ett bra exempel för sin klass, då det är ett nästan unikt system, troligen med en komponent dold i en stoftskiva.

W Ursae Majoris-variabler



Förmörkelsevariabel av Beta Lyrae-typ.

GCVS-typ: EW.
System där båda komponenterna fyllt sina Roche-lober och är i kontakt med varann. En gemensam yttre atmosfär runt stjärnorna kan förekomma. Ljuskurvan växlar ständigt under perioden som vanligen under 1 dygn. Primär- och sekundärminima är i stort sett lika djupa.

Planetpassager

GCVS-typ: EP.
Stjärnor som förmörkas av att en planet i omlopp runt stjärnan passerar över dess yta. Detta kan orsaka en svacka i ljuskurvan på upp till 0,05 magnituder under upp till ett par timmar. Prototypstjärna är V376 Pegasi.

Röntgenvariabler

GCVS-typ: X, XB, XF, XI, XJ, XN, XND, XNG, XP, XPR, XPRM, XM och XRM.
Detta är täta dubbelstjärnsystem med en normal stjärna och en vit dvärg (sällsynt), neutronstjärna (vanligtvis) eller ett svart hål. Det krävs temperaturer på över en miljon K för att Röntgenstrålning ska produceras, vilket kan uppnås när material accelereras i den kompakta komponentens mycket starka gravitationsfält. Röntgenstrålning tränger inte igenom vår atmosfär utan måste därför studeras med rymdbaserad teleskop. Variabilitetsmönstret kan vara mycket komplicerat, men orsakas i grunden av samma mekanismer som i de kataklysmiska systemen, att material förs över från den normala stjärnan till en insamlingsskiva runt det kompakta objektet.

Man kan dela upp dessa system i två typer, HMXB (*High Mass X-ray Binaries*) och LMXB (*Low Mass X-ray Binaries*). I första fallet är den normala stjärnan en tung O eller B stjärna och massöverföringen sker i första hand genom stjärnvind. I det andra fallet är givarstjärnan av typ G, K eller M där material flödar över från en fylld roche-lob, dessa system kan lysa mycket starkare i röntgenvåglängder än i synliga våglängder.

GCVS4 har definierat följande typer:
XB (*X-ray bursters*): System med korta utbrott i röntgenstrålning som varar från några sekunder till 10 minuter. I synligt ljus kan amplituden vara 0,1 magnituder.
XF: System med fluktuerande röntgenstrålning, där förändringen i intensitet sker inom några tiotal millisekunder. Exempel är V1357 Cygni (Cygnus X-1).
XI: Oregelbundna system. Röntgenstrålningens intensitet varierar oregelbundet på en tidsskala från minuter till timmar. I synligt ljus kan amplituden vara 1 magnitud.
XJ: System som uppvisar en relativistisk jet, märkbar genom strålning i röntgen och radiovåglängder samt att spektret i synligt ljus uppvisar relativistiska radialhastigheter.
XN, **XND**, **XNG** (Röntgennovor): Detta är neutronstjärnornas motsvarighet till novautbrott hos en vit dvärg. Undertypen **XND** har stora utbrott med en amplitud av 4 till 9 magnituder i synligt ljus samtidigt som utbrottet i röntgenbandet. Utbrottet kan pågå under ett par månader. Den normala stjärnan i dessa system är en svalare och lättare stjärna av spektralklass G till M. I undertypen **XNG** är den normala stjärnan hetare och mer massiv. Utbrott i röntgenområdet sker efter utbrott av massutkast från den normala stjärnan när material från utbrottet faller ner mot den kompakta komponenten. Amplituden är 1 till 2 magnituder i visuellt ljus.
XP, **XPR** (Röntgenpulsarer): HMXB-system som pulserar i röntgenområdet. Neutronstjärnans starka magnetfält styr inflödet av material till de magnetiska polerna där heta fläckar som strålar i röntgenområdet bildas. Dessa pulserar i takt med neutronstjärnans rotation. **R** i beteckningen betyder att systemet uppvisar en reflektionseffekt, då den normala stjärnan belyses av röntgenstrålning som sedan återkastas i form av synligt ljus. Variationen kan vara 2 till 3 magnituder i synligt ljus som varierar i takt med systemets omloppstid.
XPRM, **XM**, **XRM** (Polarer): Är LMXB-system där neutronstjärnan har så starkt magnetfält att materialet från insamlingsskivan styrs ner mot de magnetiska polerna. Karaktäriseras av att de sänder ut linjärt eller cirkulärt polariserat ljus. Beteckningar med **R** uppvisar reflektionseffekt. Saknas **P** är systemet orienterat så att jetstrålen inte sveper över oss och därför inte pulserar.

Övriga typer

Klassen "övriga typer" i GCVS4 innehåller variabler som är så dåligt studerade att man inte kunnat avgöra vilken av de andra klasserna de ska tillhöra eller variabler med unika egenskaper. Här finns också stjärnor som tidigare antagits vara variabla och fått en variabelbeteckning men som vid en noggrannare undersökning visat sig vara konstanta.

Det finns också en grupp objekt som är variabla, men som inte är stjärnor. Det är variabla avlägsna kvasarer, aktiva galaxkärnor eller andra extragalaktiska objekt som har så liten vinkeldiameter att de ser punktformiga ut och därför tagits för stjärnor vid dess upptäckt. Dessa objekt kan med fördel studeras med samma metoder[2] som vanliga variabla stjärnor. En grupp som studeras på detta sätt är till exempel blazarer av BL Lacertae-typ.

Referenser

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, *Variable_star* [20]

- Percy, John R.: *Understanding variable stars*, Cambridge University Press, Cambridge 2007 **(engelska)**. ISBN 978-0-521-23253-1 (hbk.). Libris 10463621 [21].
- Fabian Andrew, Greenberg Mayo: *Astronomi: det internationella standardverket om universum* ”kapitel 4-5”, Bonnier, Stockholm 1979 **(svenska)**. ISBN 91-0-042910-4 (inb.). Libris 7145661 [22].
- *Nationalencyklopedin Multimedia 2000 plus* ”Variabla stjärnor m.m.”, Bra Böcker, Höganäs 2000 **(svenska)**. ISBN 91-7133-749-0.

Noter

[1] *Solar Constant* (http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant), PMOD/WRC,

[2] Percy, John R.: *Understanding variable stars*, Cambridge University Press, Cambridge 2007 **(engelska)**. ISBN 978-0-521-23253-1 (hbk.). Libris 10463621 (http://libris.kb.se/bib/10463621).

[3] Knut Lundmark, "Suspected new stars recorded in old chronicles and among recent meridian observations" (http://adsabs.harvard.edu/abs/1921PASP...33..225L), i *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 33 (1921).

[4] Fabian Andrew, Greenberg Mayo: *Astronomi: det internationella standardverket om universum* ”kapitel 4-5”, Bonnier, Stockholm 1979 **(svenska)**. ISBN 91-0-042910-4 (inb.). Libris 7145661 (http://libris.kb.se/bib/7145661).

[5] Jönsson, Åke: *Tycho Brahe: världsmedborgaren från Ven*, Historiska media, Lund 2004 **(svenska)**, sid. 19. ISBN 91-85057-02-9 (inb.). Libris 9421647 (http://libris.kb.se/bib/9421647). .

[6] ”Mira, Omicron Ceti” (http://spider.seds.org/spider/Vars/mira.html). Students for the Exploration and Development of Space (SEDS). . Läst 2010-12-30.

[7] ”Algol, Beta Persei, 26 Persei” (http://spider.seds.org/spider/Vars/betaPer.html). Students for the Exploration and Development of Space (SEDS). . Läst 2010-12-30.

[8] ”P Cygni” (http://spider.seds.org/spider/Vars/pCyg.html). Students for the Exploration and Development of Space (SEDS). . Läst 2010-12-30.

[9] ”A Catalogue of Variable Stars” (http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1865AN.....63..117C). Astronomische Nachrichten, volume 63. 1865. . Läst 2010-12-30.

[10] ”Second catalogue of variable stars” (http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1907AnHar..55....1C). Annals of Harvard College Observatory, vol. 55, pp.1-94. 1907. . Läst 2010-12-30.

[11] GCVS What's new (http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/intro.htm)

[12] GCVS4 variabeltyper (http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/iii/vartype.txt)

[13] Eddington, A. S., "The Pulsation Theory of Cepheid Variables.", *The Observatory* v. 40, 516, 290–293 (1917)

[14] Leavitt, Henrietta S. "1777 Variables in the Magellanic Clouds" (http://www.adsabs.harvard.edu/abs/1908AnHar..60...87L). *Annals of Harvard College Observatory*. LX(IV) (1908) 87–110

[15] Hubble, E. "Cepheids in spiral nebulae" (http://adsabs.harvard.edu/abs/1925Obs....48..139H), *The Observatory*, Vol. 48, p. 139–142 (1925)

[16] Wallerstein, G. "The Cepheids of Population II and Related Stars" (http://adsabs.harvard.edu/abs/2002PASP..114..689W), *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 114, Issue 797, pp. 689–699 (2002)

[17] Katrien Kolenberg m.fl. (2004). ”The Blazhko Project” (http://www.univie.ac.at/tops/blazhko/Poster.html). Universität Wien. . Läst 2011-01-18.

[18] ”List of recent supernovae” (http://www.cbat.eps.harvard.edu/lists/RecentSupernovae.html). Central Bureau for Astronomical Telegrams. . Läst 2011-02-11.

[19] http://cbat.eps.harvard.edu/nova_list.html

[20] http://en.wikipedia.org/wiki/Variable_star

[21] http://libris.kb.se/bib/10463621

[22] http://libris.kb.se/bib/7145661

Externa källor

- IAU Commission 27, Variable stars (http://www.konkoly.hu/IAUC27)
- IAU Commission 42, Close binary stars (http://www.konkoly.hu/IAUC42)
- General Catalogue of Variable Stars, 4th ed, (Kholopov et al 1985-2008), Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia (http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/index.htm)
- The American Association of Variable Star Observers (http://www.aavso.org)
- The British Astronomical Association, Variable Star Section (http://http://www.britastro.org/vss)
- Association Francaise des Observateurs d'Etoile Variables (http://cdsarc.u-strasbg.fr/afoev)

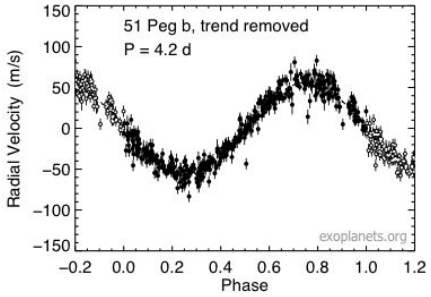
Metoder för att upptäcka extrasolära planeter

En planet i omloppsbana runt en annan stjärna, en så kallad extrasolär planet eller exoplanet, kan vara mycket svår att visuellt identifiera i skenet från sin sol (eller sina solar). Även om planeten som sådan har ett mycket högt albedovärde, kommer detta relativt svaga ljus att försvinna i det utstrålade ljuset från den sol eller de solar planeten kretsar runt. För att kunna finna fler och mindre exoplaneter har astronomer tvingats ta fram nya och bättre metoder för att indirekt detektera dessa.

En konstnärs vision av en jordliknande exoplanet.

Gängse metoder

Radialhastighet



Radialhastigheten hos 51 Pegasi

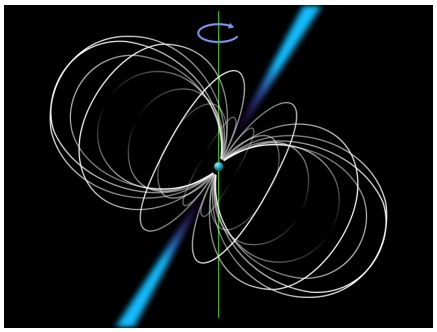
Denna metod som även kallas *dopplerspektroskopi* använder radialhastighet eller dopplereffekt för att se små rörelser hos en stjärna med en eller flera planeter i omloppsbana. En planet som kretsar runt en stjärna påverkas av exakt lika stark gravitation som stjärnan själv, men eftersom stjärnan väger många tiopotenser mer än planeten blir stjärnans rörelse mycket mindre uttalade. Den förskjutning av spektrallinjer som i stjärnans ljusspektrum iakttas i de två extremfallen (där stjärnan färdas *mot* jorden med största hastighet och där stjärnan färdas *från* jorden med största hastighet) tillåter beräkning av radialhastigheten som kan vara så liten som 1 m/s. Moderna spektrometrar (såsom HARPS vid La Sillaobservatoriet i Atacamaöknen i Chile och HIRES-spektrometern vid Keck-observatoriet på Mauna Kea, Hawaii) kan detektera så små skillnader.

En enkel och billig implementation av denna metod kallas *utvändigt spridd interferometri* (engelska *externally dispersed interferometry*).[1] [2]

Radialhastighetsmetoden har visat sig vara den metod med vilken flest exoplaneter upptäckts. Planetjägare har framgångsrikt använt metoden för att finna planeter runt stjärnor till ett avstånd av runt 160 ljusår från jorden. Längre bort blir signal-brusförhållandet för ogynnsamt för att kunna göra mätningar med tillräckligt hög precision.

Mätresultat beror också på hur, i planet, planetens omloppsbana ligger - en planet som har en omloppsbana vinkelrätt mot observationsriktningen kommer att ge upphov till mycket små radialhastigheter. Metoden lämpar sig även för att finna massiva planeter med korta omloppsbanor där varvtiden ibland kan vara så kort som ett par dagar. Mindre massiva planeter i längre omloppsbanor är svårare att finna då det krävs längre mättider - ibland flera år.

Pulsartiming



Modell av en pulsar, där neutronstjärnan i mitten är blå.

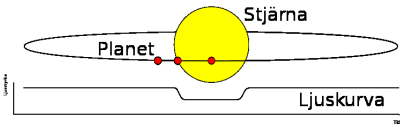
Denna metod utnyttjar pulsarer, de små, tunga och mycket snabbt roterande himlakroppar som kvarstår efter att en stjärna exploderat i en supernova. Stjärnans kärna kollapsar till en neutronstjärna, ett klot som kan vara så litet som 20 km i diameter, ha en massa på ungefär en solmassa, men rotera så snabbt som flera hundra varv per sekund. Denna rotation och ett kraftigt magnetfält ger upphov till två energistrålar som utgår från pulsarens magnetiska poler. Om en sådan stråle träffar jorden kan signalen uppfattas som pulser i våglängder från radiostrålning till gammastrålning. Eftersom en pulsar är så tung är dess rotation normalt mycket stabil. Små variationer i rotationen kan ge små avvikelser i pulsfrekvensen, och om variationerna mäts tillräckligt noggrant medger de beräkning av rotationsavvikelsen som ger upphov till pulsfrekvensens variationer. Dessa rotationsavvikelser kan orsakas av planeter som kretsar runt pulsaren, så kallade pulsarplaneter, och påverka denna på ett liknande sätt som beskrivs i radialhastighetsmetoden ovan.[3]

Metoden användes ursprungligen inte för att upptäcka exoplaneter men har visat sig vara känslig nog för att kunna upptäcka planeter så små om en tiondels jordmassa. Dessutom kan metoden användas för att se om pulsaren omges av flera planeter.

Eftersom pulsarer är relativt sällsynta är denna metod inte lämplig för att finna större mängder exoplaneter. Dessutom är det mycket osannolikt att en planet som kretsar runt en pulsar skulle ha liv - i alla fall inte liv som vi förstår det idag. En pulsar avger stora mängder högenergistrålning och är omedelbart dödligt för alla former av liv vi känner till.

Aleksander Wolszczan och Dale Frail använde år 1992 denna metod för att finna planeter runt pulsaren PSR 1257+12 [4] . Dessa planeter var de första bekräftade planeterna utanför vårt eget solsystem.

Transitmetoden



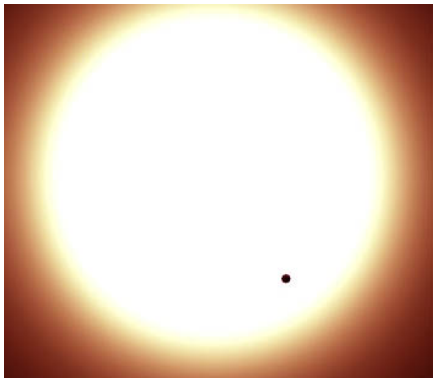
Ljusstyrkan som funktion av tid när en planet passerar framför en stjärna

Medan metoder såsom radialhastighet och pulsartiming kan användas för att bestämma en planets massa, kan denna fotometriska metod bidra med information om en planets storlek. När en planet passerar mellan en iakttagare och den stjärna planeten kretsar runt kan en liten minskning i den stjärnans totala ljusstyrka ses. Beroende på planetens storlek kan denna ljusstyrkeminskning variera. Som exempel kan nämnas planeten HD 209458, där ljusstyrkeminskningen är 1,7%.

Transitmetoden tillåter även att planetens eventuella atmosfär granskas. När planeten passerar framför sin stjärna passerar en liten andel av ljuset genom planetens övre atmosfär, och genom att granska spektrumet från detta ljus kan vissa grundämnens existens bestämmas. Ljusets polarisation (se polarimetri i denna artikel) kan även det användas för att bestämma egenskaper hos planetens atmosfär.

I mars 2005 använde två grupper av vetenskapsmän (från Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics under ledning av David Charbonneau och Goddard Space Flight Center under ledning av L. D. Deming) denna metod för att med hjälp av Spitzerteleskopet undersöka planeterna TrES-1 respektive HD 209458b. Mätningar gav vid handen att TrES-1 har en yttemperatur på runt 790°C medan yttemperaturen på HD 209458b är runt 860°C.

2006 började satelliten COROT från den franska rymdfartsmyndigheten Centre national d'études spatiales söka efter exoplaneter i omloppsbana, där frånvaron av atmosfär medger större mätprecision. Hittills har ett par heta jupiterplaneter upptäckts.



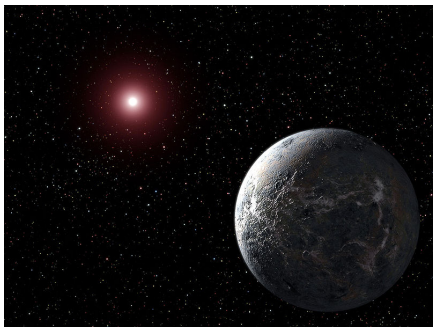
En konstnärs version av planeten COROT-Exo-7b framför sin stjärna, den röda dvärgen COROT-Exo-7.

I mars 2009 sände Nasa upp teleskopet Kepler med avsikt att bevaka ett stort antal stjärnor runt stjärnbilden Svanen. Förväntan är att kunna upptäcka planeter med liknande storlek som Jorden. Kepler använder transitmetoden för att bevaka ungefär 100 000 stjärnor. Tanken är också att genom att bevaka så många stjärnor kan inte bara jordliknande planeter upptäckas, utan även ge statistik om hur många sådana planeter som kretsar runt solliknande stjärnor. Kepler har redan upptäckt en gasjätte kallad HAT-P-7b[5] . Förhoppningen är att Kepler även kommer att kunna se gasjättar som inte passerar direkt mellan sin stjärna och teleskopet. Då planeten kretsar runt sin stjärna kommer den att liksom vår egen måne genomgå faser från ny till full, och detta ger upphov till regelbundna variationer i ljusstyrka från stjärnsystemet (fasvarians). Eftersom värmestrålning från planeten kan ses separat från reflekterat ljus, kan information utläsas om värmetransport från dagsidan till nattsidan samt till viss del atmosfärens uppbyggnad. Kepler kräver inte att planeten passerar framför sin stjärna, därför kan denna fasvariansmetod komma att leda till de flesta upptäckta exoplaneter.

Om ljusstyrkevariationer från en exoplanet är tidsmässigt oregelbundna (TTV, eller Transit Timing Variation), kan det bero på att stjärnan omges av flera planeter. Om ljusstyrkevariationerna varar oregelbundet (TDV, eller Transit Duration Variation) kan det bero på att en upptäckt exoplanet har en exomåne.

Gravitationslins

En gravitationslins är ett fenomen där ljus från ett objekt böjs i gravitationsfältet från ett annat objekt på sin väg till iakttagaren. Ett exempel är när ljuset från en mer avlägsen stjärna på väg mot jorden passerar nära en annan stjärna. Bilden av den mer avlägsna stjärnan kan då förvrängas på olika sätt. Den mer avlägsna stjärnan kan verka befinna sig på en annan plats än den egentligen gör, och den kan verka vara större än den egentligen är. Eftersom alla himlakroppar rör sig i förhållande till varandra varar denna gravitationslinseffekt som mest veckor, men vanligen dagar. De senaste tio åren har denna effekt iakttagits fler än 1 000 gånger.



En konstnärs version av OGLE-2005-BLG-390Lb.

Om förgrundsstjärnan har en planet i omkrets kommer planetens gravitation att ha en mätbar effekt på gravitationslinseffekten. Eftersom denna mätmetod kräver en mycket osannolik situation där stjärnorna är precis uppradade, krävs att ett mycket stort antal stjärnor ständigt bevakas för att finna tillräckligt många planeter inom rimlig tid. Den bästa riktningen att bevaka för denna effekt är mot galaxcentrum, eftersom den största mängden bakgrundsstjärnor finns där.

1991 föreslog astronomerna Shude Mao och Bohdan Paczynski att denna metod kunde användas för att finna exoplaneter. En grupp polska astronomer (Andrzej Udalski, Marcin Kubiak och Michał Szymański från Warszawa samt Bohdan Paczynski) kunde år 2002 nå framgång när de som del av projektet OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) utvecklade en användbar metod. Under en månads tid fann de flera möjliga exoplaneter, men begränsningar i observationerna omöjliggjorde otvetydig verifiering. Sedan dess har fyra exoplaneter upptäckts med denna metod, och 2006 var detta den enda metod som kunde identifiera planeter med en massa liknande Jordens runt vanliga stjärnor i huvudserien.[6] .

En stor nackdel med denna metod är att detektioner inte kan upprepas, då det finns stor risk att den linjering som möjliggjorde detektering aldrig kommer att återinfalla. Dessutom är verifiering med andra metoder mycket svår eftersom de funna planeterna ligger flera kiloparsec (tusentals ljusår) från Jorden. Om tillräckligt många bakgrundsstjärnor kan bevakas med tillräckligt stor precision skulle metoden till slut kunna visa hur vanliga jordliknande planeter är i vår galax.

Observationer görs ofta av nätverk av automatiserade teleskop. OGLE-projektet, som finansieras av Nasa och National Science Foundation arbetar med att förbätta metoden. Ett projekt kallat *PLANET/RoboNet* (Probing Lensing Anomalies NETwork) har en ännu ambitiösare plan, där de med hjälp av ett världsomspännande nätverk av teleskop kan bevaka himlavalvet dygnet runt. Detta medger upptäckt av planeter med en massa så pass låg som Jordens. Denna strategi fungerade väl när den första lågmasseplaneten i lång omloppsbana, kallad OGLE-2005-BLG-390Lb upptäcktes[6] . Planeten väger lika mycket som fem jordklot och dess omloppsbana för den tre gånger så långt ut från sin stjärna som Jorden är från Solen, vilket leder till spekulationer om att yttemperaturen ligger på -220°C.

Direkt upptäckt

Som tidigare omnämnts är det mycket svårt att direkt se en planet mot bakgrundsljuset från den stjärna planeten kretsar runt. Den lilla mängd ljus som planeten reflekterar drunknar i det omgivande stjärnljuset.

Det finns några teleskop som har instrumentering som är tillräckligt känslig för att detektera planeter direkt, till exempel de två Geminiteleskopen (varav ett ligger på berget Cerro Pachón i Chile och ett på Mauna Kea, Hawaii), VLT på berget Cerro Paranal i Atacamaöknen i Chile, samt Subaruteleskopet på Mauna Kea, Hawaii.

Fram till och med år 2010 har optiska teleskop endask kunnat se exoplaneter under mycket speciella omständigheter. Planeten har till exempel varit mycket lättare att se om den varit större (mycket större än Jupiter, i en omloppsbana som fört planeten långt från sin stjärna, samt om planeten varit varm nog att utstråla sin egen infraröda energi. En grupp vetenskapsmän från Nasas JPL visade emellertid att man med koronografiska förvrängningar kan se exoplaneter med små teleskop[7] . De använde denna metod för att se exoplaneten HR 8799 med ett 1,5m teleskop. En annan lovande metod är nullningsinterferometri[8] .

En bild som togs av Beta Pictoris i 2003 undersöktes igen år 2008 varvid en planet upptäcktes 2009, då den förflyttat sig till den andra sidan av sin stjärna.

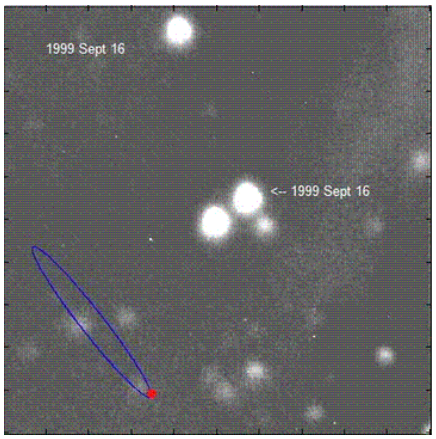
I juli 2004 tog en grupp astronomer vid VLT en bild av satelliten 2M1207b som kretsar runt den bruna dvärgen 2M1207[9] . I december 2005 kunde satellitens status som planet bekräftas[10] , och den tros vara flera gånger tyngre än jupiter och ligga på ett medelavstånd av 40 AE från sin stjärna. I september 2008 iakttogs en satellit som låg ungefär 330 AE från stjärnan 1RXSJ160929.1-210524, och det tog ända till 2010 innan denna satellit även den kunde bekräftas vara en planet[11] .

Under 2007 togs bilder av det första flerplanetssystemet. Bilderna togs av Keck-observatoriet och Gemini-observatoriet på Mauna Kea, Hawaii. Tillkännagivandet som gjordes den 13 november 2008 bekräftade att tre planeter kunde ses kretsa runt stjärnan HR8799. Planeternas massor beräknas till omkring 10, 10 respektive 7 gånger Jupiters massa[12] [13] . Samma dag som detta tillkännagivande meddelades även att Hubble kunnat ta bilder av en planet runt stjärnan Formalhaut, vars massa inte tros överstiga 3 jupitermassor[14] . Båda systemen omges av grusbälten som liknar Kuiperbältet. I november 2009 tillkännagavs att HiCiaoinstrumentet på Subaruteleskopet direkt iakttagit ett stjärnsystem kring GJ 758[15] .

Bland andra exoplaneter som kan ha avbildats direkt kan nämnas GQ Lupi b, AB Pectoris b och SCR 1845 b.[16] . Dessa har inte än bekräftats vara planeter, utan kan i själva verket vara bruna dvärgar[17] [18] .

Alternativa metoder

Astrometri



Rörelse hos stjärnan VB 10 över en period av 9 år.

Denna metod baseras på mätningar av en stjärnas position och dess rörelser med hög precision. Detta gjordes ursprungligen visuellt och med handskrivna anteckningar. Mot slutet av 1800-talet användes fotografiska plåtar, vilket förbättrade noggrannheten och även skapade ett dataarkiv. Om en stjärna omges av en planet kommer detta att få stjärnan själv att göra små cirklar eller ovaler, eftersom stjärnan och planeten roterar runt ett gemensamt masscentrum enligt tvåkropparsproblemet[19] . Eftersom stjärnans massa vida överstiger planetens kommer stjärnans omloppsbana runt masscentrum att vara mycket mindre – ofta ligger masscentrum inom stjärnans radie.

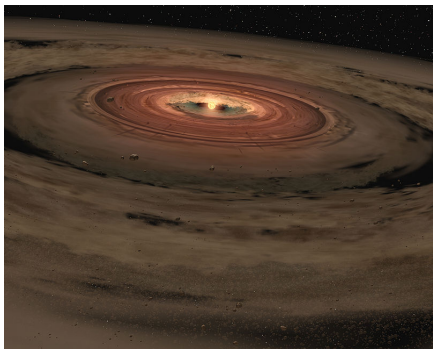
Astrometri är den äldsta metoden för att söka efter exoplaneter. Den blev populär tack vare framgång genom att kunna identifiera dubbelstjärnor. Tidigaste kända omnämningen är sent 1700-tal då William Herschel sade sig ha upptäckt en *osynlig följeslagare* som tycktes påverka en stjärna han katalogiserade som 70 Ophiuchi. De första bekräftade beräkningarna baserade på astrometri gjordes av W. S. Jacob 1855 för samma stjärna. Likande beräkningar utfördes av andra under det kommande halvseklet, men dementerades till slut i början på 1900-talet[20] [21] . I 200 år gick rykten att *osynliga följeslagare* iakttagits runt en närliggande stjärna, och alla iakttagelser gjordes enligt astrometrimetoden[22] . 1996 tillkännagav George Gatewood att han funnit flera planeter i omloppsbana runt stjärnan Lalande 21185[23] [24] . Alla dessa exoplaneter visade sig emellertid vara falska när de undersöktes av andra astronomer och metoder och astrometrimetoden föll i onåd. Störningar i jordens atmosfär gör det i stort sett omöjligt att för markbaserade teleskop med säkerhet se så små rörelser hos stjärnor. Alla exoplaneter upptäckta före 1996 med denna metod, där den *osynliga följeslagaren* har en massa på minde än 0,1 solmassor, är med stor sannolikhet falska. År 2002 lyckades Hubbleteleskopet finna en tidigare upptäckt exoplanet runt stjärnan Gliese 876 med hjälp av astrometrimetoden[25] .

Framtida rymdbaserade observatorier som till exempel Nasas Space Interferometry Mission kan komma att lyckas finna exoplaneter med astrometrimetoden, men hittills har inga exoplaneter bekräftats med metoden.

En möjlig fördel med denna metod är att den är mest lämpad till upptäckt av planeter med långa omloppsbanor. Detta gör att metoden är ett utmärkt komplement till metoder som lämpas bäst för att upptäcka exoplaneter med korta omloppsbanor. Det krävs dock långa observationstider, så långa som decennier, för att en planet i så lång omloppsbana ska kunna göra ett fullt varv runt sin stjärna.

2009 tillkännagavs upptäckten av VB 10b via astrometrimetoden. Exoplaneten skulle ha en massa om 7 jupitermassor och gå i bana runt den röda dvärgen VB 10. Om exoplanetens existens kan bekräftas skulle det bli den första som faktiskt upptäckts med astrometrimetoden[26] [27] . Mer sentida mätningar med radialhastighetsmetoden har emellertid uteslutit existens av denna planet[28] [29] .

Cirkumstellära skivor



En konstnärs vision av stjärnan AA Tauri och en omgivande fragmentskiva.

Många stjärnor omges av fragmentskivor (ej att förväxlas med ackretionsskivor eller protoplanetära skivor) bestående av rymdstoft, jämförbart med vårt eget Kuiperbälte. Dessa skivor kan detekteras då de absorberar energi från sin stjärna och sedan avger denna energi i form av infraröd värmeenergi[30] . Även om den samlade massan av en sådan skiva vida understiger jordens massa kan skivans storlek och totala yta göra att skivan i det infraröda spektrumet ter sig ljusstarkare än den stjärna skivan kretsar runt.

Hubbleteleskopen kan med hjälp av sitt NICMOS-instrument (**N**ear **I**nfrared **C**amera and **M**ulti-**O**bject **S**pectrometer) se dessa skivor. Spitzerteleskopet kan se mer infraröda våglängder än Hubble och har även det iakttagit skivor runt stjärnor. Cirka 15% av närliggande stjärnor har dessa skivor[31] .

Dammet och gruset i skivorna tros komma från kollisioner mellan asteroider och kometer. Stjärnvinden motar dammpartiklarna iväg från stjärnan och in i interstellär rymd ganska snabbt. Det antas därför att dessa skivor kontinuerligt förnyas genom kollisioner. Detta i sin tur leder till ett antagande att kometer och asteroider kretsar runt stjärnan[31] . Stjärnan Tau Ceti har en skiva som liknar vårt eget Kuiperbälte, men är minst 10 gånger tjockare[30] .

Av mer spekulativ natur är antagandet är vissa egenskaper hos dessa skivor indikerar närvaron av planeter. Några av de funna skivorna är egentligen ringar, vilket kan tolkas som att planeter i omloppsbana runt stjärnan har absorberat damm och grus närmare stjärnan. Andra skivor har klumpar vilka kan ha formats genom gravitationell påverkan av en planet, en effekt som kan iakttas i ringarna runt Saturnus där ett flertal satelliter gravitationellt påverkar och formar dess ringar. Stjärnan Epsilon Eridani har en skiva som uppvisat båda dessa egenskaper. Detta antas indikera en planet i en bana runt 40 AE från sin stjärna, utöver de planeter som redan upptäckts genom radialhastighetsmetoden[32] .

Förmörkelsevariabler

När ett dubbelstjärnesystem ligger så till att stjärnorna, från jorden sett, passerar framför och bakom varandra, kan detta användas för att finna exoplaneter. Under ett fullt varv kommer två ljusminima att inträffa, dels primärförmörkelsen när den ljussvagare stjärnan passerar framför och helt eller delvis blockerar ljus från den ljusstarkare stjärnan, och dels sekundärförmörkelsen när den ljusstarkare stjärnan helt eller delvis blockerar ljus från the ljussvagare stjärnan. Dessa minima inträffar med förutsägbara mellanrum, och genom att mäta avvikelser från dessa förutsägelser kan planeters förekomst påvisas[33] [34] [35] .

Omloppsfas

Stora planeter med kort omloppsbana kommer att liksom månen genomgå faser (från ny till full) där olika mängder ljus reflekteras. Den fotometriska precision som krävs är stor, men det finns förhoppningar om att Keplerteleskopen kommer att kunna finna planeter i jupiterstorlek. En fördel med denna metod är att ljusskillnaderna mellan faserna är oberoende av förhållandet mellan planeten och siktlinjen från jorden till stjärnan, och denna metod kan därför vara den som används av Keplerteleskoper för att finna flest planeter. Dessutom kan mängden reflekterat ljus i de olika faserna ge viss information om atmosfärens uppbyggnad[36] .

Polarimetri

Ljus från stjärnor är opolariserat, det vill säga oscillationsriktningen av ljuset är slumpartad. När ljuset reflekteras i en planet polariseras ljuset emellertid när det interagerar med molekyler i planetens atmosfär[37] . Genom att analysera polariseringen i det reflekterade ljuset kan man se polarisering från omkringkretsande planeter. Detta kan göras med mycket hög precision från jordens yta eftersom polarisering inte påverkas av jordens atmosfäriska stabilitet. Polarimetrar kan skilja mellan polariserat och opolariserat ljus, men trots att grupper såsom ZIMPOL/CHEOPS[38] och PlanetPol[39] aktivt använder denna metod har ännu inga exoplaneter upptäckts.

Framtida uppdrag

Ett flertal rymdbaserade uppdrag som kommer att använda redan bevisat effektiva metoder har planerats. Astronomiska mätningar gjorda i rymden har högre precision än motsvarande mätning gjord från jordytan eftersom atmosfärens störningar då avlägsnats. Dessutom kan inte vissa infraröda våglängder tränga igenom atmosfären och kan då inte ses från jordbaserade observatorier.

Den 2 februari 2006 meddelade Nasa att projektet Terrestrial Planet Finder lagts på is på grund av budgetsvårigheter. I juni samma år meddelade amerikanska representanthuset att visst finansiellt stöd återställts och att projektet kunde drivas vidare, åtminstone till och med 2007. Den 27 december 2006 sändes COROT upp, och tidigt i mars 2009 gick Keplerteleskopet in i omloppsbana.

Nasas Space Interferometry Mission planeras i nuläget att skjutas upp 2014. Detta uppdrag kommer att anväda astrometri som upptäcksmetod. Förhoppningen är att detta uppdrag kommer att kunna finna jordliknande planeter i omloppsbana runt ett flertal närliggande stjärnor. Två uppdrag (Darwin från ESA och Terrestrial Planet Finder från Nasa) designades för att kunna direkt iaktta exoplaneter. Ett nyare projekt, New Worlds Mission, kommer att kunna blockera ljus från stjärnor och på så sätt kunna se de ljussvagare planeterna i omloppsbana. ESO har föreslagit konstruktion av European Extremely Large Telescope som skulle komma att ha speglar med diametrar på mellan 30 och 60 meter.

Ett projekt kallat ATLAST, planerat för 2025-2035, skulle kunna studera ytan på planeter i jordliknande storlek. The Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) kommer att använda transitmetoden för att övervaka cirka 2,5 miljoner närliggande stjärnor och där finna jordliknande steniga planeter med vatten, kretsande i den beboeliga zonen. TESS är ett samarbete mellan MIT och Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, *Methods of detecting extrasolar planets* [40]

[1] ”Externally Dispersed Interferometry” (http://www.spectralfringe.org/EDI/). *SpectralFringe.org*. Lawrence Livermore National Laboratory och Space Sciences Laboratory. juni 2006. .

[2] D.J. Erskine, J. Edelstein, D. Harbeck and J. Lloyd: Daniel R. Coulter: *Proceedings of SPIE: Techniques and Instrumentation for Detection of Exoplanets II* ” Externally Dispersed Interferometry for Planetary Studies (https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/322047.pdf)”, 2005, sid. 249–260.

[3] Townsend, Rich (27 January 2003). " *The Search for Extrasolar Planets (Lecture)* (http://www.star.ucl.ac.uk/~rhdt/diploma/lecture_2/)". Department of Physics & Astronomy, Astrophysics Group, University College, London. Hämtat 2006-09-10.

[4] A. Wolszczan and D. A. Frail (9 January 1992). " *A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12* (http://www.nature.com/physics/looking-back/wolszczan/index.html)". Nature 355 p. 145-147. Hämtat 2007-04-30.

[5] Borucki, W.J. et al. (2009). ” Kepler’s Optical Phase Curve of the Exoplanet HAT-P-7b (http://adsabs.harvard.edu/abs/2009Sci...325..709B)”. *Science* **325** (5941): ss. 709. doi: 10.1126/science.1178312 (http://dx.doi.org/10.1126/science.1178312). PMID 19661420. .

[6] J.-P. Beaulieu; D.P. Bennett; P. Fouque; A. Williams; M. Dominik; U.G. Jorgensen; D. Kubas; A. Cassan; C. Coutures; J. Greenhill; K. Hill; J. Menzies; P.D. Sackett; M. Albrow; S. Brillant; J.A.R. Caldwell; J.J. Calitz; K.H. Cook; E. Corrales; M. Desort; S. Dieters; D. Dominis; J. Donatowicz; M. Hoffman; S. Kane; J.-B. Marquette; R. Martin; P. Meintjes; K. Pollard; K. Sahu; C. Vinter; J. Wambsganss; K. Woller; K. Horne; I. Steele; D. Bramich; M. Burgdorf; C. Snodgrass; M. Bode; A. Udalski; M. Szymanski; M. Kubiak; T. Wieckowski; G. Pietrzynski; I. Soszynski; O. Szewczyk; L. Wyrzykowski; B. Paczynski (2006). ” Discovery of a Cool Planet of 5.5 Earth Masses Through Gravitational

Microlensing (http://www.nature.com/nature/journal/v439/n7075/full/nature04441.html)". *Nature* **439** (7075): ss. 437–440. doi: 10.1038/nature04441 (http://dx.doi.org/10.1038/nature04441). PMID 16437108. .

[7] Ny metod kan se jordliknande planeter (http://www.msnbc.msn.com/id/36528711/ns/technology_and_science-space/)

[8] Earth-like Planets May Be Ready for Their Close-Up (http://www.jpl.nasa.gov/news/news.cfm?release=2010-207)

[9] G. Chauvin; A.M. Lagrange; C. Dumas; B. Zuckerman; D. Mouillet; I. Song; J.-L. Beuzit; P. Lowrance (2004). " A giant planet candidate near a young brown dwarf (http://www.edpsciences.org/articles/aa/abs/2004/38/aagg222/aagg222.html)". *Astronomy & Astrophysics* **425**: ss. L29 - L32. doi: 10.1051/0004-6361:200400056 (http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:200400056). .

[10] "Yes, it is the Image of an Exoplanet (Press Release)" (http://www.eso.org/public/news/eso0515/). *ESO website*. April 30, 2005. . Läst 2010-07-09.

[11] Astronomers verify directly imaged planet (http://cs.astronomy.com/asycs/blogs/astronomy/2010/06/22/astronomers-verify-directly-imaged-planet.aspx)

[12] Marois, Christian; *et al.* (November 2008). " Direct Imaging of Multiple Planets Orbiting the Star HR 8799 (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/sci;1166585v1)". *Science* (5906): ss. 1348. doi: 10.1126/science.1166585 (http://dx.doi.org/10.1126/science.1166585). PMID 19008415. . Läst 2008-11-13. (Preprint at exoplanet.eu (http://exoplanet.eu/papers/exo_science.pdf))

[13] W. M. Keck Observatory (13 oktober 2008). " Astronomers capture first image of newly-discovered solar system (http://www.keckobservatory.org/article.php?id=231)". Pressmeddelande. Hämtad 13 oktober 2008.

[14] "Hubble Directly Observes a Planet Orbiting Another Star" (http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/fomalhaut.html). . Läst November 13, 2008.

[15] Thalmann, Christian; Joseph Carson; Markus Janson; Miwa Goto; Michael McElwain; Sebastian Egner; Markus Feldt; Jun Hashimoto; *et al*. (2009). *Discovery of the Coldest Imaged Companion of a Sun-Like Star*.

[16] R. Neuhauser; E. W. Guenther; G. Wuchterl; M. Mugrauer; A. Bedalov; P.H. Hauschildt (2005). " Evidence for a co-moving sub-stellar companion of GQ Lup (http://www.edpsciences.org/articles/aa/abs/2005/19/aagj061/aagj061.html)". *Astronomy & Astrophysics* **435**: ss. L13 – L16. doi: 10.1051/0004-6361:200500104 (http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:200500104). .

[17] "Is this a Brown Dwarf or an Exoplanet?" (http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2005/pr-09-05.html). *ESO Website*. April 7, 2005. . Läst 2006-07-04.

[18] M. Janson; W. Brandner; T. Henning; H. Zinnecker (2005). " Early ComeOn+ adaptive optics observation of GQ Lupi and its substellar companion (http://www.edpsciences.org/articles/aa/abs/2006/26/aa4475-05/aa4475-05.html)". *Astronomy & Astrophysics* **453**: ss. 609–614. doi: 10.1051/0004-6361:20054475 (http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20054475). .

[19] Alexander, Amir. "Space Topics: Extrasolar Planets Astrometry: The Past and Future of Planet Hunting" (http://www.planetary.org/explore/topics/extrasolar_planets/extrasolar/astrometry.html). The Planetary Society. . Läst 2006-09-10.

[20] Sherrill, Thomas J. (1999). " A Career of controversy: the anomaly OF T. J. J. See (http://www.shpltd.co.uk/jha.pdf)" (PDF). *Journal for the history of astronomy* **30**. . Läst 2007-08-27.

[21] Heintz, W.D. (June 1988). " The Binary Star 70 Ophiuchi Revisited (http://adsabs.harvard.edu/abs/1988JRASC..82..140H)". *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* **82** (3): ss. 140. . Läst 2007-08-27.

[22] See, Thomas Jefferson Jackson (1896). "Researches on the Orbit of F.70 Ophiuchi, and on a Periodic Perturbation in the Motion of the System Arising from the Action of an Unseen Body". *The Astronomical Journal* **16**: ss. 17. doi: 10.1086/102368 (http://dx.doi.org/10.1086/102368).

[23] Gatewood, G. (May 1996). "Lalande 21185". *Bulletin of the American Astronomical Society* (American Astronomical Society, 188th AAS Meeting, #40.11;) **28**: ss. 885. Bibcode: 1996AAS...188.4011G (http://adsabs.harvard.edu/abs/1996AAS...188.4011G).

[24] John Wilford (1996-06-12). "Data Seem to Show a Solar System Nearly in the Neighborhood" (http://www.nytimes.com/1996/06/12/us/data-seem-to-show-a-solar-system-nearly-in-the-neighborhood.html). The New York Times. s. 1. . Läst 2009-05-29.

[25] Benedict *et al.*; McArthur, B. E.; Forveille, T.; Delfosse, X.; Nelan, E.; Butler, R. P.; Spiesman, W.; Marcy, G.; *et al*. (2002). " A Mass for the Extrasolar Planet Gliese 876b Determined from Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor 3 Astrometry and High-Precision Radial Velocities (http://www.iop.org/EJ/article/1538-4357/581/2/L115/16766.html)". *The Astrophysical Journal Letters* **581** (2): ss. L115–L118. doi: 10.1086/346073 (http://dx.doi.org/10.1086/346073). .

[26] Pravdo, Steven H.; Shaklan, Stuart B. (2009). " An Ultracool Star's Candidate Planet (http://steps.jpl.nasa.gov/links/docs/pravdoshaklan09vb10b.pdf)". *Insänt till Astrophysical Journal*. . Läst 2009-05-30.

[27] "First find Planet-hunting method succeeds at last" (http://planetquest.jpl.nasa.gov/news/firstFind.cfm). PlanetQuest (http://planetquest.jpl.nasa.gov/). 2009-05-28. . Läst 2009-05-29.

[28] Bean et al., J. et al.; Andreas Seifahrt; Henrik Hartman; Hampus Nilsson; Ansgar Reiners; Stefan Dreizler; Henry; Guenter Wiedemann (2009). *The Proposed Giant Planet Orbiting VB 10 Does Not Exist*.

[29] Anglada-Escude, G. el al.; Shkolnik; Weinberger; Thompson; Osip; Debes (2010). *Strong Constraints to the Putative Planet Candidate around VB 10 Using Doppler Spectroscopy*.

[30] J.S. Greaves; M.C. Wyatt; W.S. Holland; W.F.R. Dent (2004). "The debris disk around tau Ceti: a massive analogue to the Kuiper Belt". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **351**: ss. L54 – L58. doi: 10.1111/j.1365-2966.2004.07957.x (http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.07957.x).

[31] Greaves, J.S.; M.C. Wyatt; W.S. Holland; W.F.R. Dent (2003). "Submillimetre Images of the Closest Debris Disks". *Scientific Frontiers in Research on Extrasolar Planets*: 239 – 244, Astronomical Society of the Pacific.

[32] Greaves *et al.*; Holland, W. S.; Wyatt, M. C.; Dent, W. R. F.; Robson, E. I.; Coulson, I. M.; Jenness, T.; Moriarty-Schieven, G. H.; *et al.* (2005). ” Structure in the Epsilon Eridani Debris Disk (http://www.iop.org/EJ/article/1538-4357/619/2/L187/18910.html)”. *The Astrophysical Journal Letters* **619** (2): ss. L187–L190. doi: 10.1086/428348 (http://dx.doi.org/10.1086/428348). .

[33] Doyle, Laurance R.; Hans-Jorg Deeg (2002). ”Timing detection of eclipsing binary planets and transiting extrasolar moons”. *Bioastronomy* **7**. "Bioastronomy 2002: Life Among the Stars" IAU Symposium 213, R.P Norris and F.H. Stootman (eds), A.S.P., San Francisco, California, 80-84.

[34] Deeg, Hans-Jorg; Laurance R. Doyle, V.P. Kozhevnikov, J Ellen Blue, L. Rottler, and J. Schneider (2000). ” A search for Jovian-mass planets around CM Draconis using eclipse minima timing (http://citeseer.ist.psu.edu/379779.html)”. *Astronomy & Astrophysics* (358): ss. L5–L8. .

[35] Doyle, Laurance R., Hans-Jorg Deeg, J.M. Jenkins, J. Schneider, Z. Ninkov, R. P.S. Stone, J.E. Blue, H. Götzger, B, Friedman, and M.F. Doyle (1998). "Detectability of Jupiter-to-brown-dwarf-mass companions around small eclipsing binary systems" (http://citeseer.ist.psu.edu/doyle97detectability.html). Brown Dwarfs and Extrasolar Planets, A.S.P. Conference Proceedings, in Brown Dwarfs and Extrasolar Planets, R. Rebolo, E. L. Martin, and M.R.Z. Osorio (eds.), A.S.P. Conference Series 134, San Francisco, California, 224-231.

[36] Jenkins, J.M.; Laurance R. Doyle (2003-09-20). ” Detecting reflected light from close-in giant planets using space-based photometers (http://www.iop.org/EJ/article/0004-637X/595/1/429/56774.web.pdf)” (PDF). *Astrophysical Journal* **1** (595): ss. 429–445. doi: 10.1086/377165 (http://dx.doi.org/10.1086/377165). .

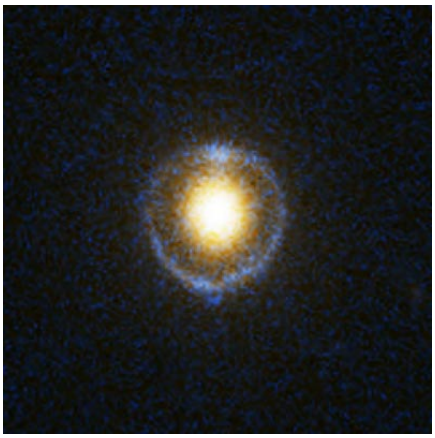
[37] Schmid, H. M.; Beuzit, J.-L.; Feldt, M. et al. (2006). ” Search and investigation of extra-solar planets with polarimetry (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=2006dies.conf..165S&db_key=AST&data_type=HTML&format=&high=44bf31ad8513145)”. *Direct Imaging of Exoplanets: Science & Techniques. Proceedings of the IAU Colloquium #200* **1**: ss. 165–170. doi: 10.1017/S1743921306009252 (http://dx.doi.org/10.1017/S1743921306009252). .

[38] Schmid, H. M.; Gisler, D.; Joos, F. et al. (2004). ” ZIMPOL/CHEOPS: a Polarimetric Imager for the Direct Detection of Extra-solar Planets (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=2005ASPC..343...89S&db_key=AST&data_type=HTML&format=&high=44bf31ad8513145)”. *Astronomical Polarimetry: Current Status and Future Directions ASP Conference Series* **343**: ss. 89. .

[39] Hough, J. H.; Lucas, P. W.; Bailey, J. A.; Tamura, M.; Hirst, E.; Harrison, D.; Bartholomew-Biggs, M. (2006). ” PlanetPol: A Very High Sensitivity Polarimeter (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=2006PASP..118.1305H&db_key=AST&data_type=HTML&format=&high=44bf31ad8518011)”. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **118** (847): ss. 1305–1321. doi: 10.1086/507955 (http://dx.doi.org/10.1086/507955). .

[40] http://en.wikipedia.org/wiki/En%3Amethods_of_detecting_extrasolar_planets

Einsteinring

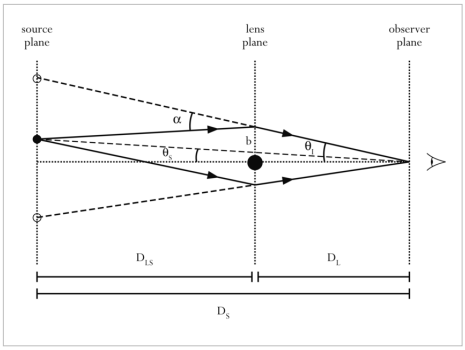


Einsteinring är en term inom astronomin för den deformation i form av en ring som ljuset från en källa (så som en galax eller en stjärna) bildar genom att ljuset böjs på grund av påverkan av gravitationen från en enormt stor massa (som en annan galax eller ett svart hål). Detta inträffar när källan, massan och observatören är på en perfekt linje. Den första hela Einsteinringen som upptäcktes benämns B1938+666 och upptäcktes 1998 via ett samarbete mellan astronomer vid University of Manchester och NASAs rymdteleskop Hubble.

Introduktion

En gravitationslins definieras av Albert Einsteins relativitetsteori. Istället för att ljus färdas i en rak linje i tre dimensioner, böjs det tack vare närheten av en massiv kropp vilket påverkar rumtiden. Einstein kunde med hjälp av sina beräkningar visa att om ett massivt objekt som kan betraktas punktformigt och den bakomliggande ljuskällan ligger i linje med varandra, kommer symmetrin i gravitationslinsen att förvränga källan till en perfekt ring runt objektet. En Einsteinring är ett specialfall av en gravitationslins, orsakad av att källan, objektet och observatören är på en och samma linje.

Storleken på Einsteinringen ges av Einsteinradien.



$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2}\,\frac{d_{LS}}{d_L d_S}},$$

θ_E är storleken i radianer,

G är en gravitationskonstant,

M är massan av linsobjektet,

c är ljusets hastighet,

d_L är vinkelavståndet till linsobjektet,

d_S är vinkelavståndet till källan,

d_{LS} är vinkelavståndet mellan linsobjektet och källan.

Lägg märke till när det gäller kosmologiska avstånd är normalt inte $d_{LS} \neq d_s - d_L$

Historia

År 1912 förespådde Einstein att ljuset böjdes av en gravitationskropp. Detta var några år innan han 1916 publicerade den allmänna relativitetsteorin. I akademisk litteratur nämndes ringarna för första gången 1924 av Orest Chvolson. Först 1936 skrev Albert Einstein om effekten. Detta gjorde han på grund av ett brev från den tjeckiska ingenjören R W Mandl men där skrev Einstein:

"Så klart, det finns inget hopp att direkt få observera detta fenomen. För det första, kan vi knappt närma oss nära nog till en sådan perfekt linje. För det andra, vinkeln β är mindre än noggrannheten på våra instrument." (Science vol 84 s.506 1936).

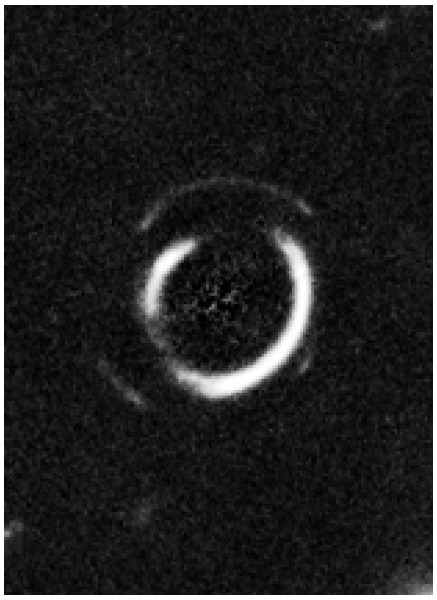
I detta uttalande är β Einsteinradien. Denna kom senare att betecknas θ_E. Einstein tänkte bara på chansen att observera Einsteinringar orsakade av stjärnor. Den chansen är väldigt liten. Chansen att observera Einsteinringar orsakade av större objekt som galaxer eller svarta hål är större då Einsteinringens vinkelstorlek ökar med massan av objektet.

Kända Einsteinringar

För tillfället är hundratals gravitationslinser kända. Ungefär ett halvt dussin av dem har partiella Einsteinringar med diametrar upp till en bågsekund. På grund av att objekten inte har massan perfekt axiellt fördelad eller att källan, objektet och observatören är inte är perfekt på linje har vi bara sett ett par perfekta Einsteinringar. De flesta ringarna har upptäckts i radioområdet.

Flera ringar

Raphael Gavazzi vid STScI och Tommaso Treu vid University of California, Santa Barbara har med hjälp av rymdteleskopet Hubble upptäckt dubbla Einsteinringar. För att Einsteinringar ska uppkomma krävs som beskrevs innan att källan, massan och observatören är på en perfekt linje. Om en dubbelring ska upptäckas krävs dessutom att en andra galax ligger på denna perfekta linje. Dubbla ringar ökar förståelsen av mörk materia, mörk energi, karaktären av avlägsna galaxer och krökningen av universum. Oddsen att hitta en dubbelring är inte särskilt stora, de är 1 på 10 000. Att hitta 50 stycken lämpliga dubbelringar skulle ge astronomerna en mer noggrann mätning av hur mycket mörk materia det finns i universum och utnämnandet av tillståndet hos den mörka energin till 10 procents precision.



Dubbel Einsteinring

Referenser

Källor

- Cabanac, R. A.; et al. (2005). ”Discovery of a high-redshift Einstein ring [1]”. *Astron.Astrophys.* **436**: ss. L21–L25. doi:10.1051/0004-6361:200500115 [2]. (refers to FOR J0332-3357)
- Chwolson, O (1924). ”Über eine mögliche Form fiktiver Doppelsterne [3]”. *Astronomische Nachrichten* **221**: ss. 329. doi:10.1002/asna.19242212003 [4]. (The first paper to propose rings)
- Einstein, Albert (1936). ”Lens-like Action of a Star by the Deviation of Light in the Gravitational Field [5]”. *Science* **84** (2188): ss. 506–507. doi:10.1126/science.84.2188.506 [6]. PMID 17769014. (The famous Einstein Ring paper)
- Renn, Jurgen; Tilman Sauer and John Stachel (1997). ”The Origin of Gravitational Lensing: A Postscript to Einstein's 1936 Science paper”. *Science* **275** (5297): ss. 184–186. doi:10.1126/science.275.5297.184 [7]. PMID 8985006.
- Barbour, Jeff (2005-04-29). ”Nearly perfect Einstein ring discovered” [8]. Universe Today. Läst 2006-06-15. (refers to FOR J0332-3357)
- ”Hubble Finds Double Einstein Ring” [9]. Science Daily. 2008-01-12. Läst 2008-01-14.

Artikeln är, helt eller delvis, en översättning från engelskspråkiga Wikipedia [10].

Referenser

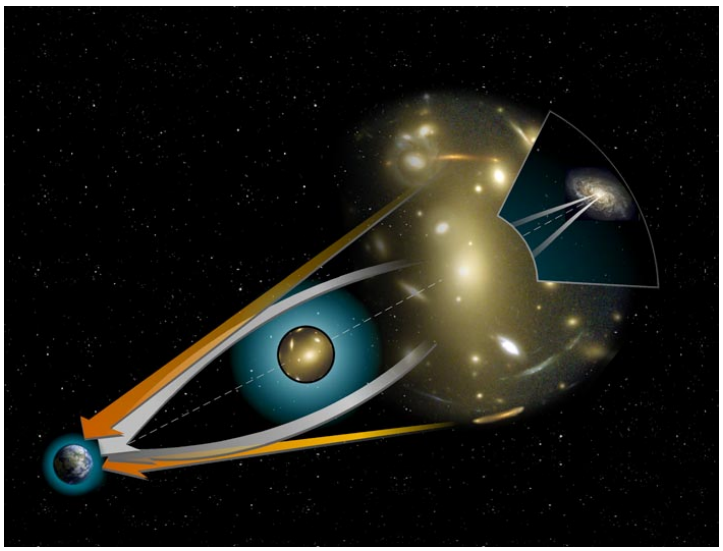
[1] http://www.arxiv.org/astro-ph/0504585
[2] http://dx.doi.org/10.1051%2F0004-6361%3A200500115
[3] http://ukads.nottingham.ac.uk/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1924AN....221..329C
[4] http://dx.doi.org/10.1002%2Fasna.19242212003
[5] http://www.to.infn.it/~zaninett/projects/storia/einstein1936.pdf
[6] http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.84.2188.506
[7] http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.275.5297.184
[8] http://www.universetoday.com/am/publish/perfect_einstein_ring.html
[9] http://www.sciencedaily.com/releases/2008/01/080110102319.htm
[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction

Gravitationslins

En **gravitationslins** refererar till en fördelning av materia, tex. en galaxhop, mellan en avlägsen ljuskälla och en observatör. En gravitationslins är kapabel till att böja (bryta) ljuset från ljuskällan på väg till observatören. Själva effekten är känd som gravitationsbrytning (linsböjning), och detta förutsågs i Albert Einsteins generella relativitetsteori.

Även om Orest Chwolson krediteras som den första att diskutera fenomenet i tryck 1924, är effekten vanligen förknippas med Einstein, som publicerade en mer känd artikel om ämnet 1936.

Fritz Zwicky ansåg 1937 att effekten kan ge galaxhopar att agera som gravitationella linser.



Ljus böjs i närheten av massiva objekt. De orangea linjerna visar objektets skenbara position och de vita linjerna visar ljusets väg från källans verkliga position.

Beskrivning

Rumtiden kring ett massivt föremål (t.ex. en galaxhop eller ett svart hål) är krökt, och som en följd att ljusstrålar från en bakgrunds källa (till exempel en galax) som sprids via rumtiden blir böjda. Den Lensining effekt kan förstora och förvränga bilden av bakgrunden källan.

Till skillnad från en optisk lins, så är max "böjning" förekommande närmast, och minsta "böjningen" längst ifrån, mitten av en gravitationell lins. Följaktligen har ett gravitationslins ingen enskild kontaktpunkt, men en central linje i stället. Om en (ljus) källa, den massiva Lensning objektet och observatören ligga i en rak linje, kommer den ursprungliga ljuskällan att visas som en ring runt det massiva Lensning objektet. Om det är någon förskjutning mellan observatören och källan kommer det att synas som en båge istället. Detta fenomen nämns första gången 1924 av S: t Petersburg fysikern Orest Chwolson, och kvantifierades av Albert Einstein 1936. Det är oftast benämnt i litteraturen som en Einstein ring, eftersom Chwolson inte befattade sig med flödet eller radien av ringen i bilden. Oftare, där Lensnings massan är komplex (t.ex. galax grupper och kluster) och inte orsakad av en sfärisk snedvridning av tid och rum, kommer källan att likna partiella bågar utspridda runt linsen. Observatören får då se flera förvrängda bilder av samma källa, antalet och formen på dessa är beroende av den relativa positionen av källan,

linsen och observatör, och formen på den gravitationella linsen.

Det finns tre klasser av gravitationella Linser: [2]

1. Stark Lensning: där det finns väl synliga förvrängningar som bilder av Einstein ringar och bågar.

2. Svag lins böjning: om snedvridning av bakgrunds källan är mycket mindre och kan bara upptäckas genom att analysera ett stort antal källor för att finna samstämmiga snedvridning av endast ett fåtal procent. Lins böjning dyker upp statistiskt som en prioriterad sträckning av ett bakgrunds objekt vinkelrätt mot mitten av linsen. Genom att mäta former och inriktningar av ett stort antal avlägsna galaxer, kan deras riktlinjer som medelvärdet för att mäta klippa av Lins böjnings området i någon region. Detta i sin tur kan användas för att rekonstruera massdistribution av området: i synnerhet, kan bakgrunds fördelningen av mörk materia rekonstrueras. Eftersom galaxer är nära elliptiska och den svaga gravitationella lins böjnings signalen är liten, måste ett mycket stort antal galaxer användas i dessa undersökningar. Dessa svaga lins böjnings undersökningar måste undvika ett antal viktiga källor till systematiska fel: den inneboende formen av galaxer, måste en kameras punkt spridnings funktion att snedvrida formen av en galax och tendensen i atmosfären att se att snedvrida bilder förstås och noggrant redovisas. De kan också ge viktig framtida mätningar för mörk energi.

3. Mikrolins brytning: där ingen distinkt i form kan ses, men mängden ljus från ett bakgrunds objekt förändras med tiden. Den Lins böjningen märks med stjärnorna i Vintergatan som ett typiskt fall, med bakgrunds källan som stjärnor i en avlägsen galax, eller i ett annat mål, en ännu mer avlägsen kvasar. Effekten är liten, så att (i fallet med stark lins böjning) även en galax med en massa mer än 100 miljarder gånger så mycket som solen kommer att producera flera bilder separerade med bara några få bågsekunder. Galaxhopar kan producera separationer i flera bågminuter. I båda fallen där källorna är avlägsna galaxer, med många hundra megaparsec bort från vår galax.

Gravitationslinser handlar lika mycket om alla typer av elektromagnetisk strålning, inte bara synligt ljus. Svaga linsböjningar studeras med den kosmiska bakgrundsstrålningen liksom galaxundersökningar. Starka linser har observerats i radio och röntgen regimer också. Om en stark lins ger flera bilder, kommer det att finnas en relativ tidsfördröjning mellan två vägar: det vill säga en bild av lins böjnings objekt kommer att observeras innan den andra bilden.

Simulering

Till höger är en simulering av gravitationell lins böjning orsakas av en Einstein svart hål passerar framför en bakgrund galax. En sekundär bild av galaxen kan ses inom det svarta hålets Schwarzschild radie på motsatt sida galaxen. Sekundärbilden växer (stannar kvar inom ringen) som primär bilden närmar det svarta hålet. Ytan ljusstyrka de två bilderna är konstant, men deras kantiga varierar i storlek, därför producerar en utvidgning av galaxen luminositet som ses av en avlägsen observatör. Maximal förstärkning uppstår när galaxen (eller i detta fall en del av ljuset) är exakt bakom det svarta hålet.

Studerande av förgrundslinser

Observationer av gravitationell linsbrytning kan också omvändas för att undersöka själva linsen. Direkta mätningar av massan i vilketsomhelst astronomiskt objekt är ovanliga, och alltid varmt välkomna. Medan de flesta andra astronomiska observationer enbart är känsliga för det utsända ljuset, är teorierna om dessa mer inriktade på fördelningen av massa. Att jämföra ljus och massa involverar antaganden om komplicerade astrofysikaliska processer. Gravitationell linsbrytning är speciellt användbart om linsen av någon anledning är svår att se.

Gravitationell mikrolinsbrytning kan ge information om jämförelsevis små astronomiska objekt, så som MACHOs inuti vår egen galax eller exoplaneter (planeter i andra solsystem än vårt eget). Tre exoplaneter har hittills blivit funna på detta sätt, och tekniken verkar lovande för att hitta planeter med massa som liknar Jorden, runt solliknande stjärnor inom 2000-talet. Forskarsällskapen MOA och PLANET fokuserar på denna forskning.

Svaga och starka gravitationslins-böjningar av avlägsna galaxer orsakade av förgrundskluster kan ge oss information om mängd samt fördelning av massa i galaxen, som domineras av osynlig mörk materia. Bortsätt från att fastställa hur mycket mörk materia galaxerna innehåller, är dess fördelning i dessa system beroende av egenskaper inkluderande massan av dess (okända) konstituerade partiklar och deras kollisions-tvärsnitt. Antalet starka gravitationslinser runtom på himlen kan också användas till att mäta värden av kosmologiska parametrar som tex. medeldensiteten av all massa i universum. För närvarande lägger dock statistiken inte särskilt starka gränser på kosmologiska parametrar, delvis på grund av att man hittat relativt få starka linser överhuvudtaget (mindre än hundra stycken). Svag gravitationslins-böjning kan utöka analysen från dessa mest massiva kluster och kan tex. rekonstruera den storskaliga fördelningen av massa. Detta är känsligt för kosmologiska parametrar inkluderande medeldensiteten av massa, dess klusterbildande egenskaper och den kosmologiska konstanten.

Universums geometri

Som en rent geometrisk effekt, kan gravitationslins-böjning användas till att mäta historian av universums expansion (dess storlek som en funktion av tiden sedan Big Bang), vilken är inkodad i Hubbles lag. Om massfördelningen i förgrunden är välförstådd (vanligtvis från flera starka linsböjnings-bågar, och möjligtvis svaga lins-böjningar i utkanterna), kan två andra fria parametrar användas för att begränsa Hubbles konstant, eller avvikelser från Hubbles lag orsakade av mörk energi. I båda fallen behövs i princip bara en gravitationslins för bästa möjliga mätning. Sökandet fortsätter efter den perfekta linsen, med många multipla-avbildade bågar.

Det kommer att bli en tidsförskjutning (några dagar eller veckor) mellan multipla bilder av samma källa pga: 1: En förskjutning till följd av olikheter i optiska våglängder mellan två individuella ljusvågor. 2: Den generellt relativistiska Shapiroeffekten, som beskriver att individuella ljusvågor tar längre tid på sig att genomresa ett område med starkare gravitation pga. två ljusvågor reser genom olika delar av en potentiell brunn skapad av deflektorn, då kommer klockorna som bär källans signal att skilja sig lite grand.

Om antingen mängden eller spektrumet av ljuset orsakat av bakrundskällor varierar under tiden, kommer karaktäristiska variationer att ses inträffa först i en bild, och sedan i de andra bilderna.

En gravitationslins förstorar och förvränger fler avlägsna källor än de precis bakom linsen (men inte dem framför linsen). Simpel geometri kan användas för att beräkna effektiviteten av en gravitations-lins, då som en funktion av vinkeldiameteravståndet till källan. Om förvrängningen kan mätas på multipla avstånd, kan detta avstånd jämföras med rödförskjutningen av dessa källor: ett direkt Hubblediagram. Vidare, kräver denna teknik bara förhållandet av förvrängningen mellan två avstånd. Den totala massan av förgrundslinsen upphäver därför och behöver inte vara begränsat (även om dess radiella profil är det). Genom att använda en mer massiv lins ökar helt enkelt signal-brusförhållandet när man mäter.

Sökandet efter gravitationslinser

De flesta av gravitationslinserna hittades förr av misstag. Sökandet efter gravitationslinser i den norra hemisfären (Cosmic Lens All Sky Survey, CLASS), genomförda i radiofrekvenser genom att använda Very Large Array (VLA) in New Mexico, ledde till upptäckandet av 22 nya linsbrytninssystem, vilket var en stor milstolpe. Detta har öppnat en helt ny värld för forskning som sträcker sig från att hitta väldigt avlägsna objekt till att hitta värden för kosmologiska parametrar så att vi på så sätt kan förstå universum bättre.

Ett liknande sökande i den södra hemisfären skulle vara ett väldigt stort steg mot att komplettera sökandet i norra hemisfären likaväl som att hitta andra objekt att studera. Vad vi kan vänta oss av det, om sådan forskning genomförs bra genom att använda väl parametriserade instrument och data, så kan vi vänta oss att ha en väldigt god utgångspunkt. Användandet av Australia Telescope 20 GHz (AT20G) inspektions-data insamlat genom att använda Australia Telescope Compact Array (ATCA) är en sådan samling data. Medan informationen samlades in genom användandet av samma instrument upprätthållande en mycket sträng kvalitet på datan borde vi kunna förvänta oss goda resultat från sökandet. AT20G inspektionen är en blind inspektion vid 20 GHz frekvens i radiodomänen av det

elektromagnetiska spektrumet. Pga. den höga frekvensen som användes, ökar chanserna för att finna gravitonella linser eftersom det relativa antalet kompakta kärnobjekt Det relativa antalet kompakta kärn-objekt (tex. kvasarer) är högre Detta är viktigt eftersom linsböjningen är lättare att upptäcka och identifiera i simpla objekt jämförda till objekt med komplexitet i dem. Detta sökande involverar användandet av interferometriska metoder för att identifiera kandidater och följa upp dem med högre upplösning för att identifiera dem. Alla detaljer om projektet är nuvarande under arbete för publicerande.

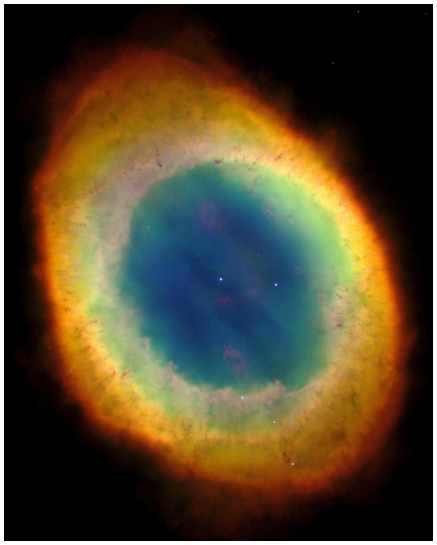
I en nyligen släppt artikel i Science Daily (21a januari 2009) har ett team forskare under ledning av en kosmolog från USA:s Department of Energy's Lawrence Berkeley National Laboratory gjort ett stort framsteg i att utöka användandet av gravitationslins-böjning för att studera mycket äldre och mindre strukturer än vad som tidigare var möjligt genom att fastslå att svag gravitationslinsböjning förbättrar mätningar av avlägsna galaxer

Se även

- Einsteinring

Emissionsnebulosa

Emissionsnebulosor är ett moln av joniserad gas som lyser med sitt eget ljus.



Emissionsnebulosa formad som ringar utan mörka områden.

Ljuset skapas när fotoner från de närliggande stjärnorna joniserar atomerna i nebulosan, och detta ger upphov till ljus i olika färger. Beroende på vilka olika kemiska sammansättningar det är i nebulosorna, och graden av jonisering, blir det olika emissionsspektra.

Det absolut vanligaste ämnet i emissionsnebulosor är väte 90 %, men även helium, syre, kväve och olika metaller förekommer. De olika ämnena behöver olika mycket energi för att joniseras, väte joniseras lättast och ger upphov till en röd färg. Om mer energi tillförs kan fler ämnen joniseras, och färgen börjar variera mot blått och grönt. Genom att studera nebulosans spektrum får astronomerna reda på vilka grundämnen den är uppbyggd av.

De mest framträdande emissionsnebulosorna på norra halvklotet är Nordamerikanebulosan (NGC 7000) och Slöjnebulosan (NGC 6960/6992) i Svanen. På södra halvklotet kan man se Lagunnebulosan (M8/NGC 6523) i Skytten. Även Orionnebulosan (M42) och Carinanebulosan (NGC 3372) observeras lätt.

Det finns ofta stoft i nebulosan som blockerar ljus och skapar mörka områden. När stoftet skymmer ljuset som nebulosan sänder ut kan man se olika mönster/objekt som stoftet skapar. Det kan likna olika saker och de namnges ofta efter dessa, som till exempel Örnnebulosan och Hästhuvudnebulosan.

Observationer

I stjärnbilden Kusken finns ett antal, dock diffusa, emissionsnebulosor. De kan observeras i ett lite större teleskop, men enklast är det att fotografera emissionsnebulosorna. För att kunna fotografera nebulosorna krävs lång exponeringstid, för nebulositeten är ganska svag. Vid fotografering får det inte heller vara mycket fukt i luften, för vattnet i luften absorberar då det svaga röda ljuset (som kommer från det joniserade vätet) från nebulosorna. Normalt behövs en exponeringstid på minst 2-3 timmar.

Emissionsnebulosa

Hästhuvudnebulosan kan observeras i stjärnbilden Orion.

Källor:

Lagerkvist & Olofsson, Claes-Ingvar & Kjell: Astronomi - en bok om universum, Bonnier Utbildning AB, 2007, sid. 196. ISBN 978-91-622-5374-5.

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, Emission nebula [1]

Referenser

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/En%3Aemission_nebula

Planetologi

En krater på månen

Planetologi är den vetenskap som behandlar planeter, månar och solsystem. En stor del av planetologin fokuserar på de planeter och månar som finns i vårt solsystem samt de processer som formar dem. Planetologin omfattar alla storlekar på objekt från mikrometeoroider till gasjättar, syftet är att fastställa deras sammansättning, dynamik, bildning, växelverkan och historia. Det är ett tvärvetenskapligt område som uppkom ur astronomi och geovetenskap,[1] men som nu omfattar planetarisk astronomi, planetarisk geologi (tillsammans med geokemi och geofysik), fysisk geografi (geomorfologi och kartografi tillämpad på planeter), atmosfärsvetenskap, teoretisk planetologi och studierna om exoplaneter.[1] Det finns observationella och teoretiska grenar inom planetologin. Den observationella forskningen innebär en kombination av fjärrstyrda utforskande rymdfarkoster på uppdrag med hjälp av fjärranalys och jämförande experimentellt arbete i jordbaserade laboratorier. Den teoretiska grenen innefattar datorsimulering och matematiska modeller. Planetologer är oftast utstationerade där man bedriver forskning inom astronomi, fysik och jorden på t.ex. universitet och forskningscentra. Men det finns också flera rena planetologiinstitut världen över. Det hålls flera stora konferenser varje år, och många akademiska tidsskrifter behandlar ämnet.

Historik

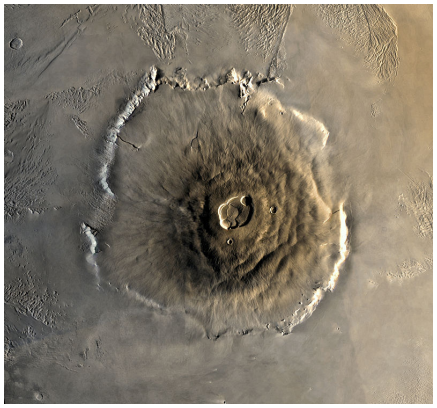
Planetologins historia sägs ha börjat redan i antikens Grekland. I modern tid påbörjades de planetologiska studierna utifrån astronomin för att studera de himlakroppar man tidigare inte kunnat studera. Galileos observationer om månbergen påbörjade också studierna av utomjordiska landskap, han upptäckte att månens yta inte alls är särskilt slät utan ganska jordlik. Han sade då att andra världar kanske visar sig vara ”precis som jordytan själv”.[2] Framsteg inom teleskopkonstruktion och upplösning tillät med tiden förbättrade observationer av atmosfärer och detaljer på ytan på andra planeter. Månen var till en början det mest studerade objektet eftersom den alltid uppvisade detaljer på ytan p.g.a. sin närhet till jorden. Tekniska framsteg gjorde att vi fick mer detaljer om månens geologi. Planetologerna använde sig i huvudsak av optiska teleskop, men senare även av radioteleskop och sist robotstyrda rymdfarkoster. Vårt solsystem är numera relativt välstuderat, man har fått en bra heltäckande uppfattning om solsystemets form och evolution. Emellertid finns det ett stort antal obesvarade frågor, och nya upptäckter görs hela tiden[3] , delvis på grund av de många rymdfarkoster som för närvarande utforskar vårt solsystem.

Intriktningar

Planetarisk astronomi

Planetarisk astronomi inriktar sig på observationer, men även på teoretisk vetenskap. De forskare som fokuserar på att observera inriktar sig på de mindre objekten i solsystemet; de observeras med hjälp av teleskop, både optiska och radioteleskop. Med teleskopen kan man karaktärisera dessa objekt efter följande; form, storlek, rotation, densitet, vikt, förvittring samt se om det är möjligt att förstå hur objektet skapades och formades under dess gång. Teoretisk planetarisk astronomi handlar om dynamik: Tillämpningen av principerna om astronomisk mekanik till solsystemet och extrasolära planetsystem.

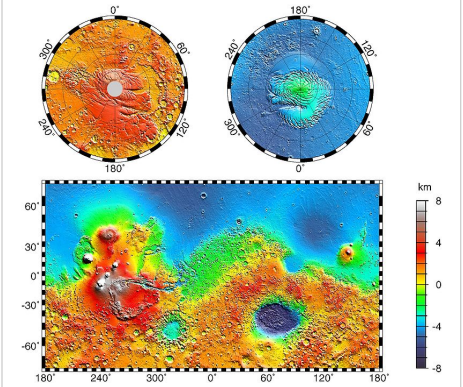
Planetarisk geologi



Olympus Mons, solsystemets högsta berg.

Planetarisk geologi, även kallad astro- geologi eller exo-geologi, är en planetarisk vetenskap som inriktar sig på himlakropparnas geologi, t.ex. planeter och deras månar, asteroider, kometer och meteoriter. Även om ordet” geo” typiskt rör ämnen i samband med jorden, är planetarisk geologi namngivet efter historiska och bekvämlighets-skäl. Men även På grund av att forskningen har ett nära samband med jordbaserad geologi. I Planetarisk geologi ingår det att bl.a. bestämma den interna strukturen av planeterna, men även den planetarisk vulkanism och processer på ytan så som kratrar, flodöversvämningar och Eoliska processer. Strukturerna för jätteplaneterna granskas också, liksom utformningen av de mindre himlakropparna i solsystemet, såsom asteroider, Kuiperbältet, och kometer. Eugene Shoemaker hedras över att skapat detta ämne i Astrogeologin (numera kallad Astrogeology Research Program) inom US Geological Survey. Han gjorde viktiga upptäckter och studier av nedslagskratrar, månar, asteroider och kometer.

Geomorfologi



Mars topografi

Geomorfologi är en akademisk disciplin som utvecklats inom gränsområdet mellan geologin och geografin. Inom geomorfologin studeras landformer, landskapets sammansättning och de ytprocesser på jorden och andra planeter som bildar dessa landformer. Den grundläggande frågan är: Varför ser landskapet ut som det gör? Ordet "Geomorfologi" kommer från grekiskans ge (γη), som betyder "jord", och morfé(μορφή), som betyder "form". Geomorfologer försöker dels förstå landformernas historia och dynamik, dels förutsäga förändringar i landformerna med hjälp av en kombination av observationer, fysikaliska experiment och numerisk modellering. Inom planetologin så fokuserar man sig på:

- **Nedslags egenskaper**

T.ex. fler ringade bassänger, nedslags kratrar,etc.

- **Vulkaniska och tektoniska egenskaper**

Så som geologisk aktivitet i form av platttektoniska egenskaper.

- **Rymdvittring**

Erosionseffekter av den hårda miljön i rymden(fortlöpande mikro-meteoritisk bombardering, Joniserat partikelregn och växthuseffekten). Till exempel är det tunna dammlagret på månens yta är ett resultat av mikro- meteoriskt bombardemang.

- **Hydrologiska förhållanden**

Vätskan på planeten kan vara allt från vatten till kolväte och ammoniak, beroende på position i solsystemet. Historien om en planets yta kan dechiffreras genom att kartlägga egenskaper från topp till botten efter nedfallssekvens, som först bestäms av en marksänd sond av Nicolas Steno. Till exempel, stratigrafisk kartläggning förberedde Apollo-astronauterna för de geologiska förhållandena på månen under sitt uppdrag. Överlappande sekvenser identifierades på bilder tagna av ”Lunar Orbiter-programmet”, och dessa användes för att förbereda en lunar stratigrafisk kolumn och en geologisk karta av månen.

Relativ planetologi

I planetologin använder man sig ofta av metoden att jämföra olika himlakroppar för att få ökad förståelse av det man studerar. Det kan innefatta jämförandet mellan Jordens och Saturnus måne Titans densitet, utvecklingen av himlakroppar som befinner sig i de yttre delarna av solsystemet på olika avstånd från solen, eller geomorfologin av ytorna på de jordlika planeterna, för att ge några exempel.

Den viktigaste jämförelsen som kan göras är med funktioner på Jorden, eftersom den är mycket mer lättillgänglig och ger ett mycket större utbud av de mätningar som skall göras. Analoga studier på jorden är särskilt vanliga i planetarisk geologi, geomorfologi och även i atmosfärsvetenskap.

Se även

Månens framsida

Månens hav

Referenser

[1] a b Taylor, Stuart Ross (29 July 2004). "Why can't planets be like stars?". Nature 430 (6999): 509. doi:10.1038/430509a. PMID 15282586.

[2] Taylor, Stuart Ross (1994). ” Silent upon a peak in Darien (http://adsabs.harvard.edu/abs/1994Natur.369..196T)”. *Nature* **369** (6477): ss. 196–7. doi: 10.1038/369196a0 (http://dx.doi.org/10.1038/369196a0). .

[3] Stern, Alan. ”Ten Things I Wish We Really Knew In Planetary Science” (http://www.planetary.org/blog/article/00001956/). . Läst 2009-05-22.

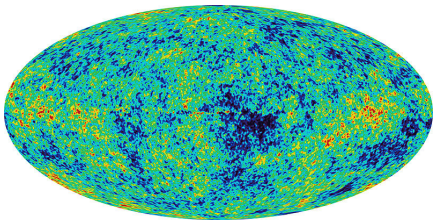
Universums storskaliga struktur

Med **universums storskaliga struktur** menar man strukturen på universum, de stora delarna, hur de förhåller sig till varandra och är uppdelade.

Rumtiden

Rumtid är en sammanslagning av rummet och tiden till en enhet, där tiden bildar en extra fjärde dimension ihop med rummets tre vanliga dimensioner längd, bredd och höjd. En punkt i den fyrdimensionella rumtiden kallas en händelse. Det är detta "nät" strukturerna ligger i.

Bakgrundsstrålningen



WMAP har upptäckt små värmeskillnader i bakgrundsstrålningen

Den största strukturen i universum är bakgrundsstrålningen som kan beskrivas som "Big bangs efterklang". Bakgrundsstrålning finns i hela universum och verkade länge vara konstant, men sonden WMAP som sändes upp av NASA 2001 har visat att det finns små fluktuationer i strålningen. WMAP upptäckte att temperaturen varierar litegrann. Dessa små skillnader beror på att massan inte var jämnt fördelad i universum ens från början. Bakgrundsstrålningen kan ge oss en bild av hur universum såg ut när det var mycket ungt och med hjälp av informationen från WMAP har man även kunnat bestämma universums ålder till ca 13,7 miljarder. Från början hade bakgrundsstrålningen en temperatur på 3000 K, men i takt med universums expansion har dopplereffekten gjort så att bakgrundsstrålningen har rödförskjutits och svalnat av till ungefär 3 K, men strukturen är fortfarande den samma.[1]

Strukturer i storleksordning

Galaxer

Galaxer är stora ansamlingar av stjärnor, solsystem, gas och stoff som hålls samman av gravitation, ofta med ett svart hål i centrum. Det finns många olika typer eller former av galaxer. Exempelvis Vintergatan, som vårt solsystem ligger i, är en stavspiralgalax.

En galax med stor massa i centrum som håller ihop den

Galaxhopar

Även galaxerna är ordnade i hopar. Vår galax Vintergatan ingår i en galaxhop som kallas Lokala gruppen med minst 25 andra galaxer. Av dem är de flesta dvärggalaxer. Det finns också två galaxer som är relativt stora spiralgalaxer och två elliptiska galaxer. Galaxhopen sträcker sig över ca 3 miljoner ljusår. Men det är en ganska liten galaxhop och runt omkring oss finns det galaxhopar med tusentals galaxer som sträcker sig över mycket större områden. T.ex. Comahopen som är sfärisk med en diameter på ca 10 miljoner ljusår. [2]

Superhopar

Hopar av galaxhopar kallas för superhopar. Lokala gruppen ingår i en superhop som heter Lokala superhopen. Lokala superhopen är ca 65 miljoner ljusår stor. [3] Men det finns avsevärt mycket större superhopar. Stora väggen är en väldigt stor struktur i universum, det är en vägg av galaxhopar som är 500 miljoner ljusår lång, 200 miljoner ljusår bred och 16 miljoner ljusår tjock. [2]

Strukturell framtid

Hur strukturen i universum kommer se ut i framtiden beror på hur universum kommer utveckals. För universums framtid finns det olika teorier som ger olika utvecklingar i hur strukturerna förändras.

The Big Chill

Vid The Big Chill gör universums acceleration att galaxerna som idag är på väg i olika riktningar drar ifrån varandra. Detta skulle inte leda till någon direkt strukturskillnad, bara att varje enskild del skulle bli mer isolerad. De skulle sedan få sväva ut i tidsrymden tills allt ljus och all värme i universum försvunnit, och därmed namnet The Big Chill[4]

The Big Rip

Vid The Big Rip är orsaken till universums expansion "mörk energi" som ökar ju mer universum expanderar. Denna kraft är motverkande mot gravitationen och allt eftersom den blir starkare bryter den upp de krafter som hålls samman med gravitation. Detta i ordning av storleken på strukturen. Med början med att bryta upp superhoparna sedan galaxhoparna och allra sist även bryta upp molekylerna som hålls samman av gravitation. Alla storskaliga strukturer hade under dessa omständigheter helt försvunnit[5]

The Big Crunch

The big crunch är ett scenario där universums expansion saktar ner för att stanna och sedan dra ihop sig igen så att galaxhoparna, galaxerna och stjärnorna kommer närmre och närmre varandra tills all materia är samlad i en punkt igen. Alla strukturer hade därmed försvunnit in i en singularitet.

Se även

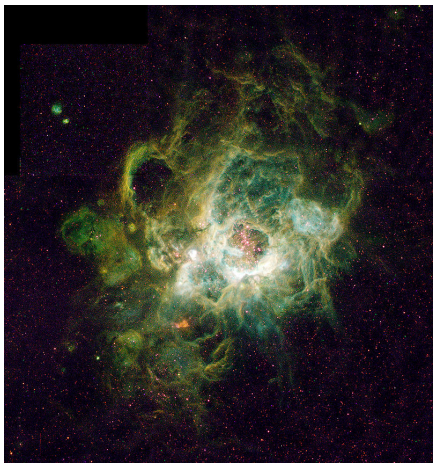
- Kosmos
- Big Bang
- Kosmologi
- Universums framtid
- Universums historia
- Vintergatan

Källor

[1] Sempler, Kaianders. ”Universum är platt som en nedsutten hatt” (http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article271518.ece). . Läst 2011-02-18.
[2] Albertsson, Cecilia. ”Astronomi - En liten introduktion för den som undrar vad astronomi är” (http://www.astromedia.se/kunskapslyftet/astronomi/astronomi-intro.htm). . Läst 2011-01-26.
[3] Lagerkvist, Claes-Ingvar; Olofsson, Kjell: *Astronomi -En bok om universum*, Bonnier Utbildning AB, 2003, sid. 229-232.
[4] ”The end of Everything” (http://www.theage.com.au/news/science/the-end-of-everything/2004/03/05/1078464631459.html). The Age. . Läst 2011-02-28.
[5] ”The Big Rip” (http://www.adrianberry.net/art54.htm). Adrianberry.net. . Läst 2011-02-28.

Nebulosa

Nebulosa kallas ett flera ljusår stort interstellärt moln av gas och rymdstoft i galaxer. Namnet kommer från latinets *nebula*, som betyder dimma.[1] Nebulosorna är de stoftmoln i vilka stjärnor bildas och brukar ofta refereras till som *stjärnornas barnkammare*.



Nebulosan NGC 604 i galaxen M33.

Typer av Nebulosor

Nebulosorna skiljer sig åt genom förekomsten av gas och stoft, dess sammansättning och partikelstorlek. Alla nebulosor innehåller både gas och stoft i olika mängd, varför uttrycken gas- och stoftnebulosor endast syftar på om gas eller stoft överväger.

Astronomer karakteriserar därför numera hellre olika typer av nebulosor efter deras egenskaper:

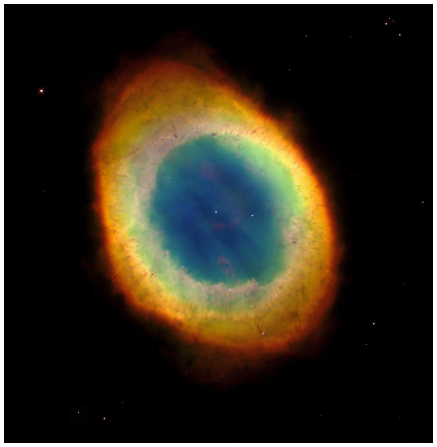
Emissionsnebulosor

Emissionsnebulosor är normalt stora formationer som i huvudsak består av joniserad vätgas. Dessa nebulosor är födelseplatsen för nya stjärnor. Unga stjärnor i emissionsnebulosor exciterar den omkringliggande gasen så att den lyser. Detta gör emissionsnebulosor

väldigt lätta att se, oftast har de en rödaktig färg på grund av vätet. Om andra ämnen också exiteras kan detta ge upphov till färgsprakande objekt. Exempel på emissionsnebulosor är Orionnebulosan och M17.[2]

Reflektionsnebulosor

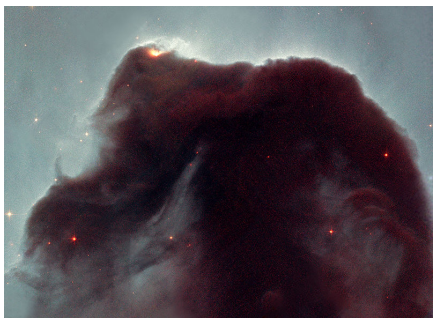
Reflektionsnebulosor består till största delen av stoft. Dessa nebulosor utstrålar inget eget ljus utan reflekterar istället ljuset från omkringliggande stjärnor, även stjärnor inuti nebulosan syns, då oftast som en svag glöd precis runtom stjärnan. Detta ljus sprids på ett liknande sätt som ljuset i atmosfären, så kallad Rayleigh-spridning, vilket gör att de flesta reflektionsnebulosor är blåaktiga. Ett spektakulärt exempel på en reflektionsnebulosa är Eta Carinaenebolusan som omger stjärnan Eta Carinae.[3]



Ringnebulosan (M57), en planetarisk nebulosa.

Planetarisk Nebulosa

De planetariska nebulosorna fick sitt namn av William Herschel, eftersom många av dem påminner om planetskivor när man ser dem i ett teleskop. De planetariska nebulosorna är gasskal som slungats ut från de röda jättestjärnornas ytterskikt mot slutet av deras existens. Stjärnans mycket heta exponerade kärna strålar kraftigt i ultraviolett och får gasskalet att bli självlysande under en relativt kort period, allt från tiotusentals till någon miljon år, innan det skingras helt i rymden. Planetariska nebulosor har många former, men vanligt bland de ljusstarkaste är lysande skivor eller ringar.



Hästhuvudnebulosan, exempel på en mörk nebulosa.

En stjärna lyser stabilt under större delen av sitt liv och frigör energi i sin kärna genom kärnfusionen som sker då väte blir helium och en del av massan övergår till energi. Men oavsett hur långt liv stjärnan har kommer dess väteförråd så småningom ta slut. När detta sker återstår bara helium i stjärnan och stjärnan börjar då dö. En relativt liten stjärna som solen lyser stadigt i omkring 10 miljarder år. Därefter, då dess väte är förbrukat, börjar dess kärna kollapsa och värmas upp, vilket får den yttre atmosfären att expandera kraftigt. Stjärnan växer upp till 30 gånger sin ursprungliga storlek eller mer och blir en röd jätte. Nya kärnreaktioner börjar i kärnan som nu dessutom är ännu hetare. Dessa omformar heliumet till tyngre grundämnen, vilket håller stjärnan lysande i kanske 2 miljarder år till. Därefter försvinner heliumet och inga fortsatta kärnreaktioner kan äga rum.

I slutet av stjärnans liv krymper dess kärna ännu mer och blir otroligt het med en yttemperatur så hög som 100 000˚C. Stjärnan kallas nu för en vit dvärg. Den ursprungliga stjärnans yttre lager förångas då skalen expanderar ut i rymden, som lyser då de trycks upp mot omkringliggande gas. Dessa glödande, expanderande skal kallas planetariska nebulosor.

Mörk Nebulosa

En mörk nebulosa är likt alla andra nebulosor ett stort gas- och stoftmoln. Men till skillnad från t.ex. emissions- och reflektionsnebulosor så varken avger eller reflekterar de ljus. Trots att de inte avger ljus så syns de eftersom de täcker bakomliggande stjärnor. De flesta mörka nebulosor kan bara ses med teleskop, men vissa går att se med blotta ögat. Den mest uppenbara av dessa är kolsäcken som ligger bredvid stjärnbilden Södra korset.[4]

Bildandet av stjärnor

Stjärnbildningen inleds av förtätningar i nebulosan som drar ihop sig ytterligare. Så småningom bildas en ny stjärnhop med stjärnorna inhöljda i gas och stoft. De stjärnor som blir först klara är de tyngre stjärnorna, dessa skapar starka stjärnvindar och de inre delarna av stjärnhopen hettas upp till över en miljon grader. De yttre skalet av gas och stoft är dock fortfarande kallt och börjar accelerera utåt ifrån stjärnhopen. I detta moln bildas ytterligare nya stjärnor, som redan i början rör sig ifrån stjärnhopen. Även stjärnor inuti stjärnhopen åker ut på grund av växelverkan med andra stjärnor. I detta stadie kan nebulosan beskrivas som en expanderande bubbla som är kall ytterst men någon miljon grader i mitten, enbart de tyngre stjärnorna är än så länge färdigbildade. Denna process ger upphov till flera spektakulära strukturer i molekylmolnet.[5] När stjärnorna sedan dör bidrar de med sitt restmatriel till nya nebulosor, så kallade planetariska nebulosor. På så sätt kan nästa nebulosa innehålla tyngre grundämnen fusionerade i tidigare stjärnorna.

Kemisk sammansättning

Nebulosor består huvudsakligen av väte och helium, men man har också genom spektroskopiska observationer funnit tyngre element, till exempel järn kväve och kol. Dessa ämnen utgör dock mindre än en procent av den totala massan i nebulosorna. I molnen finns även små stoftkorn av kol eller olika typer av oxider och nitrarter], dessa stoftkorn utgör en yta som molekyler kan bildas mot och kan också utgöra kärnan i bildandet av en ny stjärna. [6] Man har även observerat mer komplicerade organiska ämnen i nebulosor.[7]

Kända nebulosor

- Crescentnebulosan, NGC 6888
- Örnnebulosan
- Krabbnebulosan
- Tarantelnebulosan
- Orionnebulosan
- Kattögenebulosan

Se även

- Nebularhypotesen
- Wolf-Rayet-stjärna
- Lista över mörka nebulosor
- Stjärnhop
- H II-region
- Molekylmoln

Referenser

- Claes-Ingvar Lagerkvist, Kjell Olofsson: *astronomi: en bok om universum*, 2003, 1:a upplagan.

Externa länkar

- articles.adsabs.harvard.edu [8]

Noter

[1] Duncan, John: *Astronomi - Din guide till universum*, 2006, sid. 107.

[2] Duncan, John: *Astronomi - Din guide till universum*, 2006, sid. 109.

[3] Duncan, John: *Astronomi - Din guide till universum*, 2006, sid. 109.

[4] *Astronomica*, 2007, sid. 152. ISBN 978-3-8331-4371-7.

[5] ”Elefantsnablar, tårar, ägg och globulleter - Nebulosornas skötebarn”. *Populär Astronomi* (3): s. 33. 2010. ISSN 1650-7177 (http://worldcat.org/issn/1650-7177).

[6] *Astronomica*, 2007, sid. 152. ISBN 978-3-8331-4371-7.

[7] articles.adsabs.harvard.edu (http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1987ApJ...315..621B/0000621.000.html)

[8] http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1987ApJ...315..621B/0000621.000.html

Guillaume Le Gentil

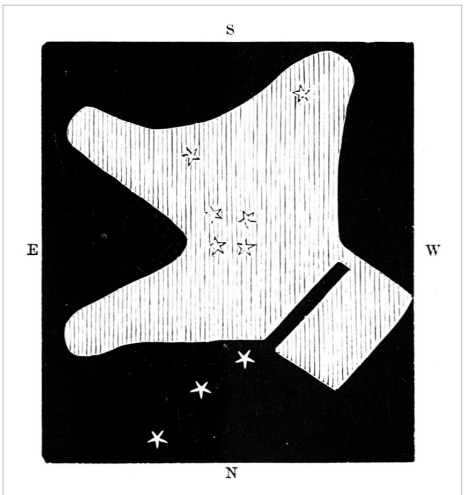
Guillaume Le Gentil	
Födelsenamn	Guillaume Joseph Hyacinthe Jean-Baptiste Le Gentil de la Galaisière
Nationalitet	Frankrike
Född	12 september 1725 Coutances
Död	22 oktober 1792 (67 år) Paris
Yrke/uppdrag	Astronom

Guillaume Le Gentil, fullständigt namn *Guillaume Joseph Hyacinthe Jean-Baptiste Le Gentil de la Galaisière*, född 12 september 1725 i Coutances och död 22 oktober 1792 i Paris[1] , var en fransk astronom. Han var medlem i Franska vetenskapsakademin och upptäckte flera himlakroppar.[2] Han har framförallt blivit ihågkommen för sina fruktlösa försök att observera venuspassagerna i orienten åren 1761 och 1769.[1] [2] [3] Observationsförsöken beskrivs i hans rapporter till Franska vetenskapsakademin och ger en god inblick i vetenskapsmännens vedermödor vid den här tiden i allmänhet och under dessa venuspassager i synnerhet.

Bakgrund

Guillaume Le Gentil föddes i Coutances i departementet Manche i regionen Basse-Normandie i nordvästra Frankrike. Han kom från en familj som inte hade speciellt stor förmögenhet, men fadern skaffade medel till sonens utbildning. Efter inledande studier i Coutances började han med teologiska studier på universitetet i Paris med avsikten att göra en karriär inom kyrkan. Han medverkade vid flera seminarier på Collège Royal ledda av astronomen Joseph Nicolas Delisle. Det väckte hans intresse för disciplinen och han började studera för den då 71-årige Jacques Cassini år 1748. Två år senare blev han dennes assistent och hade definitivt inlett en vetenskaplig och akademisk karriär. Han lärde sig att hantera instrumenten och genomföra astronomiska beräkningar.[3]

Han upptäckte och studerade flera objekt i Messiers katalog till exempel upptäckte han M 32 år 1749 elliptisk dvärggalax som också är känd under namnet *Le Gentil*. Han blev invald Franska vetenskapsakademin år 1753. Den 26 juli 1758 redovisade han sina studier av en nebulosa, bara någon månad innan Charles Messier redovisade sina upptäckter. Framförallt studerade han Orionnebulosan och hans arbete publicerades av Franska vetenskapsakademin 1759 och den trycktes år 1765.



Le Gentils teckning av Orionnebulosan.

Redan 1716 hade Edmond Halley föreslagit att vetenskapsmännen skulle genomföra ett internationellt samarbete inför venuspassagerna 1761 och 1769. Venuspassager innebär att planeten Venus passerar mellan jorden och solen, vilket gör att Venus avtecknar sig på solskivan. Dessa passager inträffar parvis med drygt 100 års mellanrum, och åtta år mellan paret. Genom att mäta vinklar och tider på för flera passager från olika platser på jorden kan dessa passager användas för att beräkna avståndet till solen och Venus och därefter avstånden mellan samtliga planeter i solsystemet.[3]

Guillaume Le Gentil var en av de franska vetenskapsmännen som utsågs att göra observationen och han blev tilldelad Pondicherry, en fransk besittning i nuvarande Indien. Guilamme Le Gentil avseglade från Brest i mars

1760.[3]

Observationsförsöket av första venuspassagen

Den första venuspassagen i paret skulle ske den 6 juni 1761. Guillaume Le Gentil följde med ett fartyg från ostindiska kompaniet till Isle de France, nuvarande Mauritius, genom att runda Godahoppsudden. Han anlände till Mauritius den 10 juli 1760 och här började en nervös väntan på ett fartyg till Indien. Dels hade sjuårskriget spritt sig till Indien och franska och engelska styrkor stred i Pondicherry och försvårade seglatser. Dessutom blev vindarna mindre gynnsamma blev vindar ju längre in på vintern han tvingades vänta. Guillaume Le Gentil drabbades under hösten av dysenteri, så att även om en båt skulle komma var det inte säkert att han skulle klara att gå ombord. Han började planera för att resa till den mer närliggande och välbesökta ön Rodrigues där hans kollega Alexandre Guy Pingré redan befann sig.[3]

Under förberedelserna för att bege sig till Rodrigues anlände ett fartyg till Mauritius som hade med sig viktiga underrättelser till Indien. Guvernören beslöt att skicka en fregatten Sylphide till Indien och den 11 mars kunde den avsegla med Guillaume Le Gentil ombord. Resan gick till en början bra, men plötsligt slog vindarna om och båten fick stora problem att hålla kursen. När de nästan var framme vid målet fick de veta att Frankrike förlorat Pondicherry till England och att de fortfarande låg i krig med varandra. Guillaume Le Gentil hoppades ändå att de skulle gå iland på indiska halvön men kaptenen valde att återvända till Mauritius. Han befann han sig därför på båten när passagen inträffade den 6 juni 1761 och dess rullande förhindrade honom att göra några användbara mätningar trots att himlen var klar och han kunde betrakta passagen ombord. Han beslutade sig för att stanna i området och vänta in nästa passage åtta år senare.[3]

Mellantiden

De följande fyra åren spenderade Guillaume Le Gentil på Mauritius med långa vetenskapliga exkursioner till Madagaskars ostkust och Isle de Bourbon, nuvarande Réunion norr om Mauritius. Framförallt förbättrade han de befintliga kartorna, vilket han menade att astronomer hade särskilt lämpliga kunskaper och verktyg att göra. År 1765 började han förbereda sig för nästa passage, han funderade på flera tänkbara platser förutom indiska Pondicherry i Indien, bland annat Mexiko eller Manilla på Filippinerna. Till slut bestämde han sig för att försöka i Manilla eftersom solhöjden var mer fördelaktig där än i Pondicherry. Han tänkte följa med en ostindiefarare till Kina för att därifrån följa med ett skepp till Kanton och Manilla. Då anlände det spanska örlogsfartyget Bon Conseil till Mauritius med destination Manilla och han fick tillstånd att följa med detta. Den 1 maj 1766 tog han avsked till Mauritius, för gott eftersom han hade intentionen att återvända till Frankrike via Mexiko för att på så sätt fullborda ett varv runt jorden. Han anlände i Manilla den 10 augusti efter en seglats han beskrev som lång och besvärlig.[3]

Väl framme i Manilla började han tvivla på om det verkligen var den bästa platsen för observationen. Dessutom möttes han av misstroende från den spanska guvernören. Bland annat tvivlade guvernören på att det rekommendationsbrev från franske kungen Guillaume Le Gentil hade var äkta. Tvivlet berodde på att brevet efterfrågats och besvarats på mindre än ett år och två månader, vilket han menade var alldeles för kort tid för att få ett brev till Frankrike besvarat. Ytterligare en anledning var att han trodde att chansen för klart väder var mindre i Manilla än andra alternativ.[4]

Observationsförsöket av andra venuspassagen

Fundamentet till Le Gentils observatorium.

Den andra venuspassagen skulle inträffa den 4 juni 1769. Guillaume Le Gentil anlände mer än ett år tidigare i mars 1768 efter en 32 dagars seglats. Han anlände till ett av krig sargat Pondicherry där guvernören mötte honom vid ankomsten. Guvernören erbjöd hjälp att bygga upp en observationplats på vilken plats han än valde. Guillaume Le Gentil valde att bygga på ruinerna av den västra flygeln av ett franskt palats i citadellet. Källaren till hans observatorium tjänade som krutförråd även efter att han installerat instrumenten. Regn försenade byggnationen men han kunde flytta in i observatoriet juni 1768, nästan ett år innan venuspassagen. Han började med att bestämma solhöjder, trimma instrument och finjustera beräkningarna av longitud och latitud för observatiosplatsens position. Han avslutade också observationerna av monsunvindar som han startat så fort han kom till Mauritius första gången. Observationerna låg till grund för seglatsrutter mellan Mauritius och Indien till Ostindiska kompaniet. Han studerade och diskuterade med lokalbefolkningens lärda präster, brahminerna, och imponerades över hur till synes enkelt de kunde beräkna sol- och månförmörkelser. Han lät sig till och med bli undervisad i metoden.[5]

Veckorna före den 4 juni 1769 hade fördelaktigt väder för astronomiska observationer. Desstom var det en säsong med normalt stabilt väder och Guillaume beskriver sin väntan med iver och tillförsikt. Han hade fått ett nytt instrument av engelska astronomer som stationerat sig i Madras. När han stiger upp på morgonen den 4 juni inser han att vinden plötsligt vänt och dragit in skyar över Pondicherry och gjort hela himlen mulen. Dessutom märker han att vinden mojnar och han inser att himlen inte kommer att klarna innan venuspassagen. Besvikelsen fick honom nästan att tappa förståndet. Han orkar inte med att föra dagbok under mer än fjorton dagar. Han får höra att även engelsmännen i Madras råkat ut för plötslig molnighet, men att himlen varit fullständigt molnfri i Manilla.[5]

Hemresan

Han planerade att följa med skeppet Villevault tillbaks till Mauritius. Den skulle avresa i oktober och han fortsatte med astronmiska observationer fram till dess. Under hösten insjuknade han i feber och i oktober hade han dessutom drabbats av magsmärtor och dysenteri så han orkade inte gå ombord på båten. Han fruktade att han aldrig skulle orka lämna Pondichery men i mars 1770 fick han, fortfarande konvalesent, följa med fartyget Dauphin. På Mauritius återsåg han flera kollegor som också var på hemväg. En av dessa kollegor, Mounsier Vernon, avled på ön i tropiska sjukdomar.[5]

I november följde han med fartyget Indian som skulle segla till Frankrike, det avseglade för sent och valde att göra flera stopp på vägen och fastnde därför i stormarna och kunde inte runda godahoppsudden. Svårt sargat fick det ta sig tillbaks till Mauritius. Guillaume Le Gentil hade i brev fått vetskap om att hans släkt gjorde anspråk på hans ägor i Normandie med hänvisning till att han avlidit och han plågades av förseningarna.[5]

Hans hemfärd motarbetades också av de franska myndigheterna på Mauritius, och han nekades att följa med fartyg som han lovats plats på. I mars 1771 fick han till slut följa med den spanska fregatten Astrée som hade slutdestination Cadiz i Spanien. Fartygets kapten hade Guillaume Le Gentil lärt känna på resan till Manilla fyra år tidigare. Han lastade ombord sina tillhörigheter och på morgonen den 30 mars hörde han en kanonsalva som signalerade att fartyget skulle lämna Mauritius och han blev tvungen att rusa ombord för att hinna med. Fartyget lyckas runda godahoppsudden efter flera försök och efter att ha väntat ut flera stormar, och han imponerades över den spanske kaptenen.[6]

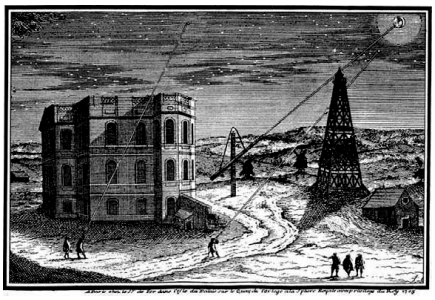
Ombord är man osäker på om England och Spanien ligger i krig när man stoppar ett engelskt fartyg. Den engelska kaptenen visar då en tidningsartikel från The Londoner Gazette som försökrar att oroligheterna mellan de England, Spanien och Frankrike har lugnat ner sig. Istället utväxlar de båda kaptenerna gåvor där den spanska båten bland

annat får potatis och smör. Guillaume Le Gentil kan konstatera att "potatisen var lika uppskattad i England som den blivit i Frankrike under hans frånvaro".[6]

Den spanska fregatten anlöper Cadiz den 1 augusti 1771. Härifrån väljer Guillaume Le Gentil att ta sig till Frankrike landvägen. Han får hjälp av vänner att låna pengar till resan. Han noterar att det är den 8 oktober, klockan nio på morgonen, som han sätter sin fot på fransk mark för första gången på elva år, sex månader och tretton dagar.[6]

Eftermäle

Guillaume Le Gentils ägor i Frankrike hade misskötts och delats upp och hans hustru hade gift om sig. Dessutom hade han förlorat sin plats i franska akademin och åtta lådor med naturvetenskapliga samlingar försvan. Bland annat med kungens hjälp återfick han en plats i Franska akademin och han gifte om sig. Tillsammans med sin nya hustru fick han en dotter och de bosatte sig i observatoriet. Det finns ett skriftligt klagomål bevarat på att de torkade blöjor i observatoriets park.[7] De åtta lådorna, som han anförtrott fartyget Indian, förblev försvunna trots idoga undersökningar och påtryckningar från folk med större politiska befogenheter.



Paris observatorium och Guillaume Le gentils nya familjs hem.

Den 22 oktober 1792, 21 år efter återkomsten till Frankrike, avled han hastigt utan några tidigare sjukdomsbesvär. Ett år senare avrättades de flesta vetenskapsmännen som var medlemmar i den franska vetenskapsakademin av det så kallade skräckväldet under den franska revolutionen.[6]

Han har ett eget kapitel i hyllningsskriften som hans läromästares sonson, Jean-Dominique Cassini, skrev år 1810 över ledamöter som omkom i samband med franska revolutionen, trots att han dog en naturlig död.[8] Tvåhundra år efter venuspassagen 1761 namngavs en av månens kratrar till Le Gentil, som ett minne till den franske astronomen.[2]

Bibliografi

- *Voyage dans les mers de l'Inde, fait par ordre du roi à l'occasion du passage de Vénus, sur le disque du soleil le 6 Juin 1761 et le 3 du même mois 1769 . 1, Tome premiere*, Imprimerie Royale, Paris 1779 (franska). Libris 2768283 [9].
- *Voyage dans les mers de l'Inde, fait par ordre du roi à l'occasion du passage de Vénus, sur le disque du soleil le 6 Juin 1761 et le 3 du même mois 1769 . 2, Tome Tome seconde*, Imprimerie Royale, Paris 1781 (franska). Libris 10073947 [10].

Källor

[1] ”Le Gentil de Lagalaisière” (http://www.cosmovisions.com/LeGentil.htm). Dictionnaire Biographique. . Läst 2011-01-18.

[2] ”Guillaume-Joseph-Hyacinthe-Jean-Baptiste Le Gentil de la Galaziere” (http://messier.obspm.fr/xtra/Bios/legentil.html). Students for the Exploration and Development of Space. . Läst 2011-01-25.

[3] Helen Sawyer Hogg (februari 1951). ” Out of Old Books - Le Gentil and the Transits of Venus, 1761 and 1769 (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1951JRASC..45...37S&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf)” (på engelska). *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (JRASC)* **45**: s. 37-44. . Läst 2011-01-17.

[4] Helen Sawyer Hogg (april 1951). ” Out of Old Books - Le Gentil and the Transits of Venus, 1761 and 1769 (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1951JRASC..45...89S&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf)” (på engelska). *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (JRASC)* **45**: s. 89-92. . Läst 2011-01-17.

[5] Helen Sawyer Hogg (juni 1951). ” Out of Old Books - Le Gentil and the Transits of Venus, 1761 and 1769 (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1951JRASC..45..127S&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf)” (på engelska). *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (JRASC)* **45**: s. 127-134. . Läst 2011-01-17.

[6] Helen Sawyer Hogg (augusti 1951). ” Out of Old Books - Le Gentil and the Transits of Venus, 1761 and 1769 (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1951JRASC..45..173S&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf)” (på engelska). *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (JRASC)* **45**: s. 173-178. . Läst 2011-01-18.

[7] ”Le Gentil (de la Galaziere), Guillaume Joseph Hyacinthe Jean Baptiste (1725–1792)” (http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/Le_Gentil.html). *Internet Encyclopedia of Science*. . Läst 2011-01-29.

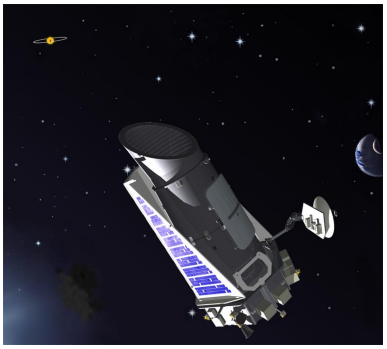
[8] Jean-Dominique Cassini: *Memoires pour servir a l'histoire des sciences et a celle de l'Observatoire royal de Paris* (http://books.google.se/books?id=roY_AAAAcAAJ&printsec=frontcover&dq=MÃ©moires+pour+servir+Ã +l'histoire+des+sciences+et+Ã¡+celle+de+l'obervatoire+royal&source=bl&ots=03JkBljm7P&sig=KX4O141q43bR4WQ-4Z_ZE7kINOY&hl=sv&ei=SSFETa7xHobMswaJ3oDGDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false), Bleuet, Paris 1810.

[9] http://libris.kb.se/bib/2768283

[10] http://libris.kb.se/bib/10073947

Keplerteleskopet

Kepler



Kepler

Allmän information	
Status	**Aktiv**
Organisation	NASA
Större entreprenör	Ball Aerospace
Kostnad	600 miljoner USD[1]
NSSDC ID	2009-011A [2]
Typ av omloppsbana	Heliocentrisk
Omloppstid	372,5 dygn
Uppskjutning	7 mars 03:49 UTC 2009
Uppskjutnings-farkost	Delta II
Uppdragets varaktighet	3,5 - 6 år
Hemsida	www.kepler.arc.nasa.gov [3]
Rymdteleskopets egenskaper	
Massa	1 039 kg
Teleskopstyp	Schmidt-Cassegrain
Diameter	0,94 m

Keplerteleskopet är ett rymdteleskop som sköts upp av NASA den 7 mars 2009, för att bevaka ett stort antal stjärnor i stjärnbilderna Svanen och Lyran. Teleskopets uppgift är att leta efter jordliknande planeter, (dvs planeter som är hälften till dubbelt så stora som jorden), särskilt de inom den beboeliga zonen av sina stjärnor där flytande vatten och möjligtvis liv kan existera. Tanken är även att genom att bevaka ungefär 100 000 stjärnor kunna få fram statistik på hur många jordliknande planeter som kretsar runt solliknande stjärnor det finns i vår galax. Keplerteleskopet är uppkallat efter den tyske astronomen, matematikern och mystikern Johannes Kepler (1571-1630).

Historik

Keplermissionen har utvecklats under hundratals år. Länge har astroforskarna frågat sig hur vanligt det är med jordliknande planeter i vår galax och vad frekvensen är för planeter med jordens storlek i HZ av solliknande stjärnor.

År 1992 undersökte Nasa en rad nya uppdragsprogram, och ett av förslagen som lades fram till Nasa var FRESIP, *FRequency of Earth-Size Inner Planets*, ungefär *förekomstfrekvensen av jordstora planeter som kretsar runt en stjärna*. FRESIP ville sända upp ett teleskop för att leta jordlika planeter, en fråga som sysselsatt astronomer i århundraden. Svaret blev att ett sådant uppdrag var högakttuellt men att tekniken som dittills testats inte klarade uppgiften. Trots att förslaget lades på is fortsatte FRESIP förberedelserna med att hitta lämpliga objekt och metoder. År 1996 lämnades ett förfinat förslag in till Nasa och FRESIP projketet bytte namn till Kepler för att hylla astronomen Johannes Kepler som beräknat planetbanorna och metoder för att komma fram till dess inbördes avstånd. Keplerprojektet gör likadana beräkningar fast på andra planetsystem.[4]

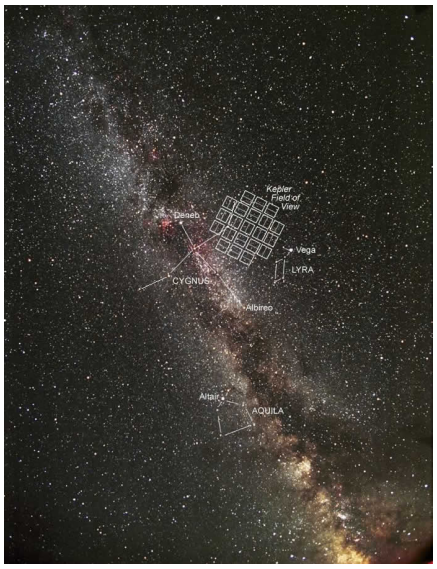
År 2000 ansökte Keplerprojektet för femte gången efter att ha testat prototyper och undersökt metoder och i december 2001 så godkändes och sjösattes uppdraget.[4]

Observationsyta

Kepler kommer att titta på ett stort område av himlen i stjärnbilderna Svanen och Lyran. Området för Kepleruppdraget valdes utifrån följande begränsningar:

1. Fältet måste hela tiden vara synligt under uppdraget.
2. Fältet måste vara rikt på stjärnor som liknar vår sol, eftersom Kepler måste iaktta mer än 100 000 stjärnor samtidigt.
3. Rymdfarkosten måste ligga i ett banplan som gör att fältet inte döljs av starkare objekt så som solen.

Dessa begränsningar ledde till att vetenskapsmännen hade att välja mellan två områden en på norra och en på södra himlen. Området svanen och lyran på norra himlen valdes för dess rika fält av stjärnor, något rikare än det södra området. Därför är samtliga markbaserade teleskop som stöder Keplerteamets uppföljningsobservationer belägna på nordliga breddgrader.[5]



Det område som Kepler observerar (Svanen och Lyran)

Uppdrag

Keplers uppdrag är att kartlägga en del av vintergatan för att upptäcka planeter utanför vårt eget solsystem och kunna avgöra hur många av de miljarder stjärnor i vår galax som har jordliknande planeter. Huvudmålet är alltså att hitta en planet som kretsar runt en stjärna med en storlek och på ett sätt som gör den jordlik. Det innebär bland annat att den ska vara ungefär hälften till dubbelt så stor och befinna sig i en omloppsbana som skapar möjlighet till flytande vatten på planeten.

Uppdragsbeskrivning

För att kunna säkerställa det indelas uppdragsbeskrivningens datainhämtning i sex deluppgifter:[6]

1. Undersöka förekomsten av jordliknande planeter som finns i eller nära den beboeliga zonen.
2. Undersöka fördelningen av storleken och formen på de olika jordliknande planeternas omloppsbanor.
3. Uppskatta hur många planeter det finns i stjärnsystem med flera stjärnor.
4. Undersöka variationen i omloppsbanor, planeternas reflektionsföråga, storlek, massa och densitet av jätteplaneter med kort omloppstid.
5. Identifiera fler planeter för varje upptäckt planetsystem med andra tekniker.
6. Undersöka egenskaperna hos stjärnor med planetsystem.

Transitmetoden

Keplerteleskopet använder sig av Transitmetoden för att upptäcka exoplaneter. Metoden används när en planet passerar framför sin stjärna. Transiteringar av planeter producerar en liten förändring i stjärnans ljusstryka, omkring 100 ppm (parts per million), och den varar i 1 till 16 timmar.

Om förändringen i ljusstyrka är orsakad av samma planet måste förändringen vara periodisk.

När planeten väl är upptäck kan man bestämma storleken på dess omloppsbana genom att titta på hur lång tid det tar för planeten att snurra ett varv runt sin stjärna, och sedan jämföra med stjärnans massa, som man räknar ut genom att använda Keplers tredje lag om planeternas rörelser.

Storleken på planeten hittar man på djupet av transiteringen (hur mycket stjärnans ljusstyrka minskar) och med hjälp av jämförelse av stjärnans storlek. Från omloppsbanans form/storlek och temperaturen på stjärnan kan man räkna ut planetens karakteristiska temperatur. Genom att veta planetens temperatur, vet man om planeten är beboelig eller inte.

För att man ska kunna se en planet med hjälp av transitmetoden måste denna ligga i samma banplan som jorden. Sannolikheten att en planets bana är korrekt riktad så att vi kan upptäcka den, är lika med stjärnans diameter dividerat med diametern på planetens bana. För en jordliknande planet som kretsar runt en solliknande stjärna är chansen att vi ska upptäcka den lika med 0,5%. Alltså för att ha en chans att hitta många planeter eller bara någon krävs att man tittar på flera tusen stjärnor för att nå ett resultat.

Med tanke på att vi vill hitta jordliknande planeter (dvs planeter i den beboeliga zonen), är tiden mellan transit ungefär ett år.[7]

Därför observerar man inte med mark-teleskop

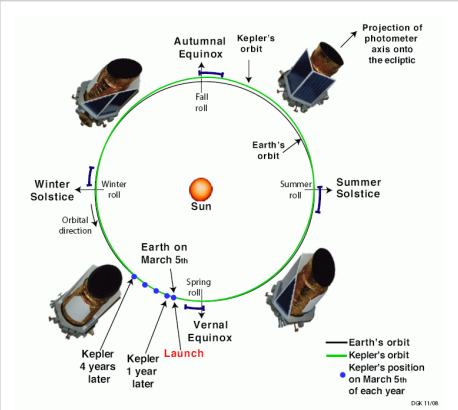
Det finns två viktiga anledningar till att dessa observationer inte kan göras från marken. Ljusstrålarna från stjärnorna böjs i atmosfären, det är därför som det ser ut som att stjärnorna tindrar. Om du kan se förändringen med ögat vet du redan att den skenbara ljusstyrkan förändras med mer än 50 %. Genom att jämföra en stjärna i en grupp med hela gruppen har astronomer kunnat mäta ljusförändringar så små som en tusendel. Detta kan räcka för att upptäcka en jätteplanet men är inte tillräckligt bra för att hitta jordliknande planeter.

För att upptäcka en planetarisk transitering som kanske inte varar mer än två timmar per år krävs det att man oavbrutet mäter stjärnornas ljusstyrka. Detta innebär att du skulle behöva införa särskilda teleskop på många platser runt om i världen, så att det alltid skulle finnas minst ett som kunde studera området, på nattsidan av jorden. Men på grund av att jorden kretsar runt solen ändras den tillgängliga natthimlen hela tiden, detta leder till att det inte finns någon del av himlen som kan övervakas kontinuerligt året om. Dessutom påverkas teleskopen på marken av dåligt väder och månen, vilket gör dem ännu mer ineffektiva.[8]

Omloppsbana

Kepler rör sig i en heliocentrisk omloppsbana. Denna bana valdes för att en kontinuerlig övervakning av de observerade stjärnorna skulle vara möjlig. Detta kräver att området som Kepler studerar, aldrig blockeras. För en rymdfarkost som rör sig i en geocentrisk bana (d.v.s. runt jorden) innebär det att nästan hälften av himlen döljs bakom jorden och de delar som är övertäckta. Förutom jordens omloppsbana är den heliocentriska banan den mest energieffektiva då farkosten ligger kvar i samma bana. Kepler ligger i en ”Jord-släpande” heliocentrisk bana med en omloppsperiod av 371 dagar vilket gör att rymdfarkosten kan hålla kontakt med jorden genom telekommunikation. En annan fördel med denna bana är att den stör rymdfarkosten väldigt lite, vilket leder till en mycket stabil riktning. Att inte vara i omloppsbana kring jorden innebär att det inte finns några störningsmoment på grund av tyngdkraften, magnetismen eller atmosfären.[9]

Uppföljningsobservationer



Keplers bana runt solen

Att en stjärnas ljusstyrka ändras betyder inte att det måste bero på en planet som passerar framför stjärnan. En annan möjlighet kan vara att bakom stjärnan finns ytterligare två stjärnor som kretsar runt varandra (dubbelstjärnor). När dessa stjärnor passerar framför varandra kallas det förmörkelse. Dessa dubbelstjärnor benämns som fotometriska dubbelstjärnor. Med en sådan bakgrund liknar ljusregleringen den som blir när en planet passerar framför stjärnan. Kepler upptäcker många planet kandidater, men att bestämma vilka som är planeter är en svår uppgift.

”Follow-up Observing Program” (FOP) är till för att skilja äkta planeter från de så kallade bedragarna. FOP består av 15 medarbetare som är inriktade inom olika metoder/sätt att skilja planeter från dessa dubbelstjärnor.

Först behövs bilder med hög kvalitet på området runt den observerade stjärnan. Dessa bilder tas med antingen ett 1-meters teleskop vid Lick observatoriet, ett 2-meters teleskop som drivs av Las Cumbres observatoriet eller med Keck teleskopet på Hawaii. För att få mer detaljerade bilder, använder FOP adaptiv optik på 5-meters teleskopet på Palomar observatoriet och MMT teleskopet på Whipple observatoriet. Adaptiv optik kan ta bilder som kan upptäcka eventuella fotometriska dubbelstjärnor som ligger ytterst nära stjärnan. Om man tittar på området runt en stjärna med hjälp av adaptiv optik och det tyder på att det inte finns någon Fotometrisk dubbelstjärna är det ytterst osannolikt att det ändå gömmer sig en bakom skenat av stjärnan.

Ett annat sätt som FOP använder sig för att sålla bort fotometriska dubbelstjärnor är genom att dela upp stjärnans ljus i ett spektrum av olika våglängder. Fotometriska dubbelstjärnor avslöjar sig genom två regnbågar i olika färger som de var och en producerar, målade ovanpå den andra, men skilda från varandra genom Dopplereffekten. En fotometrisk dubbelstjärna skulle visa två olika hastigheter i dess spektrum av färger, och därmed avslöja förekomsten av två stjärnor som kretsar runt varandra. Detta spektrum gör det också tillåtet för FOP att avgöra hur många "spektrallinjer" stjärnan har och hur skarpa dessa linjer är. Spektrallinjer är ljus vid en viss frekvens. Dessa spektrallinjer kommer från atomer i stjärnans atmosfär och ett stort antal linjer och skarp skärpa erbjuder en chans att mäta dopplereffekten med extrem precision och därmed få ut stjärnans hastighet.

De mest troliga planetkandidaterna tittar man på med Keck teleskopet på Hawaii, med målet att mäta dopplereffekten med extrem precision på en meter per sekund. En planet i omloppsbana runt en stjärna drar gravitationellt på stjärnan, den rörelse som uppstår är ett exempel på dopplereffekten. Därmed kan planetkandidaten intygas vara en planet genom att stjärnans pendlande är periodisk. Ju mer massiv planeten är, desto större inverkan har dess gravitation på stjärnan. På detta sätt kan man alltså med hjälp av hur stor Dopplereffekten av stjärnan är, mäta planetens massa. Kepler ger oss planetens diameter, medan Dopplereffekten ger oss planetens massa. Om man

vet detta kan man direkt avgöra planetens täthet (densitet), som är dess massa dividerat med dess volym. Planeter som jorden (stenplaneter) har en densitet på ca 5 gram per kubikcentimeter, medan gasformiga planeter som Jupiter har mycket lägre densitet på ca 1 gram per kubikcentimeter. Därför kan man alltså lätt skilja steniga planeter, som jorden, från gasformiga planeter, som Jupiter.

Kepler har hittills hittat över tusen planetkandidater vilket betyder att det finns tusentals observationer som måste göras och Forskarna vid FOP får därför spenderar hundratals långa nätter på teleskop runt om i världen. De två uppgifterna som FOP har är avgörande för Keplers uppdrag, nämligen att sålla bort fotometriska dubbelstjärnor som efterliknar planeter och att mäta massan av de funna planeterna.[10]

Konstruktion

Teleskopet är ett enkelt engångsinstrument med ett specifikt uppdrag. Det är i princip en fotometer med samma teknik som i ett Schmidt-Cassegrain-teleskop med 0,95 meter bländare.[11]

Teleskopet övervakar och utvärderar ljusstyrkan hos 100 000 stjärnor i stjärnbilderna Svanen och Lyran. Övervakningen sker kontinuerligt och samtidigt på samtliga stjärnor. Förändrar sig ljusstyrkan hos någon av stjärnorna kan det betyda att en planet i omlopp passerar mellan teleskopet och stjärnan.[12]

Eftersom man helst vill hitta planeter i den beboeliga zonen av stjärnor som solen är tiden mellan transit ungefär ett år. För att tillförlitligt upptäcka en sekvens behöver man fyra transiter, och därför måste uppdraget vara i minst 3.5 år. Och om kepleruppdraget håller på längre kommer det att kunna upptäcka mindre och mer avlägsna planeter, samt ett större antal planeter lika jorden.

Keplerinstrumentet är ett specialdesignat 0.95 meter i diameter teleskop och kallas fotometer eller ljusmätare. Instrumentet har ett väldigt stort synfält för att vara ett astronomiskt teleskop, 105 kvadratgrader (vilket är jämförbart med det område av din hand hållas på armlängds avstånd), synfältet på de flesta teleskopen brukar vara mindre än en kvadratgrad. Anledningen till att kepler har ett sådant stort synfält är att det behöv till att kunna observera det stora antalet stjärnor. Det är inriktat på samma stjärnfält under hela uppdraget och övervakar samtidigt kontinuerligt ljusstyrkor av mer än 100 000 stjärnor i minst 3.5 år. (den ursprungliga längden på uppdraget, som kan förlängas)

Diametern på teleskopet måste vara tillräckligt stor för att minska ljudet från fotonräknande statistik, så att den kan mäta små förändringar i ljusstyrkan på en jordliknande transitering. Upplägget av hela systemet är sådant att den kombinerade skillnaden i den fotometriska precisionen över en 6.5 timme integration är mindre än 20 ppm för den 12:e storleken solliknande stjärnor inklusive en antagen stjärnas variation på 10 ppm. Det här är en konservativ, sämsta tänkbara, antagande, om en betande transitering. En central transitering av när jorden passerar jorden varar i 13 timmar. Och ca 75% av stjärnorna som är äldre än 10 miljarder år är mindre rörliga än solen på tidsskalan för en transitering.

Fotometern måste vara rymdbaserad för att få den fotometriska precisionen som behövs för att tillförlitligt se en jordliknande transit och för att undvika avbrott orsakade av dag och natt cykler, säsongens cyklar och atmosfäriska störningar, såsom utdöende samband med marbaserade observationer. Förlängning av uppdraget utöver tre och ett halvt år ger: 1. Förbättring av signalljudet genom att kombinera flera transiter för att möjliggöra upptäckter av mindre planeter 2. Att hitta planeter i banor med större perioder 3. Att hitta planeter runt stjärnor som låter högre, antingen på grund av de är svagare eler att de har mer variation[13]

Upptäckter

Under sina första månader i operativ tjänst hittade Keplerteleskopet ca 1200 möjliga planeter, 15 stycken av dessa var bekräftade av markbaserade teleskop. Av dessa planetkandidater är 68 stycken i jordstorlek, 228 stycken superjodar, 662 i ungefär Neptunus storlek och 19 stycken är mycket större än Jupiter.

De första exoplaneterna Kepler upptäckte var **Kepler 4b, 5b, 6b** och **8b**. Dessa planeter har höga massor och extrema temperaturer och varierar i storlek. Deras banor sträcker sig från 3.3 till 4.9 dagar, och temperaturen varierar mellan 2200 till 3000 grader Fahrenheit, vilket är hetare än lava och är alldeles för varmt för sådant liv som vi känner till. Dessa fem exoplaneters stjärnor är större och varmare än vår sol.[14]

Den första steniga planeten Kepler upptäckte var **Kepler- 10b**, en exoplanet ca 1.4 gånger så stor som jorden, den här upptäckten är baserad på uppgifter från maj 2009 till början av januari 2010.

Kepler- 10b är mer än 20 gånger närmare sin stjärna än vad Merkurius är nära solen, och därför är planeten inte i den beboeliga zonen. Men även om denna planet inte är i den beboeliga zonen ser man denna upptäckt som en milstolpe i sökandet efter planeter som liknar vår jord.[15]

En av de större upptäckterna är stjärnan **Kepler- 11** och dess planetsystem, som ligger ca 2000 ljusår från jorden. Innan man hittade Kepler -11 hade man inte sett planetsystem med fler än tre planeter, men Kepler- 11 har minst sex planeter i en omloppsbana kring sig, och keplerteamet tror de har stora chanser att hitta en sjunde.

Alla planeter runt Kepler- 11 är större än jorden, och den största är som Neptunus och Uranus. Inifrån Kepler - 11 och ut är planeterna Kepler- 11b, Kepler 11c, Kepler- 11d, Kepler- 11e, Kepler- 11f och Kepler- 11g. Alla sex av planeterna har en omloppsbana som är mindre än Venus, och fem av de sex har en bana som är mindre är Merkurius. De fem inre planeterna tillhör de allra minsta exoplaneter som upptäckts. Mätning visar att planeterna består av en blandning av sten, gas och kanske vatten.[16]

Se även

- Corot
- Darwin
- Terrestrial Planet Finder

Referenser

- Kepler Spacecraft Blasts Off to Hunt Earth-Like Worlds [17]

[1] Kepler FAQ (http://www.kepler.arc.nasa.gov/Mission/QuickGuide/faq/#d11), Nasa

[2] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=2009-011A

[3] http://www.kepler.arc.nasa.gov

[4] Borucki, W.J.. "Brief history if the Kepler mission" (http://www.kepler.arc.nasa.gov/Mission/QuickGuide/history/). Nasa. .

[5] "Observationsyta" (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/faq/). Kepler.NASA. . Läst 2011-02-28.

[6] Mission Quick Guide (http://www.kepler.arc.nasa.gov/Mission/QuickGuide/) Nasa

[7] "Om transitmetoden" (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/). Kepler.NASA. . Läst 2011-02-28.

[8] "Därför är markbaserade teleskop inget alternativ" (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/faq/). Kepler.NASA. . Läst 2011-02-28.

[9] "Omloppsbana" (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/faq/). Kepler.NASA. . Läst 2011-02-28.

[10] "FOP" (http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/fop/). NASA. . Läst 2011-02-28.

[11] "Photometer and Spacecraft" (http://www.kepler.arc.nasa.gov/Mission/QuickGuide/MissionDesign/PhotometerAndSpacecraft/). Nasa. . Läst 2011-01-31.

[12] "Kepler In Brief" (http://www.kepler.arc.nasa.gov/education/resources/KeplerInBrief/). Nasa. . Läst 2011-01-31.

[13] "UppdragDesign" (http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/). Kepler.NASA. . Läst 2011-02-28.

[14] "Kepler4b,5b,6b,7b,and8," (http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/news/kepler-5-exoplanets.html). NASA. . Läst 2011-02-28.

[15] "Upptäckten av Kepler- 10b" (http://www.nasa.gov/topics/universe/features/rocky_planet.html). NASA. . Läst 2011-02-28.

[16] "Upptäckten av Kepler- 11" (http://www.johnnyronnberg.com/astrowebb/rymdfart/sonder/teleskop/kepler/kepler.htm). Astrowebb. . Läst 2011-02-28.

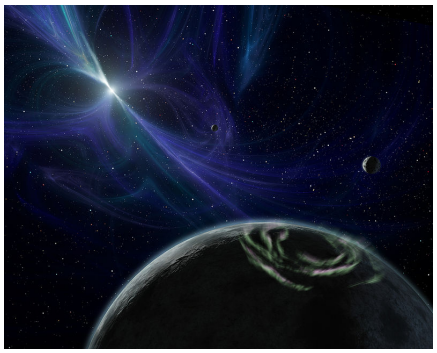
[17] http://www.space.com/missionlaunches/090306-kepler-planethunter-launch-night.html

Externa länkar

- NASA:s Keplersida (http://www.kepler.arc.nasa.gov/)
- Svensk sida om Kepler (http://www.johnnyronnberg.com/astrowebb/rymdfart/sonder/teleskop/kepler/kepler.htm)

Pulsarplanet

Pulsarplaneter är planeter som kretsar runt snabbt roterande neutronstjärnor så kallade pulsarer. Den första pulsarplaneten som upptäcktes kretsade runt en millisekundpulsar och var den första exoplaneten, första planeten utanför solsystemet, som upptäcktes.



En artistisk illustration av PSR B1257+12s planetsystem

Pulsarplaneter

Metoden för att upptäcka pulsarplaneter kallas *pulsar timing*, som upptäcker anomalier i pulsarens "puls". Alla himlakroppar som kretsar runt pulsaren förorsakar regelbundna förändringar i dess puls. Eftersom pulsarer normalt roterar vid en så när som konstant hastighet så hittas förändringar enkelt med hjälp av exakt mätning av pulsen. Metoden användes ursprungligen inte för att upptäcka exoplaneter, men har visat sig vara känslig nog för att kunna upptäcka planeter så små om en tiondels jordmassa, utan för att se om pulsaren omges av flera planeter. Eftersom pulsarer är relativt sällsynta är denna metod inte lämplig för att finna större mängder exoplaneter. Upptäckten av pulsarplaneter var oväntad; pulsarer eller neutronstjärnor har tidigare varit del av en supernova, och man trodde att alla planeter som kretsar runt sådana stjärnor skulle bli förstörda i explosionen, dessutom är det mycket osannolikt att en planet som kretsar runt en pulsar skulle ha liv, eftersom planeterna utsätts för stora mängder av högenergistrålning som är dödligt för alla former av liv som vi vet.

År 1992 meddelade Aleksander Wolszczan och Dale Frail att de har upptäckt ett planetsystem runt millisekundpulsaren PSR 1257+12. Dessa planeter var de första exoplaneter som upptäcktes. Dessutom upptäckte Wolszczan ytterligare en planet, innanför de två första, som inte var mycket större än jordens måne.

Den första upptäckten

Andrew Lyne meddelade 1991 att en exoplanet hittats kretsandes runt PSR 1829-10.[1] Efter att ha korrigerat sina beräkningar insåg han att de var felaktiga. Han drog tillbaks sin upptäckt strax innan den första riktiga pulsarplaneten upptäcktess. Aleksander Wolszczan och Dale Rail meddelade 1992 att de upptäckt ett multiplanetärt planetsystem runt millisekundpulsaren PSR 1257+12 bestående av två planeter. Dessa var de två första exoplaneter som upptäcktes, och därmed också det första multiplanetära exoplanetsystemet som hittades, samt den första pulsarplaneten. Det fanns tvivel angående upptäckten eftersom Andrew G. Lynn kottigerat sin upptäckt och frågan om pulsarer överhuvudtaget skulle kunna ha planeter. Planetens existens bekräftades dock och senare hittades två planeter till med mindre massa med hjälp av samma metod. Planetens existens bekräftades dock och senare hittades två planeter till med mindre massa med hjälp av samma metod.

Aleksander Wolszczan

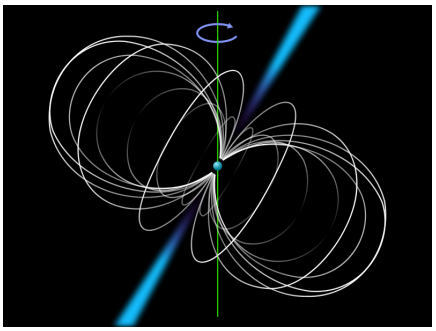
År 2003, då Lyne och hans team upptäckte J0737-3039, den första binära talsystemet finns där båda komponenter var pulsade neutronstjärnor. Lyne kollega Richard Manchester kallas PSR J0737-3039 systemet en "fantastisk naturlig laboratorium" för att studera specialiserade effekterna av den allmänna relativitetsteorin. Andra senaste arbete som Dr Lyne har åtagit omfattar även forskning om den klotformiga stjärnhopen på 47 Tucanae, vars tät stjärnornas befolkning fungerar som en plantskola för millisekund och binära pulsarer.

År 2000 upptäcktes det att millisekundpulsaren PSR B1620-26 hade en planet PSR B1620-26 b som kretsar runt både pulsaren och dennes syster-stjärna som är en vit dvärg, WD B1620-26. Denna planet förklarades som den äldsta planeten någonsin hittat, med sina 12,7 miljarder år. Man tror att den ursprungligen varit en planet runt WD B1620-26 innan det blev en planet i runt en dubbelstjärna, och därför, medan man hittade den genom pulsar timing, så formades den inte som man trodde att planeterna runt PSR B1257+12 gjorde.

År 2006 hittade man en protoplanetär skiva runt magnetaren 4U 0142+61 som ligger 13 000 ljusår ifrån jorden. Upptäckandet gjordes av en grupp ledd av Deepto Chakrabarty på Massachusetts Institute of Technology(MIT) med hjälp av Spitzerteleskopet. Man tror att skivan har formats av metallrika rester från supernovan som formade pulsaren för cirka 100 000 år sedan och liknar de som studerats runt solliknande stjärnor, vilket tyder på att det kan vara förmögen till att forma planeter på liknande sätt. Pulsarplaneter kommer inte att kunna utveckla något liv som påminner om något känt liv på jorden. Förutom den starka joniserande strålning som pulsaren avger en pulsar motsvarande låg nivå av ljus.

Metoder för att upptäcka pulsarplaneter

Tyvärr vet vi bara en metod idag för att upptäcka pulsarplaneter, den metoden heter Pulsar Timing. Pulsar Timing går ut på att man observerar och mäter en neutronstjärnas pulsar. Den här metoden kräver att man gör korrekt exakta mätningar i pulsaren för att kunna märka avvikelser i pulsaren för att hitta planeter runt pulsaren. Eftersom en pulsar är så tung är dess rotation normalt mycket stabil. Små variationer i rotationen kan ge små avvikelser i pulsfrekvensen, och om variationerna mäts tillräckligt noggrant medger de beräkning av rotationsavvikelsen som ger upphov till pulsfrekvensens variationer. Tidigare användes inte metoden för att upptäcka pulsarplaneter, men det visade sig att vara känslig för att kunna upptäcka planeter med en tiondels jordmassa. Pulsar Timing kan även användas för att upptäcka andra/nya pulsarplaneter.



Modell av en pulsar, där neutronstjärnan i mitten är blå. Om en planet skulle korsa pulsaren så kan den upptäckas med hjälp av Pulsar Timing

Pulsar Timing metoden är besläktad med radialhastighetsmetoden för vanliga stjärnor, både Pulsar Timing och Radialhastigheten bygger på dopplereffekten.

Teorier om pulsarplaneter innan den första upptäcktes

Innan man upptäckte den första pulsarplaneten trodde astronomerna att inte pulsarplaneter kunde existera, att de inte borde finnas. Det var för att man trodde att den förödande supernova som förvandlade stjärnan till en neutronstjärna borde också ha förvandlat alla planeter kring stjärnan till aska. Inga planeter kan överleva när en stjärna exploderar, trodde man innan 1992. Till att börja med ställde sig många astronomer högst skeptiska till att man upptäckte den första pulsarplaneten, det var ju trots allt en mycket oväntad plats att hitta planeter på.

En teori som föreslagits är att de motsägelsefulla planeterna är blottlagda kärnor från före detta gasjättar. Dessa gasjättars steniga inre skulle i så fall ha lyckats hålla sig vid liv då resten av de dödsdömda planeterna förintades av en supernovas våldsamma explosion. En annan teori går ut på att planeterna på något vis skulle ha bildats efter det att stjärnans ursprungliga planeter utplånats av supernovan. Astronomerna har länge lutat åt att det andra alternativet skulle vara det rätta, att nya planeter formats ur resterna efter de gamla. Men tills för helt nyligen har man inte kunnat hitta några direkta bevis för att detta överhuvudtaget skulle vara möjligt.

Lista över pulsarplaneter

Bevisade planeter

Pulsar	Planetariskt objekt	Massa	Halv storaxel (AU)	Siderisk omloppstid	Publicerat
PSR B1620-26	PSR B1620-26 b	2.5 M_J	23	100 år	2003
PSR B1257+12	PSR B1257+12 A	0.020 M_E	0.19	25.262±0.003 dagar	1994
	PSR B1257+12 B	4.3 M_E	0.36	66.5419±0.0001 dagar	1992
	PSR B1257+12 C	3.90 M_E	0.46	98.2114±0.0002 dagar	1992
	PSR B1257+12 D	0.0004 M_E	~2.6	~3.5 år	2002

Ovissa planeter

Pulsar	Planetariskt objekt	Massa	Halv storaxel (AU)	Siderisk omloppstid (Dagar)	Publicerat
Geminga	Geminga b	1.7 M_E	3.3	5.1 år	1997
PSR B0329+54	PSR B0329+54 A	0.3 M_E	2.3	1205.358±0.003 dagar	1979
	PSR B0329+54 B	2.2 M_E	7.3	61728.94±0.003 dagar	1979
PSR B1828-10	PSR B1828-10 A	3 M_E	0.93	384.3649 dagar	1992
	PSR B1828-10 B	12 M_E	1.32	493.077375 dagar	1992
	PSR B1828-10 C	8 M_E	?	?	?

Protoplanetära skivor

Pulsar	Proplyd	Upptäckt
4U 0142+61	4U 0142+61's proplyd	2006

Motbevisade planeter

Pulsar	Planet	Massa
PSR 1829-10	PSR 1829-10 A	10 M_E

Se även

- Lista över exoplaneter
- Exoplanet
- Aleksander Wolszczan
- Dale Frail
- Neutronstjärna
- Pulsar

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, Pulsar planet [2]

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från tyskspråkiga Wikipedia, Pulsar-Planet [3]

http://www.astro.psu.edu/users/alex/pulsar_planets_text.html

http:/ / www. astronomy. com/ en/ sitecore/ content/ Home/ News-Observing/ News/ 2005/ 02/ Micro-planets%20and%20mini-systems.aspx

http://www.wingmakers.co.nz/universe/extrasolar/Pulsar%201257+12.html

http://www.alltomvetenskap.se/index.aspx?article=1175

[1] http://www.reference.com/browse/Andrew_Lyne, Läst 2011-02-28

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/En%3Apulsar_planet

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/De%3Apulsar-planet

Klotformig stjärnhop

En **klotformig stjärnhop** är en form av stjärnhop där stjärnorna ligger mycket tätt och är starkt sammanbundna av gravitationen.

Det är den starka gravitationen som ger stjärnorna i hopen dess klotrunda form. Gravitationen ger även stjärnorna en mycket hög densitet mot centrum. Alla stjärnor i en klotformig stjärnhop roterar som satelliter kring hopens kärna. Radien är vanligtvis i storleksordningen tiotals ljusår och de innehåller från några tiotusen till över en miljon stjärnor. Det som skiljer de klotformiga stjärnhoparna från de öppna stjärnhoparna är just antalet stjärnor, men även dess position i galaxen samt åldern på stjärnorna.

M80 är en klotformig stjärnhop i stjärnbilden Skorpionen

Vintergatan innehåller ett par hundra klotformiga stjärnhopar jämnt utspridda i en sfär (halon) runt hela Vintergatan, både ovanför och under det galaktiska planet. De klotformiga stjärnhoparna är mycket gamla astronomiska objekt, ofta lika gamla eller äldre än själva galaxen de kretsar runt, och de är därför viktiga för studier om Vintergatans födelse[1] .

Historia

Tidiga upptäckter av Klotformiga Stjärnhopar

Stjärnhop	Upptäckare	År
M22	Abraham Ihle	1665
ω Cen	Edmond Halley	1677
M5	Gottfried Kirch	1702
M13	Edmond Halley	1714
M71	Philippe Loys de Chéseaux	1745
M4	Philippe Loys de Chéseaux	1746
M15	Jean-Dominique Maraldi	1746
M2	Jean-Dominique Maraldi	1746

Den första klotformiga stjärnhopen som upptäcktes var M22 år 1655 av den tyska astronomen Abraham Ihle.[2] M22, som ligger ungefär 10300 ljusår från jorden består av cirka 70000 stjärnor. Men på grund av den knappa aperturen som de tidiga teleskopen hade kunde man inte urskilja dem individuella stjärnorna i stjärnhopen.

Inte förrän år 1764, då Charles Messier undersökte stjärnhopen M4 efter att fransmannen Philippe Loys de Chéseaux upptäckt den 1746, kunde han lösa ut att hopen bestod av ett antal enskilda stjärnor.[3] Sedan dess har man, tack vare bl.a William Herschels undersökningsprogram år 1782, upptäckt totalt 152 klotformiga stjärnhopar i och runt Vintergatan. Av dessa kan man hitta 30 st i Charles Messiers katalog över diffusa astronomiska objekt, bl. a M2, M22 och M30. Man tror att det finns uppåt 200 klotformiga stjärnhopar i Vintergatan, men att de oupptäckta hoparna är gömda bakom gas och stoft i galaxen.[4]

Majoriteten av klotformiga stjärnhopar i Vintergatan befinner sig i närheten av galaxkärnan. Denna upptäckt gjorde att Harlow Shapley år 1918 kunde räkna ut Vintergatans storlek.[5] Han gjorde det genom att anta en ungefärlig fördelning av klotformiga stjärnhopar runt galaxens centrum, sedan använde han hoparnas läge till att uppskatta

solens position i förhållande till Vintergatans centrum.

Även om Shapleys uppskattning på galaxens storlek innehöll märkbara fel, visade hans experiment att Vintergatans mått är mycket större än man trodde på den tiden. Felet med Shapleys uträkningar var faktumet att stoft i Vintergatan minskar mängden ljus från klotformiga stjärnhopar som når jorden, detta gjorde att hoparna verkade vara längre bort än dem egentligen var.

Morfologi

Klotformiga stjärnhopars ellipticitet

Galax	Ellipticitet[6]
Vintergatan	0.07±0.04
SMM	0.16±0.05
LMM	0.19±0.06
M31	0.09±0.04

Gentemot öppna stjärnhopar, förblir de flesta klotformiga stjärnhoparna gravitationellt bundna under tidsperioder jämförbara med livslängden för de flesta av hoparnas stjärnor. Efter att stjärnor i en klotformig stjärnhop har bildats börjar stjärnorna samverka gravitationellt med varandra.

Även om klotformiga stjärnhopar kan tyckas vara sfäriska, kan tidvatten-aktiga samverkningar göra att de blir mera elliptiska. De flesta hoparna i Vintergatan och Andromedagalaxen är formade som ovala sfäroider, medan hoparna i det Stora Magellanska Molnet är mera elliptiska till formen.

Luminositet

När man har mätt luminositets-kurvan för givna klotformiga stjärnhopar i Vintergatan som en funtion av sträckan till kärnan, har de flesta hoparnas luminositet gradvis ökat ju mindre sträckan är. Luminositeten ökar ända till en ungefär 1-2 parsec från kärnan, därefter minskar den. Emellertid har ungefär 20% av de klotformiga stjärnhoparna genomgått en process kallad ”kärnkollaps”. I dessa typer av hopar, fortsätter luminositeten stiga stadigt ända in till kärnregionen. En hop som som har genomgått denna process är M15.[7]

Kärnkollaps tros uppkomma när de mera massiva stjärnorna i en klotformig stjärnhop möter deras mindre massiva motsvarigheter. Som ett resultat av dessa möten tenderar de massiva stjärnorna förlora rörelseenergi och börjar då röra sig mot kärnan. Detta leder då till en ansamling stjärnor nära kärnregionen i hopen.

Kärnkollapsens olika steg kan delas in i tre faser. Under en klotformig stjärnhops uppväxttid startar kärnkollapsen med stjärnorna nära kärnan. När stjärnhopen sedan närmar sig medelåldern gör samspelet mellan binära stjärnsystem i hopen att fortsatt kollaps hindras. Till sist blir de centrala binära stjärnsystemen antingen bortstötta eller störda, och detta leder till att det blir högre koncentration av stjärnor vid kärnan.

Mellanliggande Hopar

Det är inte alltid en entydig skillnad mellan stjärnhopstyper, och objekt som ligger mitt emellan olika typer har hittats. Till exempel BH 176 i den södra delen av Vintergatan har egenskaper av både en öppen och klotformig stjärnhop.[8]

År 2005 hittade astronomer en helt ny typ av stjärnhop i Andromedagalaxen, som är på många sätt lik en klotformig stjärnhop. Den nyfunna typen av hopar liknar klotformiga stjärnhopar på många sätt, bland annat med antalet stjärnor i hopen och metalliciteten. Det som skiljer de från klotformiga stjärnhopar är att dem är mycket större och hundratals gånger mindre tät. Parametriskt sett ligger dessa hopar mellan klotformiga stjärnhopar och sfäroida dvärg galaxer.

Uppbyggnad

Klotformiga stjärnhopar består av hundratusentals relativt gamla låg-metallstjärnor. Den typ av stjärnor som finns i en klotformig stjärnhop liknar dem som finns i utbuktningen av en spiralgalax och är begränsade till en volym på några få kubikparsek. De är fria från gas och stoft och man tror att detta beror på stjärnbildning nära själva hopen.

De har oftast en mycket hög täthet av stjärnor, från i genomsnitt cirka 0,4 stjärnor per kubikparsek vilket ökar till 100-1000 stjärnor per kubikparsek i hopens kärna. Därför är de inte speciellt gynnsamma för planetsystemens överlevnad. Planetära banor är mycket instabila inom så täta kärnor och detta beror på störningar av passerande stjärnor. En planet som kretsar på 1 astronomisk enhet kring en stjärna som är inom en tät hop liksom 47 Tucanae skulle bara överleva i 10^8 år[9] .

Vissa klotformiga stjärnhopar, som Omega Centauri i vår Vintergata samt G1 i M31 , är supermassiva, med en massa på flera miljoner solmassor. Båda dessa hopar kan betraktas som bevis för att supermassiva klotformiga stjärnhopar i själva verket är kärnor i de dvärggalaxer som försvinner i de större galaxerna. Man tror att ungefär en fjärdedel av de klotformiga stjärnhoparna i Vintergatan kan ha ansamlats tillsammans med sin värdgalax.

Flera klotformiga stjärnhopar, till exempel M15, har extremt massiva kärnor som kan hysa svarta hål[10] , men detta kan också förklaras genom forskning. Forskningen visar att ett mindre massivt svart hål, en central koncentration av neutronstjärnor, eller massiva vita dvärgar kan förklara observationerna lika bra.

Referenser

[1] Lagerkvist, Claes-Ingvar: *Astronomi - En bok om universum*, Bonniers, 2003, sid. 207, 211. ISBN 978-91-622-5374-5.

[2] Sharp, N. A.. "M22, NGC6656" (http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0575.html). M22, NGC6656. .

[3] Boyd, Richard N.: *An introduction to nuclear astrophysics*, University of Chicago Press, 2008, sid. 376. ISBN 022-60-697-10.

[4] Ashman, Keith M.;Zepf, Stephen E. (1992). " The formation of globular clusters in merging and interacting galaxies (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/bib_query?1992ApJ...384...50A)" (på Engelska). *Astrophysical Journal, Part 1* **384**: s. 50-61. doi: 10.1086/170850 (http://dx.doi.org/10.1086/170850). .

[5] Shapley, Harlow (1918). " Globular Clusters and the Structure of the Galactic System (http://adsabs.harvard.edu/abs/1918PASP...30...42S)" (på Engelska). *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **30** (173): s. 42+. doi: 10.1086/122686 (http://dx.doi.org/10.1086/122686). .

[6] Staneva, A.; Spassova, N.; Golev, V. (1996). " The Ellipticities of Globular Clusters in the Andromeda Galaxy (http://adsabs.harvard.edu/abs/1996A&AS..116..447S)" (på Engelska). *Astronomy and Astrophysics Supplement* **116**: s. 447–461. doi: 10.1051/aas:1996127 (http://dx.doi.org/10.1051/aas:1996127). .

[7] Djorgovski, S.; King, I. R. (1986). " A preliminary survey of collapsed cores in globular clusters (http://adsabs.harvard.edu/abs/1986ApJ...305L..61D)" (på Engelska). *Astrophysical Journal* **305**: s. L61–L65. doi: 10.1086/184685 (http://dx.doi.org/10.1086/184685). .

[8] Ortolani, S.; Bica, E.; Barbuy, B. (1995). " BH 176 and AM-2: globular or open clusters? (http://adsabs.harvard.edu/abs/1995A&A...300..726O)" (på Engelska). *Astronomy and Astrophysics* **305**: s. 726. .

[9] Sigurdsson, Steinn (1992). " Planets in globular clusters? (http://adsabs.harvard.edu/abs/1992ApJ...399L..95S)". *Astrophysical Journal* **399** (1): ss. L95–L97. doi: 10.1086/186615 (http://dx.doi.org/10.1086/186615). . Läst 2006-08-20.

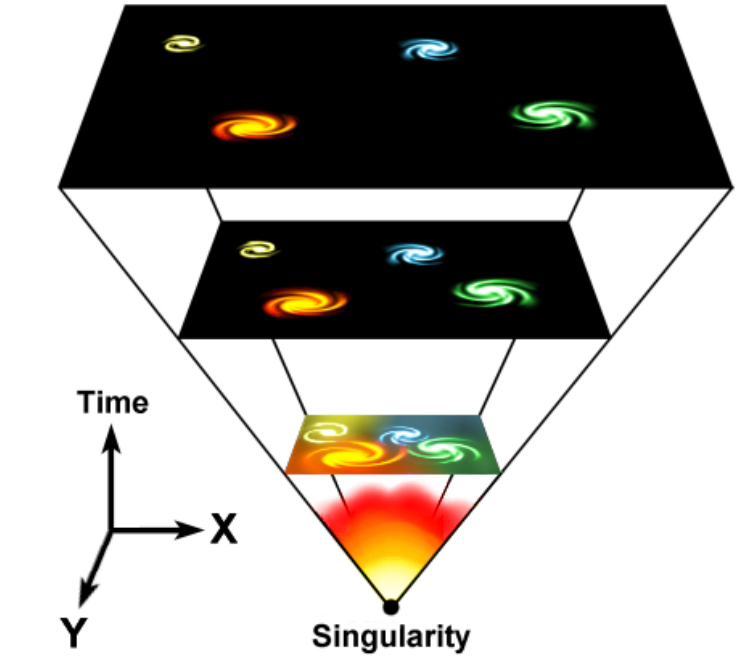
[10] van der Marel, Roeland (2002-03-03). "Black Holes in Globular Clusters" (http://www-int.stsci.edu/~marel/m15release.html). Space Telescope Science Institute. . Läst 2006-06-08.

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, *Globular cluster* (http://en.wikipedia.org/wiki/En:globular_cluster)

Big Chil

Big Chill eller **Big Freeze** - Den stora nedkylningen - är en teori om universums framtid, där allt expanderar allt hastigare och avståndet mellan stjärnor och himlakroppar hela tiden ökar. I och med att universum expanderar kommer även temperaturen till slut att spridas till en nivå då all värmeenergi är så gott som jämt utsprid. Då kommer inga processer längre kunna utföras eftersom ingen värme kan överföras. Detta kallas för värmedöden och uppnås i slutet av Big Chill-teorins tidslinje.

Observationer menar att universums expansion alltid kommer att fortsätta, vilket i så fall leder till att universum svalnar av då det expanderar, för att till slut bli för kallt för att innehålla liv. Därför kallas detta framtidsscenario populärt för *Big Freeze*.[1]



Galaxerna i Universum glider ifrån varandra allt eftersom tiden går.

Big Chill teorin bygger på att existensen av mörk materia och mörk energi existerar. Teorin är även mycket relaterad till värmedöden (Heat Death på engelska) och entropi vilket även är kallat termodynamikens andra huvudsats. Allt eftersom att expansionen accelererar, kommer avståndet mellan galaxerna att öka. Till slut kommer rörelsen bort från oss vara så stor att dopplereffekten sträcker ut ljusvågorna så extremt mycket att de inte längre blir synliga. Stjärnorna kommer fortfarande att hänga med galaxerna, men de kommer att sluta skapas allt eftersom att gasen tar slut. När gasen är slut kommer de sista stjärnorna till slut att förbruka sitt bränsle och sedan dö. De objekt som lämnas kvar (mörk materia), såsom planeter, asteroider och utbrända stjärnor att sönderfalla enligt teorier som förutser proton sönderfall. Svarta hål skulle förtvina via Hawkingstrålning. Till slut kommer all återstående materia och värme vara så nära perfekt utspridning att värmedöden är uppnådd. [2]

Tidslinje enligt Big Chill

Den Ursprungliga Eran (Primordial Era)

Den ursprungliga eran börjar 10^{-50} år efter Big Bang och pågår i 10^{6} år. Under den här eran startar universums expansion, och materia stabiliseras. Väte och Helium skapas i stora mängder, som senare utgör byggstenarna för skapandet av stjärnor.

Den Stjärnrika Eran (Stelliferous Era)

Den Stjärnrika Eran påbörjas vid ca. 10^{6} år efter Big Bang och pågår till ca. 10^{14} år efter Big Bang. Vi lever för närvarande i denna era. Ungefär vid $1{,}55 \times 10^{8}$ år efter Big Bang tändes universums första stjärna, och för första gången sen explosionen börjar värmeenergi i större mängder skapas. Med stjärnornas nukleära reaktioner i deras inre, kallat fusion, skapas heliumatomer utifrån väteatomer. Inte långt efter att stjärnor börjat producera energi har även vissa mängder tyngre grundämnen frisatts och planeter skapats. Rödförskjutning av galaxer utanför vår lokala supergalaxhop kommer med tiden att öka ljusvåglängderna tills de till slut blir osynliga även i infrarött ljus.

Big Rip anses hända 2×10^{10} år fram i tiden, alltså ca. $3{,}5 \times 10^{10}$ efter Big Bang.

Förfallets Era (Degeneration Era)

Förfallets era påbörjas efter den Stjärnrika Eran, kring 10^{14} efter Big Bang fram till ca. 10^{40} efter Big Bang. Under denna era har universums expansion orsakat att mycket av materian spridits ut, galaxernas avstånd är enormt och stjärnornas bränsle börjar ta slut, då det mesta av vätet och heliumet har omvandlats till tyngre grundämnen eller omvandlats till värmeenergi. Svarta hål suger sakta i sig mycket av den kvarstående materian som stjärnor kan skapas av, och resten späds ut för mycket för att nya stjärnor ska kunna skapas. De största stjärnorna bränner ut sitt bränsle först, medan de mindre stjärnorna fortsätter brinna en lång tid efter det att nya stjärnor inte kan bildas.

Till slut slocknar även de, och endast stellära kvarlevor finns kvar i form av planeter och utbrända dvärgar, kring $10^{19\text{-}20}$ år efter Big Bang. Dessa stellära kvarlevor påverkar varandra gravitationellt och slungar ut varandra ur galaxerna. Galaxerna drar då ihop sig och ökar densiteten, vilket får fler gravitationella påverkningar att uppkomma och accelererar processen. Till slut kommer 1-10% att finnas kvar vilket slukas av det supermassiva svarta hålet i centrum av galaxen.

Proton-Sönderfall

Standardmodellen i partikelfysik förutsäger att protoner är stabila. Flera storförenade teorier förutsäger dock att protoner sönderfaller halveringstid är på ungefär $10^{34\text{-}36}$ år,[3] samma sak med neutroner. I experiment har man visat att halveringstiden är minst 10^{34} enligt den föreslagna sönderfallskanalen till positron och pioner.[4] Därför säger man att $>10^{34}$ år efter Big Bang påbörjas proton-sönderfallet enligt Big Chills tidslinje. Neutronerna, som oftast är bundna med protonerna i molekyl kärnan, beräknas ha en ungefär lika lång halveringstid som protoner. De få stellära objekt som flyter omkring i universum kommer till slut alltså att sönderfalla eller upplösas pga. att protonerna sönderfaller till positroner och pioner[5] . 10^{40} år efter Big Bang har alla universums 10^{80} protoner genomgått ca 1000 halveringar, vilket efterlämnar $½^{1000}$ så många protoner och neutroner än det finns idag, vilket är noll. Detta markerar slutet på Förfallets Era (Degeneration Era) då det nu inte finns andra stora objekt förutom svarta hål. Alla andra stellära objekt har sönderfallit.

Svarta Hålens Era (Black Hole Era)

Svarta Hålens Era påbörjas så fort den sista protonen har sönderfallit, dvs. ca. 10^{40} år efter Big Bang, och pågår tills 10^{100} år efter Big Bang. I denna era existerar inga större föremål, förutom svarta hål. De svarta hålen har inget nytt material att sluka, då allt har i stort sett sönderfallit, och de svarta hålen kommer sakta att minska i storlek via Hawkingstrålning. De minsta svarta hålen försvinner först, medan de största lever vidare, och den sista förväntas försvinna vid ca. 10^{100} år efter Big Bang.

Den Mörka Eran (The Dark Era)

Den mörka eran regerar från och med $>10^{100}$ år efter Big Bang. Endast de enklaste partiklarna finns kvar, och Universum går sakta mot sin värmedöd då universums energi sprids jämnt ut över ett allt större område allt eftersom att universum expanderar blir allt kallare. Värmedöden, eller Maximal Entropi uppnås när värmeenergin är helt jämnt fördelad, vilket enligt termodynamikens andra huvudsats betyder att universum är så gott som dött, då inga fler processer kan uppstå eller genomföras. Däremot kan det vara svårt att sprida energin helt jämnt i ett evigt expanderande universum, därför anses en slags Kyladöd (Cold death på engelska) uppstå, då all värme sprids ut över ett så stort område att temperaturen sjunker nära den absoluta nollpunkten. Både Kyladöden och Värmedöden kommer göra det omöjligt för liv att existera.

Referenser

Fotnoter

[1] WMAP - Fate of the Universe (http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_fate.html), *WMAP's Universe*, NASA. Läst online 17 juli 2008.

[2] - Future of an expanding universe (http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Freeze), Engelskspråkig Wikipedia Artikel.

[3] ”Proton Decay Search” (http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/physics/pdecay-e.html). Kamioka Observatory, ICRR, Univ. of Tokyo. . Läst 2011-02-03.

[4] ”Proton lifetime is longer than 10^{34} years” (http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/whatsnew/new-20091125-e.html). Kamioka Observatory, ICRR, The Univ. of Tokyo. . Läst 2011-02-03.

[5] - Proton Decay (http://en.wikipedia.org/wiki/Proton_decay), Engelskspråkig Wikipedia Artikel

Horisontella jättegrenen

Den **horisontella jättegrenen** är ett utvecklingsstadium som stjärnor genomgår i slutet av sin existens.

Denna gren är den andra grenen i Hertzsprung-Russell-diagrammet (HR-diagrammet) som en "döende" stjärna med relativt liten massa genomgår, det vill säga 0,8-1,4 solmassor. Den första grenen som en stjärna genomgår är den röda jättegrenen, men innan den röda jättegrenen ligger stjärnan fortfarande kvar på huvudserien, där endast fusion av väte till helium sker. När stjärnan börja "vandra" ut på den röda jättegrenen så sker skalförbränning, dvs. förbränning i skal kring stjärnans kärna, av väte till helium. När stjärnan nått slutet på den röda jättegrenen, sker en heliumflash och då tar den horisontella jättegrenen sin början.

Kärnreaktioner

De reaktioner som sker i stjärnans inre på denna gren, börjar som sagt med en heliumflash, sedan fortsätter förbränningen i lugnare takt. Reaktionen som sker är när helium blir till kol genom fusion. Denna reaktion sker i själva stjärnans kärna, men runt kärnan fortsätter skalförbränningen av helium till väte. Denna reaktion kallas Trippel-alfa-processen, och sker när totalt tre $_{2}He^{4}$-kärnor bygger upp tyngre atomkärnor genom fusion. De tyngre atomkärnorna som kan byggas upp är $_{6}C^{12}$ (kol), $_{8}O^{16}$ (syre), $_{10}Ne^{20}$ (neon), $_{12}Mg^{24}$ (magnesium). Just i denna gren är det bara kol som skapas. Denna process är effektiv för temperaturer över eller lika med 100 miljoner Kelvin.

Stjärnan utifrån

Sett utifrån syns ingen påverkan från heliumflashen som äger rum innan stjärnan går ut på den horisontella jättegrenen. Men när energiproduktionen minskar, efter heliumflashen, så drar ytterdelarna ihop sig. Stjärnan drar då ihop sig och blir hetare på ytan och börjar då röra sig längs den horisontella jättegrenen där heliumförbränningen fortsätter i lugnare takt.

Slutet på grenen

När allt helium i kärnan förbränts till kol, består hela kärnan av kol, och den horisontella jättegrenen har nått sitt slut. Då tar den Asymptotiska jättegrenen sin början.

Shapley-Curtisdebatten

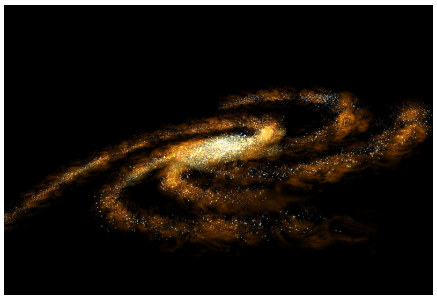
Shapley-Curtisdebatten, även kallad *Den stora debatten*, var en debatt om universums form och storlek inom astronomin på 1920-talet. Debatten namngavs efter de två huvudkombattanterna, astronomerna Harlow Shapley och Heber Curtis. Harlow Shapley menade att Vintergatan var synonym med universum, medan Heber Curtis hävdade att spiralnebulosor, det vill säga vad vi idag kallar spiralgalaxer, som Andromeda var egna fristående stjärnsystem och inte en del av Vintergatan. Populärt beskrivs debatten ofta som en intellektuell boxningsmatch mellan den gamles, Shapleys, gammalmodiga syn mot den unges, den oetablerade Curtis, nytänkande.[1] Faktum är att Shapley var mer än tio år yngre än Curtis. Inom den vetenskapliga disciplinen menar man att ett antal teorier presenterades, mot vilka det opponerades och till slut visade det sig att båda hade rätt i olika delar och till och med var överrens om mycket, även om sådant som senare visade sig felaktigt. Det argumenteras också för att "den gamle" Shapley trots allt stod för en modernare syn på astronomin.[2]

Debatten startar

Den inledande debatten ägde rum den 26 april 1920 i Bairdauditoriet i Smithsonian Institution i Washington DC mellan de två astronomerna Harlow Shapley och Heber Curtis. På dagen presenterade de sina oberoende rapporter om "The Scale of Universe", ungefär *universums storleksordning*, och på kvällen deltog de i en gemensam diskussion. Rapporterna gick bland annat isär beträffande storleken och avståndet till spiralnebulosarna som kan ses på stjärnhimlen. Harlow Shapley hävdade att de var förhållandevis små och avlägsna gasmoln inne i den enda galaxen Vintergatan medan Heber Curtis menade att de var egna fristående galaxer, och att flera var lika stora eller större än Vintergatan. Harlow Shapely hävdade att solens placering i vintergatan var i utkanten och att gasmolnen omringade galaxen, medan Heber Curtis förespråkade att solen var centralt placerad i Vintergatan.

Debatten kom till en ännu allmänare kännedom året efter i två artiklar i maj månads utgåva av de amerikanska vetenskapsakademiernas, The National Academies, tidning. I artiklarna presenterade de båda astronomerna sina ståndpunkter och bemötte den andres.

Harlow Shapleys ståndpunkt



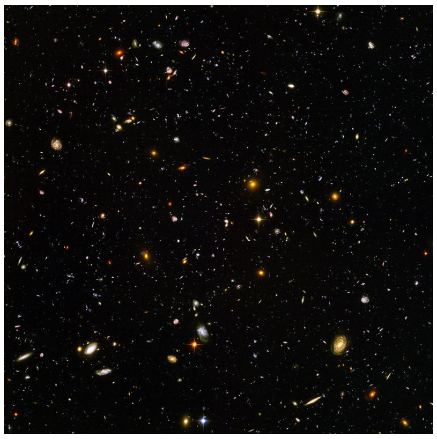
Galaxen Vintergatan.

Harlow Shapley var den etablerade vetenskapsmannen. Han hade studerat variabla stjärnor, cepheiderna, och använt dessa för att mäta avstånd i universum. Det var dessa studier som låg till grund för hans beskrivning av Vintergatan som en förhållandevis platt spiralformad skiva med solen i ytterområdet. Han hade också bestämt Vintergatans storlek till 100 kiloparsec år 1917. Tidigare var den allmäna uppfattningen att den inte var större än något tiotal kiloparsec.[2] [1]

Han menade att om Andromedagalaxen inte låg i Vintergatan så måste avståndet till den vara 10^8 ljusår, det var ett avstånd de flesta astronomer inte kunde acceptera. Han fick stöd i mätdata av Adriaan van Maanen som menade att han mätt rotationen på Vindsnurregalaxen. Om den vore lika stor som en galax skulle dess ytterområde röra sig med en hastighet större än ljuset. Dessutom hade en nova som observerats i Andromedagalaxen lyst starkare än andromedagalaxen självt, och att en enda nova skulle lysa starkare än galaxen den fanns i är inte rimligt.

Heber Curtis ståndpunkt

Heber Curtis menade att solen låg i centum av Vintergatan som var några tusen ljusår stor. Han menade också att Vintergatan var en av flera fristående galaxer i universum. Det betydde att Adriaan van Maanens mätningar var felaktiga, och han bemötte mätningarna med att om dom var korrekta måste Vintergatan ha andra proportioner än de som Shapley förespråkade. Han tvivlade på metoden att mäta avstånd med variabla stjärnor och höll med uppfattningen att Vintergatan var cirka 10 kiloparsec.[2]



Fotot Hubble Ultra Deep Field visar över 10 000 galaxer på 0.000024% av himlen.

Eftermäle

År 1924 visade Edwin Hubble med sina observationer från Mount Wilson-observatoriet i Kalifornien att Andromedagalaxen verkligen var en avlägsen spiralgalax. Han bestämde dessutom avståndet till den med hjälp av studier av variabla stjärnor. Det var en metod som ratats av Heber Curtis men som nu visade att han haft rätt, det var dessutom den metod som Harlow Shapley använde för att bestämma storleken, formen och solens placering i Vintergatan. Variabla stjärnor används än idag för att mäta avstånd inom och utom Vintergatan.[2] Däremot var inte Heber Curtis teori om flera galaxer särskilt unik, han presenterade bara något flera andra astronomer redan hävdat, till exempel den svenske astronomen Knut Lundmark.[2] [1] Han fick rätt i att Adriaan van Maanens mätningar var felaktiga.

Vad gäller själva Vintergatan är den ungefär hälften så stor som Harlow Shapley hävdade, vilket fortfarande var betydligt bättre närmevärde än äldre skattningar. Dessutom stämmer formen med Harlow Shapleys beskrivning, och solsystemet ligger i utkanten av den. Harlow Shapley var heller aldrig särskilt påstridig gällande om universum bestod av en eller flera galaxer. Under den inledande debatten var det en punkt som Harlow Shapley knappt berörde.[2]

I april 1995, i samma lokal på Smithsonian Institution som den stora debatten mellan Harlow Shapely och Heber Curtis, hölls en ny debatt för att hylla 75 års minnet av den ursprungliga debatten. Debatten kallades "The Distance Scale to Gamma-Ray Bursts Great Debate in 1995", ungefär *Den stora debatten 1995 om storleksordningen på avståndet till gammablixtarna*. Det fanns motsägande bevis både på att gammablixtar skedde inom galaxerna och att de var intergalaktiska händelser. Astronomerna Bohdan Paczynski och Donald Q. Lamb intog motsatta ståndpunkter i debatten.[3]

Se även

- Universums storskaliga struktur

Källor

[1] Kaianders Sempler (19 maj 1999). ” När universum blev verkligt stort (http://www.nyteknik.se/popular_teknik/kaianders/article5012.ece?stjarna=1)”. *Ny teknik*. . Läst 2011-02-01.

[2] Robert J. Nemiroff; Jerry T. Bonnell. ”`Great Debate' Lesson Plan for Undergraduates” (http://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/1920/cs_lplan.html). *The Scale of the Universe*. Nasa. . Läst 2011-02-01.

[3] ”The Distance Scale to Gamma-Ray Bursts Great Debate in 1995” (http://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/debate95.html). *The Scale of the Universe*. Nasa. . Läst 2011-02-02.

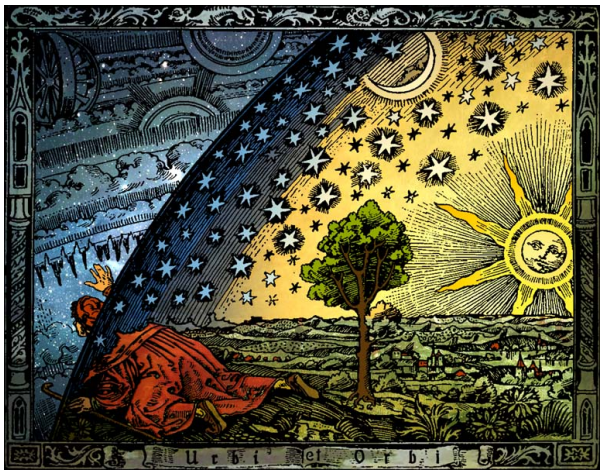
Externa länkar

- Artikeln i *Bulletin of the National Research Council* Vol. 2, Part 3, maj, 1921, nummer 11, sidorna 171-217 (http://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/1920/cs_nrc.html)
- Nasa om debatten (http://antwrp.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/debate20.html)

Celesta mekanikens historia

Den **celesta mekanikens historia** börjar formellt med Isaac Newtons gravitationsteori, då himlakropparnas rörelser för första gången fick en riktig förklaring. Men den celesta mekaniken har en lång förhistoria av tidigare försök att klarlägga och förutsäga himlakropparnas positioner så noggrant som möjligt. Dessa försök lyckades till en viss gräns, även om dåtidens astronomer inte förstod varför planeterna rörde sig som de gjorde.

Geocentrisk astronomi och Ptolemaios universum



Universum - Camille Flammarion, trägravyr, Paris 1888, färgläggning: Heikenwaelder Hugo, Wien 1998. Träsnittet presenterades som ett upphittat medeltida verk bland annat föreställande en platt jord. Att Flammarion var upphovsman offentliggjordes först 1974.

I antikens Grekland förekom många olika geometriska modeller för planeternas rörelser. Anmärkningsvärt var att redan Aristarchus av Samos (ca 310 - 230 f.Kr.) föreslog en heliocentrisk modell av solsystemet och även försökte mäta solens avstånd från jorden. Den ende som stödde Aristarchus var Selecus av Selecua som sade att han hade bevisat den heliocentriska modellen; hans bevis handlade om tidvattnet som han förklarade med påverkan både från månen och från solen.

Hipparchos (ca 190 - 125 f.Kr.) var antikens kanske störste astronom. På sitt observatorium på Rhodos använde han resultaten från sina observationer till att bygga geometriska modeller för solens och månens rörelser. Hans solmodell hade hög precision. Hans månmodell fungerade tillfredsställande endast kring nymåne och fullmåne, men kunde då åtminstone användas för att förutsäga sol- och månförmörkelser. Det var Hipparchos som upptäckte precessionen, och han beräknade även det tropiska årets längd med ett fel på bara 6 minuter. Hipparchos försökte också mäta solparallaxen men misslyckades, och drog då slutsatsen att solparallaxen var 7 bågminuter, för hade den varit större skulle han ha lyckats mäta den.

Klaudios Ptolemaios (ca 90 - 165 e.Kr.) var en astronom och astrolog som verkade i Alexandria i Egypten. Inte mycket är känt om hans liv, men han observerade himlen mellan åren 127 och 141 e.Kr. Han skrev flera böcker om astronomi. Den viktigaste boken var Almagest som i 1400 år förblev det viktigaste verket för att förutsäga planeternas rörelser. Ptolemaios valde de bästa modellerna från sina grekiska föregångare, framförallt Hipparchos, och kombinerade dessa med observationer från de gamla babylonierna.

Ptolemaios förbättrade Hipparchos månmodell och byggde geometriska modeller för rörelserna hos alla de fem planeter som var kända på den tiden. Det var Ptolemaios som upptäckte evektionen, den viktigaste avvikelsen i månens rörelse.

En av Ptolemaios originalidéer var ekvanten som han introducerade och som påtagligt förbättrade noggrannheten hos de förutsagda planetpositionerna. Ptolemaios modell, som var den bästa som fanns vid denna tid, använde bara geometriska konstruktioner, inga fysiska principer. Därför kan man inte kalla Ptolemaios modell för celest mekanik.

Sett ur ett modernt perspektiv var Ptolemaios geocentriska universum mycket litet. Han ansåg att solen låg 7 miljoner km bort och att stjärnorna alla låg på ett klot (med jorden i centrum) vars radie var bara 130 miljoner km. Enligt Ptolemaios låg stjärnorna alltså lite närmare oss än solens faktiska avstånd (knappt 150 miljoner km).

Under den europeiska medeltiden förvaltades det grekiska och romerska kulturarvet av den islamska världen. Grekiska hade i stort sett försvunnit som språk i Europa, men de gamla grekiska skrifterna översattes till arabiska och senare till latin, för att åter introduceras i Europa från 1400-talet och framåt. Vissa förbättringar av tabellerna i Almagest gjordes, och de publicerades i Spanien på 1400-talet i latinsk översättning som de *Alfonsinska Tabellerna*.

Kopernikus och heliocentrisk astronomi

Nikolaus Kopernikus (1473 - 1573) var en välutbildad polsk munk som i början på 1500-talet fick en förfrågan från Vatikanen om att bli rådgivare för en kommande kalenderreform. Kopernikus avböjde, han ansåg att bättre observationer och noggrannare beräkningar behövdes innan man kunde veta hur man skulle reformera kalendern.

Från början var det inte Kopernikus avsikt att revolutionera astronomin, även om detta blev resultatet av hans arbete. Flera andra hade tidigare föreslagit att solen snarare än jorden låg i universums centrum. Det Kopernikus ville göra var att bygga en geometrisk modell liknande Ptolemaios modell, men med solen istället för jorden i centrum. Ingen annan hade tidigare byggt en sådan modell.

Kopernikus mål var att hans heliocentriska modell av solsystemet skulle förutsäga planeternas position med "stor noggrannhet", vilket i hans fall innebar att felet skulle vara högst 10 bågminuter. Han lyckades inte med detta, men 1551 publicerade han de *Preussiska Tabellerna*. De innebar en klar förbättring jämfört med de tidigare *Alfonsinska Tabellerna* och förblev standardverket ända tills Kepler publicerade de *Rudolfinska Tabellerna* år 1627.

Kopernikus dröjde med att publicera sitt huvudverk, *De revolutionibus orbium Caelestium* (*Om omloppen hos de himmelska sfärerna*), ända till kort före sin död år 1573. Bokens berömda förord, tillfogat före tryckningen av Andreas Osiander och utan Kopernikus kännedom, presenterade teorin som om den blott vore en hypotes som gjorde beräkningarna lättare. Även om detta stred mot Kopernikus egen uppfattning, torde det ha förebyggt motreaktioner från Vatikanen, och det första halvseklet efter publiceringen accepterades boken av kyrkan.

Många samtida astronomer insåg fördelarna med den heliocentriska teorin men hade svårt att överge idén om en stillastående jord. Tycho Brahe försökte med en kompromiss: han föreslog att planeterna kretsade kring solen, medan solen och månen kretsade kring jorden. Brahes modell blev kortlivad, men Brahe själv är ihågkommen för en annan viktig insats, se nästa avsnitt.

Även Kopernikus och Tycho Brahes modeller var rent geometriska, utan några fysiska principer, och var därför inte celest mekanik.

Tycho Brahe, Kepler och elliptiska banor

Tycho Brahes stora murkvadrant

Tycho Brahe (1546 - 1601) var en dansk adelsman som år 1572 upptäckte en ny supernova i Cassiopeias stjärnbild. Supernovan, som var tillräckligt ljus för att synas även mitt på dagen, upptäcktes givetvis även av många andra, men det var Tycho Brahe som noggrant dokumenterade vad han såg. Som belöning fick han förfoga över ön Ven (idag svensk men då tillhörde den Danmark). På Ven byggde Tycho två observatorier där han observerade stjärnors och planeters positioner med en noggrannhet på en bågminut, vilket var noggrannare än någon annan observatör lyckats med tidigare. Det skulle dröja ända till 1700-talet innan observatörer med teleskop lyckades förbättra denna noggrannhet.

Tycho började observera månen kring år 1582, och han förbättrade även Kopernikus månteori genom att upptäcka variationen i månens rörelse. Att korrigera för variationen minskade felet i den förutsagda månpositionen med 75%. Detta var det första nya astronomiska fenomenet som upptäckts sedan Ptolemaios tid.

Då Danmarks kung Fredrik II dog 1588 försämrades Brahes ställning, och när den nye 19-årige kungen Christian IV besteg tronen 1596 fick Tycho nog. Han lämnade Ven, och Danmark, 1597 och hittade en ny mecenat i Rudolf II i Prag, där han bosatte sig. I Prag träffade han Johannes Kepler (1571 - 1630), en ung teologistudent som också studerat matematik och astronomi. Kepler hade nyligen blivit övertygad om riktigheten i Kopernikus teori men sökte observationer för att kunna beräkna planetbanornas form. Tycho Brahe hade dessa observationer, och Kepler blev Tychos assistent. Men det var först efter Tychos död 1601 som Kepler fick tillgång till alla hans observationer, och efter åtta års mödosamma beräkningar publicerade Kepler sina resultat i *Den nya astronomin*, där han bl.a. formulerade två av sina tre berömda Keplers lagar (den tredje publicerades senare) och visade att planetbanorna var ellipser. Äntligen blev astronomerna av med alla epicyckler i Ptolemaios och Kopernikus teorier!

Kepler publicerade, på direkt uppdrag av Tycho Brahe, även tabeller, de *Rudolfinska Tabellerna*, år 1627, med vars hjälp man kunde förutsäga planeternas positioner ännu noggrannare än med tidigare tabeller. Med hjälp av dessa tabeller gjorde Kepler den första lyckade förutsägelsen av en Merkuriuspassage som inträffade år 1631.

Kepler kallade sin teori för "gravitationsteori" och den innehöll fröet till vad som senare skulle bli Newtons universella gravitationsteori. Kepler nådde långt, men inte ända fram. Även Keplers modell blev en geometrisk modell utan fysiska principer, och var därför heller inte celest mekanik. Inte riktigt, men nästan...

Galileo och teleskopet

En replik av det äldsta bevarade teleskopet som Galilei använde. Utställt på Griffith Observatory.

Galileo Galilei (1564 - 1642) var inte den förste som byggde ett teleskop, och kanske heller inte den förste som såg på himlen genom ett teleskop. Men Galileo var först med att ordentligt dokumentera, och publicera, det han såg på himlen genom teleskopet. Sina första resultat publicerade han i *Den himmelske budbäraren* (1610). Ett mer samlat angrepp på den geocentriska världsbilden bjöd han på i *Dialog om de två världssystemen* (1632). Den senare innehöll en tänkt diskussion mellan en anhängare av det gamla och en av det nya världssystemet. På grund av sin frispråkighet fick Galileo den katolska kyrkans inkvisition på sig, tvingades avsvärja sig sin övertygelse, och levde sedan resten av sitt liv i husarrest där han gjorde mekaniska experiment som hjälpte Isaac Newton att senare formulera den Newtonska mekaniken.

Isaac Newton och gravitationsteorin

Isaac Newton (1642 - 1727) föddes samma år som Galileo dog. Med den Newtonska mekaniken inleddes en ny era inom fysiken. Det var när Newtons Principia publicerades 1687 som den celesta mekaniken föddes, eftersom Newtons första tillämpningar av sin mekanik var just på himlakropparna. Newton ville kalla detta "rationell mekanik". Newtons medtävlare Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 - 1716) föredrog att kalla det "dynamik". Först ett sekel efter Newton introducerade Pierre-Simon Laplace termen "celest mekanik".

Newtons intresse för celest mekanik väcktes då han var drygt 20 år. En komet som syntes år 1664 kan ha påverkat honom. Han lärde sig de Ptolemaiska och Kopernikanska modellerna från Galileos bok *Dialog om de två världssystemen*. Newton bekantade sig också med Descartes filosofiska principer där han lärde sig principen om tröghet. Traditionell historia säger att ett fallande äpple år 1666 gav honom idén till gravitationslagen, men sannolikt fick han denna idé betydligt senare. Först 1687 publicerade Newton sin Principia där han presenterade sin gravitationslag och sina rörelselagar.

Newton var tvungen att uppfinna ny matematik (infinitesimalkalkyl, som inkluderar integral- och differentialkalkyl) för att kunna använda sina lagar på himlakropparnas rörelser. Samma matematik uppfanns dock oberoende av Gottfried Leibniz, som använde en annan notation än Newton. Den notation vi använder idag är Leibniz notation.

Med hjälp av sina lagar och infinitesimalkalkylen kunde Newton bevisa följande:

- Keplers lagar leder direkt till Newtons gravitationslag: om planetbanan är en ellips med solen i ena brännpunkten som följer Keplers lagar, måste gravitationen avta med kvadraten på avståndet.
- En sfäriskt symmetrisk kropp har samma gravitation på omgivande föremål som om kroppens hela massa vore koncentrerad i en punkt vid sfärens centrum.

Newtons Principia mottogs först med skeptiscism. De främsta opponenterna var Leibniz och Christian Huygens (1629 - 1695). Deras främsta invändning var att de inte kunde acceptera den "verkan över avstånd" som gravitationen innebar. Framför allt Huygens krävde något slags medium, en "eter", genom vilken gravitationen kunde fortplanta sig. Newtons svar var att inte heller han hade någon förklaring på hur gravitationen kunde fungera, men att observationerna klart visade att den fungerade på det sättet.

Analytiska metoder

Under 1700-talet första halva gjordes stora framsteg i celest mekanik, och detta berodde till största delen på tre matematiker: Clairaut, Euler och d'Alembert.

Alexis Claude Clairaut (1713 - 1765) var ett underbarn som gjorde sin vetenskapliga debut vid blott 13 års ålder. Han bodde i Paris hela sitt liv. Han hjälpte till att översätta Principia till franska, han vidareutvecklade infinitesimalkalkylen och använde den främst för en teori om månens rörelse.

En sedel från Schweiz med Euler som motiv.

Leonhard Euler (1707 - 1783) föddes i Basel men verkade under decennier i S:t Petersburg där han också dog. Euler publicerade mer än någon annan matematiker, totalt 560 böcker och artiklar där många handlade om differentialekvationer. Euler ägnade sig åt teorin i den celesta mekaniken samt även åt mer praktiska beräkningar som banbestämning, solparallaxen och refraktionen i atmosfären. Det var Euler som uppfann metoden "variation av parametrarna", där man betraktar elementen för de Keplerska banellipserna inte som konstanter utan som något som varierar med tiden. Den metoden vidareutvecklades senare av Lagrange.

Jean le Rond d'Alembert (1717 - 1783) var också parisare. Han övergavs av sin mor och hittades som spädbarn på trapporna till kyrkan vid S:t Jean le Rond, varifrån han också fick sitt namn. d'Alembert gjorde betydelsefulla arbeten i mekanik och partiella differentialekvationer.

Fallet då två kroppar påverkas av sin ömsesidiga gravitation, tvåkropparsproblemet, hade tidigare lösts av Newton med geometriska metoder. En lösning med analytiska metoder presenterades av Daniel Bernoulli (1700 - 1782) som fick ett pris för detta år 1734. Likaså presenterade Euler i sin bok *Mechanica* (publicerad 1736) analytiska lösningar på många av de övriga problemen i Principa som tidigare bara fått geometriska lösningar. Trekropparsproblemet, som inte behandlades i *Mechanica*, arbetade Clairaut och Euler länge på. De formulerade ekvationerna men fann ingen lösning. Detta gjorde dem till pionjärer i det viktigaste området inom matematiken på 1800-talet, och mellan 1750 och 1900 publicerades mer än 800 artiklar om trekropparsproblemet. Problemet saknar fortfarande en användbar analytisk lösning.

Lagrange och Laplace

Joseph Louis Lagrange (1736 - 1813) skickade vid 18 års ålder ett brev till Euler där han föreslog en ny metod, *variationskalkyl*, för analytiska problem. Så småningom efterträdde Lagrange Euler vid Berlinakademin. Lagrange var huvudsakligen intresserad av matematik och var mycket noggrann och tydlig i sina matematiska härledningar.

Pierre-Simon de Laplace (1749 - 1827) var en "matematisk fysiker" som såg matematiken som ett redskap för fysiken. Laplaces artiklar var ofta svåra att följa, och han såg inget värde i "matematisk skönhet". Men Laplace och Lagrange kompletterade och sporrade varandra.

Lagrange var först med att matematiskt beskriva månens libration och att visa varför Cassinis lagar för månens rotation måste gälla. Han omformulerade de gängse mekaniska grundekvationerna och introducerade begreppet *potentialfunktion*.

Lagrange började sedan arbeta med att finna en lösning på trekropparsproblemet. Euler hade tidigare använt perturbationsteori för att försöka lösa problemet, men Lagrange försökte istället komma på en exakt lösning. Han lyckades delvis genom att hitta egenskaper hos en lösning på det begränsade trekropparsproblemet. Den lösningen har fem jämviktspunkter, Lagrangepunkterna, där två av punkterna har stabil jämvikt.

Lagrange vidareutvecklade även Eulers metod *variation av parametrarna* och publicerades sin metod i boken *Analytical Mechanics*. Det Lagrange gjorde var att rationalisera bort geometrin och reducera den celesta mekanikens problem till att lösa ett system av differentialekvationer.

Laplace använde Lagranges metoder för att lösa problemet med växelverkan mellan Jupiter och Saturnus, se nästa stycke.

Laplace ägnade sig också åt att studera jordens form tillsammans med Adrien-Marie Legendre. 1784 utvecklade de Lagranges matematik för att matematiskt beskriva hur gravitationsfältet kring en rotationsellipsoid ser ut.

Laplace introducerade även ämnet matematisk statistik och använde detta för att göra sannolikhetsberäkningar på olika modeller för solsystemets uppkomst. Laplace argumenterade i sin *The System of the World* för att solsystemet är stabilt på lång sikt, därför att banelement som medelavståndet, excentriciteten och inklinationen endast har små periodiska variationer och inga stora variationer på lång sikt.

Laplace sammanfattade sitt och andras arbete i *Celestial Mechanics*, ett momumentalt verk på fem band som publicerades 1799 - 1825.

Resonansen mellan Jupiter och Saturnus

Att medelrörelsen hos Jupiter och Saturnus förändrades fullt märkbart över långa tidsperioder var känt sedan tidigare, men orsaken var höljd i dunkel. Att Clairaut lyckades korrekt förklara rörelsen hos månens perigeum gjorde att astronomerna trodde att gravitationsteorin kunde förklara även detta fenomen. Kepler var den förste att notera detta, och han föreslog periodiska förändringar i banorna. Jeremiah Horrocks (1618 - 1641) och John Flamsteed (1646 - 1719) försökte förgäves hitta en orsak, men varje föreslagen peroid fungerade vid vissa tider men inte vid andra. Edmund Halley (1656 - 1742) ansåg att förändringen inte var cyklisk utan sekulär, ungefär som månens sekulära acceleration. Jacques Cassini (1677 - 1756) föreslog 1746 att gravitationen kunde orsaka förändringarna men lyckades inte göra någon kvantitativ analys. Vetenskapsakademin i Paris utlyste 1748 en tävling med ett pris till den som lyckades förklara detta fenomen.

Euler vann priset trots att han inte lyckats lösa problemet, men han gjorde ett första betydelsefullt arbete i att analytiskt behandla perturbationer mellan planeterna. Dessa metoder vidareutvecklades sedan av Lagrange och Laplace och gav så småningom en förståelse av hur Jupiter och Saturnus gravitationsmässigt påverkade varandra. Detta blev det första fall av resonans som behandlats analytiskt med lyckat resultat. Perioden för denna resonans är 935 år.

Månens rörelse

Månens position kan mätas med stor noggrannhet mot bakgrunden av stjärnorna. Detta gör det lätt att upptäcka många oregelbundenheter i månrörelsen. Redan före teleskopet hade evektionen upptäckts av Ptolemaios och variationen av Tycho Brahe. Observationer med mycket större noggrannhet som möjliggjordes av teleskopet blev en utmaning för teoretikerna. Oregelbundenheterna beskrevs med trigonometriska serier som konvergerade långsamt, och valet av koordinatsystem spelade stor roll för lösningen.

Ett försök till en första månteori byggdes av Newton, som år 1702 publicerade sin *Theory of the Moon's Motion*. Förbättrade versioner av Newtons månteori publicerades i andra och tredje upplagan av *Principia*. Newtons modell för månens rörelse var empirisk snarare än analytisk. Han korrigerade för elliptiska avvikelsen, för Ptolemaios evektion och Tycho Brahes variation, och lade till ytterligare sju mindre periodiska termer. Dessa mindre termer var inte härledda direkt ur gravitationsteorin, utan de var anpassningar till empiriska data. Newtons mål med månteorin var att producera formler som kunde användas till att förutsäga månens rörelse för att på det sättet lösa det berömda longitudproblemet. Newton lyckades aldrig bygga en tillräckligt noggrann månteori för detta, och han ansåg själv att månen var det enda problem som gav honom huvudvärk.

Euler, Clairaut och d'Alembert försökte sig också på att lösa problemet med månens rörelse. Framför allt rörelsen hos månens perigeum var ett problem: de fick samma resultat som Newton men detta teoretiska resultat var bara hälften så stort som den observerade rörelsen hos månens perigeum. Tvivel uppstod på gravitationslagens giltighet. Ett annat förslag var att magnetfält kunde spela en roll. Clairaut gjorde om sina beräkningar mer grundligt genom att ta bort några av sina förenklande antaganden. Detta krävde mycket mer räknearbete, men 1749 kunde han publicera sitt resultat: de noggrannare beräkningarna gav ett dubbelt så stort värde på rörelsen av månens perigeum, ett värde som stämde riktigt bra med observationerna. Det var inte något fel på vare sig observationerna eller gravitationsteorin.

En noggrann teori för månens rörelse hade också en stor praktisk betydelse: den kunde vara till hjälp för sjömännen när de navigerade ute på oceanerna och ville bestämma sin longitud. En tillräckligt noggrann förutsägelse av månens rörelse skulle alltså kunna vara en lösning på longitudproblemet. Clairaut, Euler och d'Alembert publicerade alla tabeller över månen. Trots att deras tabeller var noggrannare än Newtons tabeller gav de ändå fel position hos månen på upp till 5 bågminuter. Den förste som lyckades göra måntabeller tillräckligt noggranna för praktiskt bruk var Tobias Mayer (1723 - 1762) som publicerade sina måntabeller 1753. Han grundade sina tabeller på Eulers teorier, och hans tabeller hade ett fel på högst 1,5 bågminuter.

Laplace publicerade sin månteori 1802. Han byggde på Clairauts lyckade analys av rörelsen hos månens perigeum. Laplace tog med några dussin periodiska variationer i sin månteori, som fick en noggrannhet på 30 bågsekunder (en halv bågminut).

Marie-Charles-Theodore de Damoiseau (1768 - 1846) publicerade 1824 en ny månteori som innebar en stor förbättring: felet i månens position var nu nere i 4 bågsekunder. Men något teoretiskt framsteg var inte denna teori.

Peter Andreas Hansen (1795 - 1874) publicerade sin månteori 1838, med tillhörande tabeller 1857. Han upptäckte nya oregelbundenheter p.g.a. direkt påverkan från planeterna, framför allt en långperiodisk variation från Venus med en period på 273 år och amplitud på 27 bågsekunder. Med Hansens månteori reducerades felet i månens beräknade position till ca 1 bågsekund.

Den mest fullständiga algebraiska teorin över månens rörelse byggdes av Charles Eugene Delaunay (1816 - 1872). Det tog honom 20 år och teorin publicerades som två tjocka volymer på mer än 1800 sidor åren 1860 och 1867. Felet i Delaunays teori var också ca 1 bågsekund. Simon Newcomb (1835 - 1909) jämförde Hansens och Delaunays teorier och kunde transformera den ena till den andra, och visade därmed att de var ekvivalenta.

1877 bad Newcomb George William Hill (1838 - 1914) om hjälp med att producera nya tabeller för månens rörelse. Hill skapade sin egen månteori, och denna kompletterades av Ernest William Brown (1866 - 1938), så att den blev en praktisk metod för att beräkna månens position. Browns teori fullbordades 1908 och de tillhörande tabellerna publicerades 1918. Felen i månens förutberäknade position var nu nere på bråkdelar av bågsekunder.

Perturbationsmetoden hade härmed utvecklats till ett kraftfullt verktyg för att studera solsystemets dynamik och beräkna planeternas positioner: Men som en teori för att *förklara* komplexa fenomen var den otillräcklig. Teorin var oerhört komplex och gav mycket liten insikt i den underliggande fysiken, vilken lätt drunknade i mängden sidor med komplicerade beräkningar.

En fullständig men oanvändbar lösning på trekropparsproblemet

År 1912 presenteade Karl Sundmann från Helsingfors universitet en fullständig lösning på trekropparsproblemet. Lösningen är teoretiskt intressant men praktiskt oanvändbar därför att de långa serier som Sundmann presenterade konvergerar oerhört långsamt, så långsamt att de knappast ger någon kvalitativ information om lösningen. Lösningen går inte heller att använda för praktiska beräkningar. För att få en noggrannhet som är lika stor som hos observationerna skulle det krävas att man summerar ungefär $10^{8000000}$ termer i Sundmanns serier (som jämförelse kan nämnas att det observerbara universum innehåller ungefär 10^{80} atomer). Av denna anledning har Sundmanns lösning förblivit ganska okänd.

Nya planeter

1766 publicerade Johann Daniel Titius (1729 - 1796) en talserie som skulle beskriva planeternas avstånd från solen. Enligt denna serie borde det finnas en planet mellan Mars och Jupiter, men ingen känd planet fanns där. Få uppmärksammade detta tills Johann Elert Bode (1747 - 1826), en känd och respekterad astronom, fick höra talas om denna talserie och också publicerade den. Sedan dess brukar serien kallas Titius-Bodes lag.

1781 upptäcktes Uranus av William Herschel (1738 - 1822). Han trodde först det var en ny komet, men när den hade identifierats som en ny planet några veckor senare blev det kända solsystemet plötsligt dubbelt så stort som tidigare.

Upptäckten av Ceres: Gauss banbestämningsmetod

1787 började Franz Xaver von Zach (1754 - 1832) söka efter den saknade planeten i gapet mellan Mars och Jupiters banor. Efter 13 års sökande utan resultat begärde han hjälp av andra astronomer, och 1800 bildade han ett lag som tillsammans skulle söka igenom himlen. Zach kallade detta lag skämtsamt för "himmelspolisen". Men på nyårsdagen 1801 hittade Giuseppe Piazzi (1746 - 1826) en ny ljussvag himlakropp som snart försvann i solens strålar. Liksom när Herschel upptäckte Uranus och trodde det var en komet, rapporterade Piazzi också sitt fynd som en komet. Men objektet saknade svans och rörde sig långsamt - var detta den saknade planeten? Objektet fick namnet Ceres, men ingen visste längre riktigt var den fanns. Den skulle åter synas på natthimlen i september 1801 men trots sökningar hittades den inte.

Då trädde en ung briljant matematiker fram: Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855). Gauss uppfann en ny metod att bestämma en himlakropps bana utifrån endast tre observationer, och han löste på en timme detta problem som skulle ha tagit tre dagar för Euler. Gauss skickade sitt resultat till von Zach, och den 31 december 1801 återupptäcktes Ceres precis där Gauss hade sagt att den borde vara.

Men Ceres var mycket mindre än de andra planeterna. 1802 upptäcktes en ny liten himlakropp som fick namnet Pallas, och inom de närmaste två åren därefter upptäcktes ytterligare två små himlakroppar, Juno och Vesta. På bara några få år hade fyra nya "planeter" identifierats mellan Mars och Jupiter. Idag kallar vi dem asteroider, men då sågs de som planeter även om de var små. Under 38 år, 1807-1844, var dessa fyra de enda kända asteroiderna. Först år 1845 upptäcktes den femte asteroiden Astraea, och därefter upptäcktes nya asteroider i snabb takt.

Upptäckten av Neptunus: Adams och Leverrier

Kort efter upptäckten av Uranus hittades många gamla observationer där astronomerna trodde Uranus var en stjärna. John Flamsteed (1646 - 1719) hade t.ex. gett Uranus beteckningen 34 Tauri. Han hade t.o.m. märkt att den rörde sig, fast han trodde det var fel på hans egna observationer. Med alla dessa äldre observationer kunde en bana snart beräknas för Uranus. Inom knappt ett decennium hade dock Uranus börjat avvika från banan den borde följa. År 1788 var avvikelsen så stor som 30 bågsekunder. Nya banberäkningar gjordes där störningarna från Jupiter och Saturnus togs med, och detta gav bättre resultat. Men efter 1800 började Uranus ändå avvika från sin bana. År 1825 var avvikelsen så stor som 20 bågsekunder. Sedan blev avvikelserna mindre, men så började Uranus avvika åt andra hållet och 1832 var felet så stort som 30 bågsekunder. Var det så att Newtons gravitationslag inte gällde överallt? Eller fanns det någon tunn gas därute som gav motstånd mot planetrörelserna?

Två matematiker, John Couch Adams (1819 - 1892) från England och Urbain Jean Joseph Leverrier (1811 - 1877) från Frankrike, angrep problemet oberoende av varandra och utan varandras kännedom. De antog att avvikelserna i Uranus rörelser berodde på störningar från en okänd planet och beräknade var denna planet borde ligga. 1845 var Adams färdig med sin lösning, och Leverrier blev färdig 1846. Sedan följde en lång kedja av olyckliga omständigheter som gjorde att det dröjde ända till september 1846 innan något observatorium började söka efter denna planet. Det var Galle och d'Arrest på Berlins observatorium som var först med att leta, och redan den första kvällen hittade de den nya planet som skulle kallas Neptunus, bara en grad från den position där Adams och Leverrier sagt att den borde ligga.

Noggranna teorier för planeternas rörelser

Efter succén med Neptunus påbörjade Leverrier ett ambitiöst projekt att konstruera noggranna teorier för rörelsen hos alla planeterna. Han byggde på Laplaces arbeten och lyckades representera rörelserna hos alla planeterna under flera sekler med ett fel på högst några bågsekunder. Den amerikanske astronomen Simon Newcomb (1835 - 1909) byggde vidare på Leverriers arbeten, förbättrade dem tekniskt och blev den förste som skapade en helt sammanhängande teori för planeternas rörelser. 1898 publicerade Newcomb teorier för de fyra inre planeterna och medhjälparen George William Hill (1838 - 1914) publicerade samma år teorier för de yttre planeterna. Dessa teorier var aningen bättre än Leverriers och förbättrades inte ytterligare förrän datorer fanns tillgängliga.

Venuspassager och solparallaxen

Hipparchos ansåg att solparallaxen var 7 bågminuter. Ptolemaios minskade detta värde till 3 bågminuter. Kepler minskade parallaxen ytterligare till 1 bågminut, och Horrocks till 14 bågsekunder.

Första moderna beräkningen av solparallaxen gjordes år 1672 av den italienska astronomen Giovanni Domenico Cassini. Beräkningen baserades på samtidiga mätningar av Mars från två orter och resultatet blev 9,5 bågsekunder.

James Gregory (1638 - 1675) föreslog i sitt verk *Otica Promota* från 1663 att man kunde observera venuspassager för att bestämma solparallaxen. Metoden förespråkades och förfinades av Halley. 1761 års venuspassage gav solparallaxer mellan 8,3 och 10,6 bågsekunder. 1769 års passage gav ett bättre resultat: 8,4 - 8,8 bågsekunder. Encke gjorde 1835 en grundlig analys av dessa venuspassager och fick värdet 8,35 bågsekunder som länge blev accepterat. I slutet av 1800-talet och efter ytterligare två venuspassager antogs värdet 8.80 bågsekunder för solparallaxen. Det värdet förfinades en aning av observationer av asteroiden Eros åren 1910 och 1931, men förblev i stort sett accepterat ända till 1968 då radarmätningar möjliggjorde betydligt noggrannare mätningar av solsystemets skala.

Merkurius och relativitetsteorin: Leverrier och Einstein

I Leverriers ungdom föreslog Parisobservatoriet att han skulle börja arbeta med en teori för Merkurius rörelse. Den planetens rörelse var svårare att beskriva eftersom banan hade hög excentricitet och ganska stor inklination. Tabellerna för Merkurius från 1707 slog fel en hel dag då de förutsade en Merkuriuspassage. 1753 hade felet minskat till några timmar och 1786 till under en timme. Leverrier arbetade fram nya tabeller som förutsade 1845 års Merkuriuspassage med ett fel på bara 16 sekunder. Men Leverrier var inte nöjd utan arbetade vidare, dock blev han avbruten av att undersöka avvikelserna i Uranus rörelser. Efter den lyckade förutsägelsen och upptäckten av Neptunus återvände Leverrier till Merkurius. Han lyckades få teorier och observationer att stämma mycket väl om han antog att Merkurius perihelium rörde sig 38 bågsekunder per århundrade mer än de teoretiska beräkningarna krävde. Vad var orsaken till denna avvikelse?

En möjlighet var att gravitation från en eller flera okända planeter innanför Merkurius bana störde Merkurius. Astronomer hade sökt efter en sådan planet tidigare utan att hitta någon. Heinrich Schwabe (1789 - 1875) sökte i 17 år med början år 1826 genom att undersöka små mörka prickar på solen varje dag. Han hittade ingen planet, men istället upptäckte han den 11-åriga solfläckscykeln.

När Leverrier konstaterat att Merkurius rörelse avvek från teorin uppmanade han astronomer att hålla utkik efter möjliga nya planeter nära solen. Genast kom det in rapporter om observationer av sådana planeter. De flesta observationerna kunde avfärdas, men en observation av Edmond Lescarbault den 26 mars 1859 var så detaljerad att den krävde vidare undersökningar. Leverrier använde denna observation för att beräkna banelement för den "nya planeten" (som fick namnet Vulkanus) samt framtida tidpunkter för när den skulle passera framför solskivan. Flera observationer rapporterades, och Leverrier trodde fast på Vulkanus existens till sin död 1877. Sedan efterträddes han av Félix Tisserand (1845 – 1896) som granskade rapporterna kritiskt och avfärdade de flesta. Om Vulkanus hade funnits hade den dessutom varit så liten att den bara hade kunnat förklara en mindre del av den oförklarade rörelsen hos Merkurius perihelium.

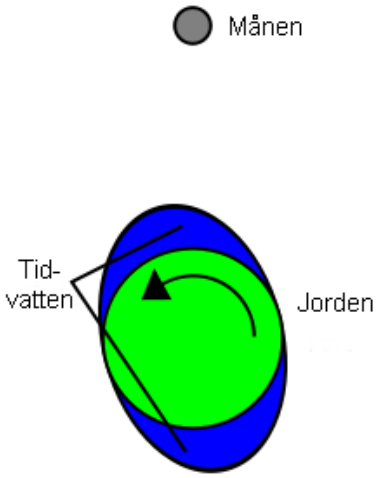
Newcomb trodde heller inte på planeter innanför Merkurius, utan istället trodde han att Newtons gravitationslag kanske inte gällde exakt nära solen. En sådan förklaring levererades av Albert Einstein (1879 - 1955) då han publicerade sin allmänna relativitetsteori 1915: relativitetsteorins avvikelser från Newtons lagar förklarade precis denna extra rörelse hos Merkurius perihelium. Någon "Vulkanus" behövdes inte längre som förklaring.

Månens sekulära acceleration

Att månens rörelse skenbart har ökat sakta med tiden de senaste 2000 åren påpekades först av Edmond Halley (1656 - 1742) år 1693, och han fick denna idé efter att ha studerat rapporter från antika solförmörkelser. Ökningstakten var 20 bågsekunder per århundrade per århundrade. Denna typ av långsam förändring kallas sekulära variationer.

Laplace analyserade detta teoretiskt och presenterade 1786 en lösning där månens sekulära acceleration antogs bero på den långsamma förändringen i jordbanans excentricitet. Effekten ansågs därmed ha fått sin förklaring.

Men år 1854 fann John Couch Adams felaktigheter i Laplaces beräkningar: bara hälften av den observerade accelerationen kunde förklaras med ändringar i jordbanans excentricitet. Detta skapade en kontrovers under några år, men det visade sig att Adams hade rätt.



Jord-måne-systemet med tidvattenvågorna och hur de knuffas framåt av jordens rotation. Detta överför impulsmoment från jorden till månen som får månen att sakta röra sig utåt samtidigt som jordrotationen bromsas en aning.

Om bara hälften av den observerade sekulära accelerationen kunde förklaras teoretiskt, vad berodde då den andra hälften av accelerationen på? En del av svaret gavs 1860 oberoende av Charles-Eugène Delaunay (1816 – 1872) och av William Ferrel (1817 - 1891): friktion från tidvattnet fick jordens rotation att långsamt sakta ner, och därmed blev våra tidsenheter långsamt längre. Månens hastighetsökning var alltså bara skenbar.

Vi har m.a.o. tre samtidiga effekter som påverkar månens skenbara rörelsehastighet. Dels effekten av ändringen i jordbanans excentricitet som upptäcktes av Laplace och senare korrigerades av Adams. Sedan har vi inte mindre än *två* tidvatteneffekter:

- tidvatteneffekterna mellan jorden och månen överför impulsmoment från jorden till månen. Detta får månen att sakta flytta sig längre ut i sin bana, och därmed går månen *långsammare* i sin bana runt jorden.
- tidvatteneffekterna får även jorden att med tiden rotera långsammare. Dels överförs impulsmoment från jorden till månen, dels innebär tidvattnet att det uppstår friktion mellan oceanerna och jordskorpan, och denna friktion tar energi från jordens impulsmoment. Dygnet blir sakta längre, och detta får alla himlakroppars rörelser att ske på färre dygn än tidigare. Effekten märks dock lättast på månen eftersom den rör sig snabbast på vår himmel.

Denna kombination föreslogs först av Emmanuel Liais (1826 - 1900).

Tidvatteneffekterna får alltså dygnet, och därmed även alla tidsenheter vi använder som bygger på dygnet, att bli längre med tiden. Detta är givetvis inte acceptabelt, och det ledde till att astronomerna övergav jordens rotation som tidsnormal. 1952 började de istället använda efemeridtid, en tidsskala som bygger på jordens omlopp kring solen som tidsnormal. 1984 övergavs den tunghanterliga efemeridtiden och ersattes med Terrest Tid (TT) som bygger på atomtiden TAI.

Tidvatteneffekterna mellan jorden och månen kommer så småningom att förlänga jordens dygn och månens månad tills de två blir lika långa. Men detta kommer att ta så många miljarder år att solen innan dess har hunnit växa till en röd jätte och kanske förgasat både jorden och månen. I verkligheten kommer våra efterlevande aldrig att få uppleva

att dygnet och månaden blivit lika långa.

Enckes komet och icke-gravitationella krafter

Enckes komet upptäcktes av Pierre Mechain 1786, därefter av Caroline Herschel 1795 och så åter igen av Jean-Lois Pons 1805 och 1818. De ansågs under många år vara olika kometer, men Johann Franz Encke visade efter långa och mödosamma beräkningar att dessa kometer var en och samma fysiska komet. Han förutsade kometens återkomst till 1822. Kometen visade sig då men passerade perihelium några timmar tidigare än förutsagt. 1823 hävdade Encke att denna avvikelse berodde på något slags medium i rymden som bjöd kometen visst motstånd i dess bana runt solen - kanske detta medium var solens yttersta atmosfär. Med detta antagande gjorde Encke lyckade förutsägelser av återkomsterna 1825 och 1828. Kometen kallas sedan dess för Enckes komet.

1836 noterade Friedrich Wilhelm Bessel att en komet som kastade ut gas skulle utsättas för en reaktionskraft som ändrade dess rörelse, och om detta skedde osymmetriskt kunde det märkbart påverka kometens banrörelse. Bessel identifierade ingen fysisk mekanism som kunde få kometen att kasta ut gas, men han hade observerat "strålar" ut från kometkärnan hos Halleys komet 1835. Dessa "strålar" tolkade Bessel som att gaser kastades ut från kometens kärna.

Under senare delen av 1900-talet rörde sig Enckes komet inte riktigt som den borde ha gjort om det funnits något medium i rymden som gjorde motstånd. Dessutom upptäcktes nu kometer som både saktade in och snabbade upp sin banrörelse en aning p.g.a. icke-gravitationella krafter. Ett medium som gjorde motstånd kunde bara förklara det senare: när en kropp i omloppsbana kring solen bromsas ned flyttas dess bana en aning närmare solen, och i den nya banan ökar kroppens hastighet något - dock minskar kroppens totala energi.[1]

1950-51 presenterade Fred Whipple sin modell av kometer som "smutsiga snöbollar". En sådan "snöboll" borde delvis smälta då den passerade närmast solen, vilket skulle kunna kasta ut gas från kometen. Detta förklarade varför de icke-gravitationella krafterna var mest märkbara nära solen där man kan vänta sig att uppvärmningen och där den därpå följande utgasningen är kraftigast. Om gas kastas ut symmetriskt åt alla håll vid uppvärmning av kometytan kommer kometens rotation att avgöra åt vilket håll nettokraften av de utkastade gaserna kommer att peka.

1973 presenterade Brian Marsden med kollegor den modell för kometers icke-gravitationella krafter som sedan dess blivit standardmodellen, där varje komet kan tilldelas upp till tre icke-gravitationella parametrar: A_1, A_2resp. A_3
.

Datoråldern börjar

1835 fick Airy, ledare för Greenwichobservatoriet, en förfrågan om inte Charles Babbages differensmaskin skulle kunna användas för att beräkna rörelsen hos Halleys komet. Airy trodde inte det skulle fungera, utan föredrog att använda papper och penna.

1934 utvecklade W.J. Eckert en metod för att numeriskt integrera planetrörelserna med hjälp av hålkort. Datorer fanns inte ännu men däremot enklare räknemaskiner som kunde läsa och skriva hålkort, och hålkorten var tänkta att transportera numeriska mellanresultat på rätt sätt.

1950 integrerades rörelserna för de yttre planeterna (från Jupiter till Pluto) numeriskt för tidsperioden 1653 - 2060 av W.J. Eckert, Dirk Brouwer och G.M. Clemence. Datorn de använde var en IBM SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator), en elektromekanisk dator. Metoden var en lätt modifierad version av Cowells metod som tidigare hade använts på Halleys komet. Integrationen skedde i steg om 40 dygn och varje steg krävde ungefär 2 minuters maskintid. Hela integrationen tog alltså ungefär 5 dygn.

1973 gjordes en liknande integrering av de yttre planeterna av C.J. Cohen, E.C. Hubbard och Claus Oesterwinter, men över en tidsrymd på en miljon år. Datorn var i detta fall en STRETCH (en IBM 7030) med 48-bits mantissa.

1984 byggde Jack Wisdom och Gerald Jay Sussman en specialdator för celest mekanik som de kallade Digital Orrery. Specialdatorn innehöll 10 oberoende processorer på varsitt kretskort som arbetade parallellt med varandra. Varje processor fick hantera var sin planet. De integrerade kretsarna designades av HP och hade vissa aritmetiska

operationer direkt i hårdvara. Digital Orrery rymdes på ett skrivbord men kunde räkna ca 1/3 så snabbt som Cray-1 och 60 ggr snabbare än VAX 11/780. Den förbrukade 150 W.

Den första större beräkningen som gjordes av Digital Orrery simulerade planeternas rörelser i solsystemet 100 miljoner år i framåt och bakåt i tiden. Teamet gjorde statistik på banelementen och visade att konventionella analytiska metoder var hopplöst otillräckliga för att representera banornas förändringar. Plutos rörelse är speciellt komplicerad p.g.a. 3:2-resonansen med Neptunus. Processorernas avrundningsfel begränsade det användbara tidsintervallet för integrationen till 100 miljoner år. Ett integrationssteg på 32,7 dagar gav minst fel, och betydligt mindre fel än det vanliga steget på 40 dagar; teamet vet inte varför.

En andra större körning på Digital Orrery integrerade enbart de yttre planeterna för att få ett längre användbart tidsintervall. Digital Orrery kördes kontinuerligt i fem månader för att integrera ett tidsintervall på 845 miljoner år eller 20% av solsystemets ålder. Banorna visade inte mycket kaotiskt beteende, men Plutos bana var mer oregelbunden än de övriga banorna. Solsystemet verkar vara hyfsat stabilt.

1991 pensionerades Digital Orrery och den står idag på Smithsonian Museum i Washington. Den fick en efterföljare i form av "The Supercomputer Toolkit".

Det byggs inte längre någon specialhårdvara för celest-mekaniska beräkningar. Vanliga processorer är så snabba att datorkraften räcker och blir över. Den Cray-1 som Digital Orrery jämfördes med har en räknekraft som ungefär motsvarar en 500 MHz Pentium III, en processor som vi idag anser vara gammal och långsam.

Modern celest mekanik

När Newcomb och Hill var klara med sina teorier för planeternas rörelser 1898 och Brown hade fullbordat sin månteori 1918 gick den celesta mekaniken i träda några decennier. Den användes för att beräkna de astronomiska årsböckerna samt banelement för nyupptäckta kometer och asteroider men inte så mycket mer. Astronomerna ägnade sig under denna tid åt astrofysik och kosmologi istället. Spektralanalysen uppfanns och användes på stjärnorna, "spiralnebulosor" visade sig vara egna galaxer på enorma avstånd, universum visade sig vara oerhört mycket större och visade sig dessutom expandera med stor hastighet, och vi kunde för första gången bilda oss mer konkreta uppfattningar om universums tillkomst. Det var inte så konstigt att den celesta mekaniken sågs som lite "gammalmodig" under denna tid.

Men snart inträffade två saker som innebar en renässans för den celesta mekaniken. Datoråldern inleddes kring 1950 (se föregående avsnitt) och möjliggjorde numeriska integreringar av ett omfång som skulle ha varit otänkbart på handräknandets tid. Och mindre än ett decennium senare kom rymdåldern som skapade nya behov av banberäkningar. När ryssarna skickade sin rymdsond Luna 3 runt månen 1959 och månens baksida blev fotograferad för första gången, beräknades rymdsondens bana med Enckes metod för numerisk integrering, samma metod som Encke själv använt för att integrera rörelsen hos Enckes komet och senare Halleys komet 1835. Men senare blev det Cowells metod (som använts för Halleys komet 1910) som blev allenarådande vid numeriska integreringar med dator: man integrerar då rörelseekvationerna direkt och slipper göra några antaganden om banornas form.

När datorer började användas även för symboliska matematiska beräkningar, kunde de analytiska teorierna för planetrörelserna förbättras. Den första seriösa analytiska teorin för planeterna gjordes av Lagrange 1781, men han tog bara hänsyn till termer av första ordningen. Hill utökade teorierna 1897, så att de inkluderade även termer av andra ordningen. Men det dröjde ända till 1970-talet innan man med datorns hjälp orkade bygga teorier som inkluderade termer av tredje ordningen.

Pierre Bretagnon fullbordade den första fasen i detta arbete 1982 och publicerade en teori under namnet VSOP82 (VSOP = Variations Séculaires des Orbites Planétaires[2]), som dock bara gav banornas form och orientering men inte planetens position i banan. Fem år senare, 1987, avhjälptes denna brist i och med publicerandet av VSOP87 som även gav planeternas positioner, med bättre precision än någon annan teori. Felet i positionen är högst en bågsekund inom 4000 år från nutid för de inre planeterna, 2000 år från nutid för Jupiter och Saturnus, samt 6000 år från nutid

för Uranus och Neptunus. VSOP87 är tillgänglig gratis. Den har blivit mycket populär och används bl.a. i planetarieprogrammet Celestia.

Jean Chapront och Michelle Chapront-Touzé utvecklade under 1970- och 1980-talen en halvanalytisk teori för månens rörelse som i sin senaste version heter ELP2000-85 (ELP = Ephemeride Lunaire Parisienne[3]). Även ELP-2000 finns tillgänglig gratis och har använts för att beräkna NASAs katalog över sol-och månförmörkelser under 5000 år[4] . ELP-2000 har anpassats till flera numeriska integreringar: först till DE200 och senare till DE405.

DE200, DE400, DE403, DE404, DE405 är namnen på ett antal olika integreringar av solsystemets rörelser som har gjorts av Jet Propulsion Laboratory[5] på främst 1990-talet. Från år 2003 och framåt grundar sig Astronomical Almanac på DE405-integreringen. Den har en noggrannhet på 0,001 bågsekunder för de inre planeterna och 0,1 bågsekunder för de yttre planeterna. Data från integreringarna finns tillgängliga i form av Chebyshev-koefficienter, tillsammans med datorprogram för att använda dessa koefficienter för att beräkna positioner.

Även kosmologin spelar roll i dagens celesta mekanik. Masreliez visade 1999 att p.g.a. universums expansion kommer planeterna att sakta accelereras i sina banor och falla in mot solen. Jorden kommer på detta sätt 22 centimeter närmare solen varje år. Effekten blir nätt och jämnt mätbar om man använder alla tillgängliga observationer av planeternas positioner.

Halleys komet, en serie ögonblicksbilder av den celesta mekaniken

Av alla kometer vi känner till är Halleys komet mycket speciell. Det var den första kometen som upptäcktes vara periodisk, det vill säga att den återkommer upprepade gånger till det inre solsystemet. Den har regelbundet återkommit i tusentals år, och vi har kunnat spåra den ända tillbaka till 468 f.Kr. i gamla kinesiska urkunder. Vidare har Halleys komet en period på 75-76 år, vilket ungefär motsvarar en människas livstid. De flesta människor får därför en chans i sitt liv att se Halleys komet. De som idag (2011) är ca 30 år eller äldre hade sin chans 1986, medan de som är yngre än 30 får sin chans 2061. Några som idag är 30-35 år och som såg Halley 1986 kan komma att få se den även 2061.

Bayeuxtapeten med Halleys komet 1066; *isti mirant stella*.

Ser man tillbaka på de olika återkomsterna av Halleys komet och noterar hur astronomerna då hanterade detta, får man en serie "ögonblicksbilder" på utvecklingen inom den celesta mekaniken samt räknekonsten. Nedan följer en kort översikt över kometens återkomster, från 1758 som var den första förutsagda återkomsten, till senaste återkomsten år 1986, plus gissningar om hur det kanske kommer att vara år 2061 då Halley kommer tillbaka nästa gång.

Halleys komet 1758

Kometen år 1682 observerades av Edmund Halley (1656 - 1742), som noterade att liknande kometer hade uppträtt även åren 1531 och 1607. Halley vågade sig på gissningen att det var samma komet som återkommit flera gånger, och att kometen alltså måste röra sig i en elliptisk bana och att den därför borde återkomma någon gång inom ett ca 600 dagar långt intervall åren 1757-1759. Halley bad Newton beräkna en bana för kometen, som en gentjänst för att Halley bekostade publiceringen av Newtons *Principia*. Men det blev istället Clairaut som gjorde ett seriöst försök att

beräkna kometens bana. Med hjälp av Lalande och Lepatue beräknade han banan steg för steg och tog hänsyn även till gravitationen från Jupiter och Saturnus. Beräkningen gjordes med förenklade metoder, men det var ändå första gången en himlakropps bana beräknades med numerisk integrering. Beräkningsarbetet tog fyra månader, från juni till september 1757. I november presenterades resultatet: den 15 april 1758 skulle kometen åter vara närmast solen. På juldagen 1757 återupptäcktes kometen, och den stod närmast solen den 13 mars 1758, en dryg månad tidigare än beräknat. Clairaut hade förbättrat Halleys förutsägelse med ungefär en faktor 10. Kometen fick namnet Halleys komet.

Halleys komet 1835

Då det nästa gång blev dags för Halleys komet att återkomma hade Greenwich-observatoriet renoverats. Ett tiotal olika banberäkningar fanns tillgängliga för kometen, och dessa spådde att kometen skulle stå närmast solen vid datum mellan den 7 och den 13 november 1835. Kometen passerade sedan närmast solen den 16 november, d.v.s. felet i förutsägelserna varierade mellan några dagar och en dryg vecka. Beräkningarna skedde denna gång mer organiserat: speciella räknekammare inreddes på flera observatorier där team av ganska unga pojkar räknade för hand tolv timmar per dag. Att beräkna kometbanan tog några månader för ett sådant team, och banan integrerades enligt Johann Franz Enckes (1791 - 1865) metod, där man utgår från en banellips och sedan numeriskt integrerar avvikelserna från denna ellips. George Biddel Airy (1801 - 1892), som ledde Greenwich-observatoriet, fick en förfrågan om inte Charles Babbages (1791 - 1871) differensmaskin skulle kunnat användas i beräkningsarbetet. Airy svarade nej, och han hade rätt: differensmaskinen var bra på att producera tabeller men lämpade sig inte för denna typ av beräkningar.

Halleys komet 1910

Vid 1910 års återkomst av Halleys komet var intresset för kometen lägre. Ingen ifrågasatte längre Newtons gravitationslag och de små justeringar av Newtons teori som gjorts av Albert Einstein (1879 - 1955) hade ingen betydelse för kometen. Bara två beräkningar av kometens återkomst hade gjorts. Den första gjordes av Pontecoulant, som även beräknat 1835 års återkomst; han fortsatte bara beräkningarna ett varv till i banan och korrigerade även för Neptunus påverkan sedan den planeten upptäckts 1846. Den andra beräkningen gjordes av Andrew Claude de la Cherois Crommelin (1865 - 1939) med hjälp av assistenten Phil Cowell (1879 - 1949). Crommelin och Cowell valde en ny metod för att numeriskt integrera kometbanan: istället för att utgå från en banellips integrerade de direkt de fundamentala ekvationerna, utan att något antagande om någon banform gjordes. Denna metod kallas numera Cowells metod. Räknebiträdena på Greenwich-observatoriet sattes i arbete, men beräkningarna tog längre tid än väntat och Crommelin tvingades göra förenklingar samt avstå från en del kontrollräkningar. Kometen beräknades stå närmast solen den 17 april. I september 1909 återfanns kometen, och den passerade närmast solen den 19 april, vilket innebar att beräkningen slog fel på bara två dagar, en avsevärd förbättring jämfört med 1835 års återkomst.

Då Halleys komet åter hade blivit osynlig efter 1910 års återkomst väcktes intresset för numeriska beräkningar inom många andra områden, som meteorologi, fysik, arkitektur och ingenjörskonst. Numeriska beräkningar fick oftare ersätta de geometriska metoder som varit populära tidigare. Som stöd för de numeriska beräkningarna började matematiska tabeller publiceras oftare än tidigare.

Halleys komet 1986

Beräkningarna inför 1986 års återkomst av Halleys komet påbörjades redan 1967 vid Jet Propulsion Laboratory i USA av en ung forskare som hette Donald Keith Yeomans. Han skapade en matematisk modell för kometen som använde Crommelins metoder plus en analys av utgasningen från kometens kärna. Men istället för en beräkningsplan skrev han ett datorprogram i språket FORTRAN IV. Programmet kördes på en UNIVAC 1108 [6] som då var en populär datormodell. Datorn var betydligt snabbare på att räkna än ett rum fullt av räknebiträden, men den delades av alla på hela laboratoriet och det var svårt att hitta ledig datortid. Lättast var det på nätter och helger. Användandet

av dator gjorde de tidigare så populära matematiska tabellerna överflödiga, de ersattes av algoritmer programmerade inne i datorn.

Yeomans beräknade även gamla banor för kometen för åren 1682, 1758 och 1835. Efter flera justeringar i sin datormodell avslutade han beräkningarna 1977 och förutsade att kometen skulle passera närmast solen den 9 februari 1986 kl 15:50 Greenwichtid. Kometen passerade sedan närmast solen kl 10:48, fem timmar och två minuter tidigare än beräknat.

Halleys komet återupptäcktes 1982, hela fyra år innan perihelpassagen. Efter perihelpassagen har den kunnat observeras kontinuerligt, en stor skillnad mot tidigare återkomster då kometen bara har kunnat observeras upp till något år från perihelpassagen.

Halleys komet 2061

Nästa gång Halley passerar nära solen blir år 2061.

Bara några år efter återkomsten av Halleys komet 1986 blev den UNIVAC som användes för att beräkna den återkomsten omodern och ersattes av bordsdatorer med större räknekapacitet, FORTRAN IV ersattes av mer sofistikerade programmeringsspråk, och det dök upp program som inte bara kunde göra numeriska beräkningar utan även klarade av symbolisk matematik. Om kometen hade passerat oss 1996 istället för 1986 så hade förutsägelsen blivit mycket mer förfinad.

De forskare som förutsäger 2061 års återkomst av Halleys komet kommer kanske att ge en förutsägelse som slår fel på bara några sekunder. De kommer också att ha tillgång till observationer av Halleys komet runt hela kometens bana. Sannolikt kommer de inte att minnas särskilt mycket om det dagliga livet för dagens datorprogrammerare, nätverksadministratörer och webbutvecklare. 2061 års generation kanske blir förvånade då äldre generationer berättar om hur vi idag faktiskt måste programmera datorerna - då kanske programspråken har blivit överflödiga, precis som de matematiska tabellverken har blivit överflödiga idag.

Se även

- Celest mekanik
- Astronomins historia

Referenser

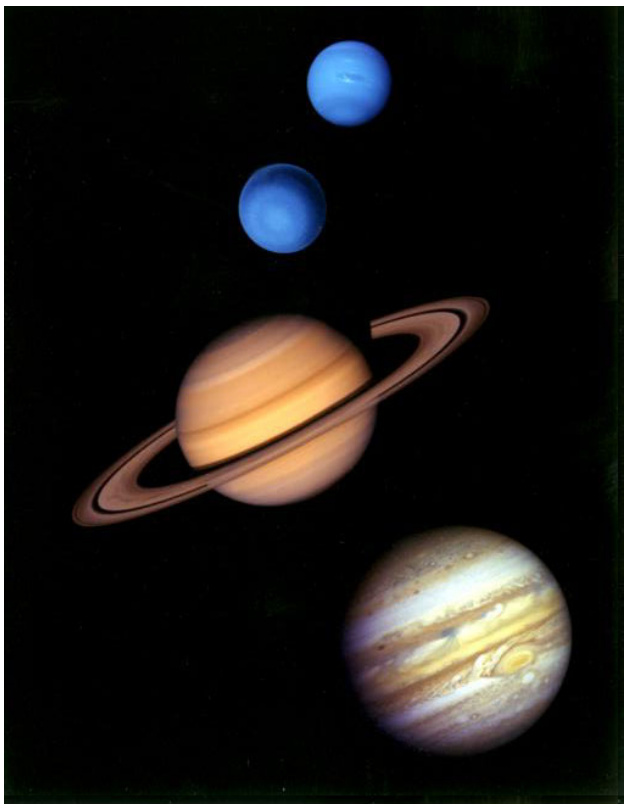
[1] Cometary Orbit Determination and Nongravitational Forces, Yeomans and Chodas (http://www.lpi.usra.edu/books/CometsII/7009.pdf), ur M.C. Festou, H.U. Keller, H.A. Weaver: *Comets II* (http://www.uapress.arizona.edu/books/bid1580.htm), University of Arizona Press, Arizona 2004. ISBN 978-0816524501.
[2] VSOP Planetary Theories (http://en.wikipedia.org/wiki/Secular_variations_of_the_planetary_orbits)
[3] ELP-2000 Lunar Theory (http://en.wikipedia.org/wiki/Ephemeride_Lunaire_Parisienne)
[4] Five Millennium Canon of Solar Eclipses (http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/ephemeris.html)
[5] DE400 Numerical Integrations (http://en.wikipedia.org/wiki/DE400)
[6] UNIVAC memories (http://www.fourmilab.ch/documents/univac/)

Vidare läsning

- C.M. Linton: *From Eudoxus to Einstein. A History of Mathematical Astronomy.* (http://www.cambridge.org/gb/knowledge/isbn/item5708731/?site_locale=en_GB), Cambridge University Press, Cambridge 2004. ISBN 978-0-521-04571-1.
- Arthur Koestler: *The Sleepwalkers. A History of Man's Changing Vision of the Universe.* (http://www.penguin.co.uk/nf/Book/BookDisplay/0,,9780140192469,00.html?strSrchSql=Sleepwalkers*/The_Sleepwalkers_Arthur_Koestler), Penguin Books, 1989. ISBN 9780140192469.
- David Alan Grier: *When Computers Were Human* (http://press.princeton.edu/titles/7999.html), Princeton University Press, 2005. ISBN 0-691-09157-9.
- Ivars Peterson: *Newton's Clock. Chaos in the Solar System* (http://www.amazon.co.uk/Newtons-Clock-Chaos-Solar-System/dp/0716727242), W.H. Freeman, New York 1993. ISBN 0-7167-2396-4.
- Alan Cook: *The Motion of the Moon*, Adam Hilger, Briston and Philadelphia, New York 1988. ISBN 0-85274-348-3.

Gasjätte

En **gasjätte** (även kallad **jätteplanet** eller **gasplanet**) är en typ av planet som består mestadels av gasformig eller flytande materia. Gasjättar kan ändå ha en fast kärna, men det finns ingen väldefinierad fasövergång som exempelvis den mellan jordens atmosfär och jordmantel. Mycket tyder på att en fast kärna är nödvändig för att gasjättar ska kunna bildas. I vårt solsystem finns det fyra gasjättar, Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus. Dessa kallas ibland för *de yttre planeterna*, ett uttryck som omfattade Pluto på den tiden den räknades som planet. Många extrasolära gasjättar har identifierats som kretsar kring andra stjärnor. Planeter större än 10 jordmassor kallas för jätteplaneter. Är de mindre än 10 jordmassor kallas de ofta för superjordar eller ”Gasdvärgar”.



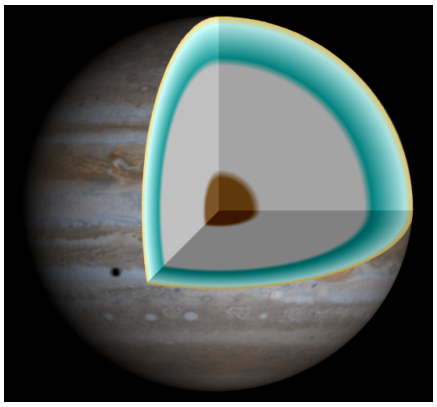
I vårt solsystem finns det fyra gasjättar, Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus.

Objekt tillräckligt stora för att starta fusion (större än 13 Jupitermassor) kallas bruna dvärgar och dessa ligger storleksmässigt mellan de största gasjättarna och de stjärnor med lägst massa. De 13 Jupitermassorna är en tumregel snarare än en exakt vetenskap. Större objekt kommer att bränna det mesta av sitt deuterium och de mindre kommer bara bränna en liten del, och de med 13 Jupitermassor hamnar någonstans emellan. Mängden av deuterium som bränns beror inte bara på massan utan också på planetens sammansättning, speciellt mängden av helium och deuterium.

Ordet *gasjätte* uppfanns av den brittiske science-fiction-författaren James Blish.

Beskrivning

En gasjätte är en massiv planet med en tjock atmosfär och en tät smält kärna. De ”traditionella” gasjättarna, Jupiter och Saturnus, är mest sammansatt av väte och helium. Uranus och Neptunus kallas ibland för isjättar, eftersom de till största delen är sammansatt av vatten, ammoniak och metan. Bland extrasolära planeter finns något som kallas Het Jupiter, dessa är gasjättar som kretsar nära sina stjärnor och därför har de en hög yttemperatur. En Het Jupiter är för tillfället den vanligaste kända extrasolära planeten, kanske på grund av att de är relativt lätta att upptäcka. Det är allmänt sagt att gasjättar saknar en fast yta, men det är närmare sanningen att säga att de saknar ytor helt eftersom gaserna de är uppbyggda av bara blir tunnare ju längre ifrån planetens kärna de ligger och till slut blir de omöjliga att skilja från det interstellära mediet. En landning på en gasjätte kan eller kan inte vara möjligt, beroende på storleken och sammansättningen av dess kärna.



Denna genomskärning visar en modell av det inre av Jupiter, förmodligen med en stenig kärna överlagt med ett djupt lager av metalliskt väte.

Bält-zon omloppen

Banden som man kan se cirkulera i en gasjättes atmosfär parallell mot ekvatorn, som beror på de mot-cirkulerande strömmarna av material, kallas zoner och bälten. Zonerna är de ljusare banden, och de ligger på högre höjder i atmosfären. De har en intern uppvind och de är områden med högt tryck. Bältena är de mörkare banden, de är lägre ner i atmosfären, har en intern nervind och är områden med lågt tryck. Dessa mönster är lika de hög- och lågtrycksområden som finns på jorden men de har en annan struktur – latituda band som cirkulerar runt hela planeten, till skillnad mot små celler av tryck som det är på jorden. Detta verkar vara en följd av en snabb rotation oh underliggande symmetri av planeten. Det finns inga oceaner eller landmassor som orsakar lokala upphettningar och rotationshastigheten är betydligt snabbare än den på jorden. Det finns dock mindre strukturer i atmosfären också: fläckar av olika storlekar och färger. På Jupiter finns den stora röda fläcken, den mest märkbara av fläckarna, och har funnits i minst 300 år. Dessa strukturer är enorma stormar. Några av dessa fläckar kan dessutom vara regnmoln.

Jupiter och Saturnus

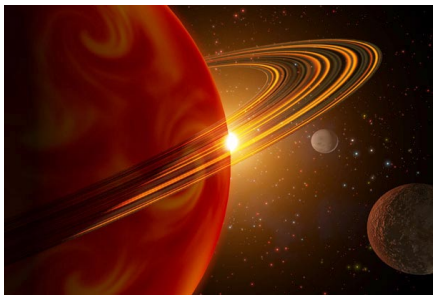
Jupiter och Saturnus består mest av väte och helium, de tyngre grundämnena tar upp mellan 3 och 13 procent av dess totala massa. Deras strukturer tros bestå mest av ett yttre lager av molekylärt väte, omgivet av ett lager metalliskt väte, troligen med en smält kärna av en stenig sammansättning. Den yttersta delen av vätatmosfären är karakteriserad av många lager med synliga moln som till största delen består av vatten och ammoniak. Det metalliska vätet utgör huvuddelen av dessa planeter och är beskrivna som ”metalliska” pga att det höga trycket gör vätet till en elektrisk ledare. Kärnan är trodd att bestå av tyngre grundämnen på så höga temperaturer (20 000 K) och tryck att deras egenskaper är svåra att förstå.

Uranus och Neptunus

Uranus och Neptunus har en distinkt annorlunda inre sammansättning än Jupiter och Saturnus. Modellen av deras inre börjar med en väterik atmosfär som sträcker sig från ovanför molntopparna ner till 85% av Neptunus radie och 80% av Uranus radie. Innanför detta är det huvudsakligen ”isigt”, bestående av vatten, metan och ammoniak. Det finns också sten och gas men olika proportioner av is/sten/gas kan imitera ren is så de exakta förhållandena är okända. Väldigt dimmiga atmosfärlager med en liten mängd metan ger dem akvamarina färger såsom bebisblå och ultramarin respektive. Båda har magnetfält som är kraftigt lutade mot deras rotationsaxlar. Olikt andra gasplaneter har Uranus en extremt lutad rotationsaxel som orsakar att dess årstider är väldigt omtalade.

Extrasolära gasjättar

På grund av begränsade metoder för att upptäcka extrasolära planeter har många av de som hittills hittats varit av en storlek som, i vårt solsystem, varit kopplat till gasjättar. Många av dessa extrasolära planeter är mycket närmare sina närmaste stjärnor och därför mycket hetare än gasjättarna i vårt solsystem, vilket ger en möjlighet att några av dessa planeter är av slag som inte är observerat i vårt solsystem. Med tanke på förekomsten av grundämnen i Universum (approximativt 98% väte och helium) vore det överraskande att hitta en stenplanet i Jupiters storleksklass. Å andra sidan har tidigare modeller av planetsystems formationer sagt att gasjättar inte skulle kunna bildas så nära deras stjärnor som många av de nya planeterna har observerats vara.



En artists tolkning av 79 Ceti b, en exoplanet liknande våra gasjättar, med en massa mindre än Saturnus.

Kalla gasjättar

En kall väterik gasjätte mer massiv än Jupiter men mindre än 500 jordmassor (1,6 Jupitermassor) kommer att ha lite större volym än Jupiter. En massa över 500 jordmassor kommer degenerera tryck och orsaka att planeten minskar. Kevin-Helmholtz uppvärmning kan göra att en gasjätte, såsom Jupiter, kan avge mer energi än den får från sin värdstjärna.

Mindre gasplaneter

Även om orden gas och jätte ofta är kombinerat måste inte väteplaneter vara lika stora som de kända i vårt solsystem. Men mindre gasplaneter och planeter närmare sin stjärna kommer att förlora atmosfärisk massa mycket snabbare via hydrodynamisk flykt, än större planeter eller planeter som ligger längre ifrån sin stjärna.

Terminologi

Termen gasjätte myntades 1952 av science fiction-författaren James Blish. Förmodligen är det något missvisande, eftersom större delen av volymen av dessa planeter (andra delar än fasta material i kärnan) är över den kritiska punkten där det inte finns någon skillnad mellan vätskor och gaser. ”Vätskeplanet” skulle vara en mer korrekt term. Jupiter är ett specialfall, med metalliskt väte nära centrum, men med mycket av dess volym är väte, helium och spår av andra gaser över sina kritiska punkter. De observerbara atmosfärerna på vilken av dessa planeter (vid mindre än optisk enhets djup) är ganska tunn i jämförelse till deras radier, den sträcker sig bara en procent av vägen in mot centrum. Således är de observerbara delarna gasformiga (i motsats till Mars och jorden, som har gasformig atmosfär genom vilken man kan se jordskorpan). Den missvisande termen har fångats på grund av att planetforskare oftast använder ”sten”, ”gas” och ”is” som klasser för grundämnen och föreningar som oftast förekommer i planetära komponenter, oberoende av vilken fas de visas i. I andra solsystem är väte och helium ”gaser”, vatten, metan och ammoniak är ”is” och silikater och metaller är ”sten”. När djupa planetariska interiörer betraktas, är det inte långt borta att säga, att med ”is” menar astronomer syre och kol, med ”sten” menar de kisel och med ”gas” menar de väte och helium. Med denna terminologi i baktanke har några astronomer börjat referera Uranus och Neptunus som ”isjättar” för att indikera den skenbara dominansen av ”is” (i flytande form) i deras inre sammansättning.

Se även

- Isjätte
- Jupiter
- Saturnus
- Uranus
- Neptunus
- Stenplanet
- Deuterium
- Metalliskt väte
- Planetsystem

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, Gas giant [1]

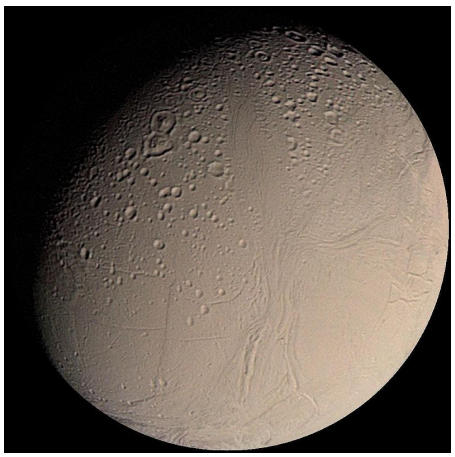
Referenser

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/En%3Agas_giant

Enceladus topografi

Artikeln behandlar månen Enceladus topografi. För information om Enceladus, se Enceladus

Enceladus är den en 6:e största månen bland alla 18 som kretsar kring gasjätten Saturnus. Storleken kan jämföras med Titans 5.150 km, Rheas 1530 km, Iapetus 1440 km, Diones 1120 km och Thethys 1050 km. Det är också en av de minsta av Saturnus sfäriska satelliter, eftersom alla mindre satelliter utom Mimas (390 km) har en oregelbunden form. Satelliten är en relativt liten satellit med en genomsnittlig diameter på ca 500 kilometer, vilket bara är en sjundedel av jordens egen månes diameter.



Figur 1: Enceladus fotad av Voyager 2, den 26 augusti, 1981

Enceladus yta.

Voyager 2 var den första rymdfarkosten som gjorde geologiska observationer av Enceladus. Detta ägde rum i augusti år 1981. Voyager 2 tog då bilder av hög upplösning som avslöjade mycket om månen. Den visade då fem olika terrängtyper, bland annat flera områden med kraterterräng, områden av slät terräng och regioner med fåror eller åsar som ofta gränsar till en slät terräng.

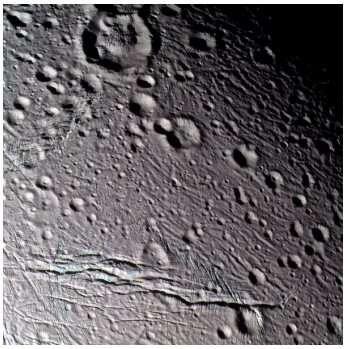
Observationer gjorda under år 2005 av Cassini gav en ännu mer detaljrik bild av Enceladus yta. Den 12 mars 2008 hade den sin närmaste förbiflygning. Avståndet mellan Enceladus och Cassini var då bara 50 km från ytan. Dessa observationer visade bland annat att de släta och kraterfria terrängerna även var ärrade av små branta stup och bergsryggar. Man upptäckte även mängder med sprickor i kraterterrängen, vilket tyder på att ytan har deformerats efter att nedslagskratrarna har bildats. Cassinis bilder visade även långa, blåaktiga sprickor som korsade månens yta. Dessa linjer är kända som ”Tiger stripes” (tigerränder), vilket är områden där vatten och värme strömmar från Enceladus innandöme och ger upphov till sprickor.

Nedslagskratrar

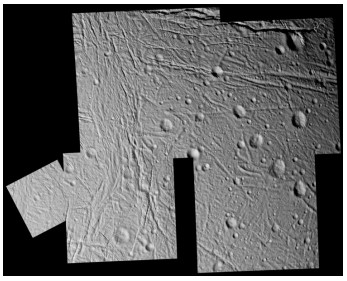
Nedslagskratrar är vanligt förekommande på många av solsystemets kroppar. Mycket av Enceladus yta är täckt med kratrar som är av olika utseenden och densiteter. Från Voyager 2 observationer upptäcktes tre olika typer av ytor, detta med hjälp av nedslagskratrarnas densiteter. Områden kända som ct1 och ct2, är slätter som är täckta av kratrar som är mellan 10-20 km breda och dessa två områden har ungefär samma densitet. Områden kända som cp är slätter som är nästan helt släta och kraterfria. Observationer, av bland annat densitetsskillnaderna i områdena, indikerade att Enceladus yta kan ha förnyats ett flertal gånger under dess livstid. Närmare observationer av ct2 och cp områdena har även gjorts av Cassini, och dessa observationer har givit oss ännu mer information. Man har bland annat upptäckt att kratrarna är kraftigt deformerade på grund av månens viskositet. Viskositet betecknar vätskors eller gasers ”tjockhet” och kan ses som ett mått på friktion. Viskös friktion orsakar att kratrar och andra typer av topografi, som är skapad i vattenis, till att deformera över en period. Detta reducerar mängden av topografi med den geologiska tiden. Viskös friktion orsakar att kratrar och andra typer av topografi ,som är skapad i vattenis, deformeras över en period. Detta reducerar mängden av topografi med tiden. Takten som behövs för att detta ska hända beror på isens temperatur; varmare is är enklare att deformera än den som är kallare och hårdare.

Plattektonik

Voyager 2 hittade flera typer av tektoniska typer på Enceladus, till exempel fåror och åsar. Senaste resultaten från Cassini tyder på att tektonisk aktivitet är det som mest ändrar månens utseende på ytan. En av de mer dramatiska typer av tektoniska funktioner som finns på Enceladus är när månens skorpa töjs ut och spricker. Dessa raviner kan vara upp till 200 km långa, 5-10 km breda, och en kilometer djupa. I figur 2 går det att se ett ärr på ytan, som har genomborrat äldre, tektoniskt deformerad terräng. Förutom djupa sprickor och deformerade fåror, har Enceladus flera andra typer av tektoniska terräng. Figur 3 visar uppsättningar av smala sprickor (fortfarande flera hundra meter bred) som först upptäcktes av Cassini. Många av dessa tektoniska frakturer finns i band som skär igenom kratrig terräng. Dessa frakturer tycks sprida sig ner till bara några hundra meter in i jordskorpan. Många verkar ha påverkats under bildandet av den försvagade regoliten som skapas av nedslagskratrar. Ett annat exempel på tektoniska aktiviteter på Enceladus är de linjära spåren som först hittades av Voyager 2 men som har sett i en högre upplösning av Cassini. Dessa linjära spår kan ses skära igenom andra terrängtyper, liksom grövre och deformerade åsar. Dessa tycks också finnas vid yngre terränger. Men vissa linjära spår verkar mjukas upp som kratrar i närheten, vilket tyder på att dessa kan vara äldre än vad dem tros vara.

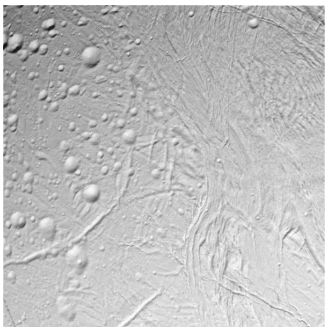


Figur 2: Närbild av Enceladus yta



Figur 3: Enceladus yta i mer detalj. Bilden är tagen av*Cassini* den 9 Mars 2005.

Släta slätter



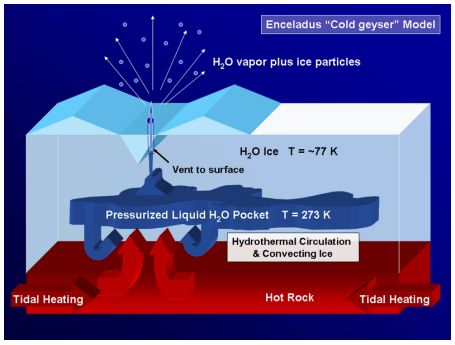
Figur 4: Samarkand Sulci på Enceladus. Tagen av *Cassini* den 17 February 2005.

Två typer av släta slätter har även observerats av Voyager 2. Dessa slätter har generellt färre kratrar än terränger med kratar, vilket kan betyda att ytan är relativt ung. I en av de släta slätten regionerna, som heter Sarandib Planitia, finns inga synliga nedslagskratrar. En annan region som ligger sydväst om Samrakand Sulci, kan man hitta flera kratrar. Figur 4 visar området. Cassini har sedan observerat dessa släta regioner, som Sarandib Planitia, i mycket högre upplösning. De högupplösta bilderna som togs på Sarandib Planitia har avslöjat ett antal små kratrar, som möjliggör en uppskattning av ytans ålder. Ytan verkar vara antingen 170 miljoner år eller 3,7 miljarder år, beroende på hur många nedslagskratrar som finns på ytan som observerats. Enceladus södra hemisfär har även varit i fokus, och där har man också hittat släta slätter (den sida som vetter mot Saturnus). Men ytan på den södra hemisfären är till skillnad från Samrakan Sulci täckt av fåror, åsar och tigerränder vilket tyder på att den är väldigt aktiv just där.

Enceladus sydpol

Bilder tagna av Cassini under förbiflygning den 14 juli 2005 visade en distinkt, tektoniskt deformerad området kring Enceladus sydpol. Detta område nådde så långt norrut som 60 ° sydlig bredd och är täckt av sprickor och åsar. Arean har ett fåtal små nedslagskratrar vilket tyder på att detta område är det yngsta området på Enceladus yta. Yngre ytor har inte hittats på dem andra istäckta satelliterna. Detta kan betyda att denna yta är kring 500 000 år gammal, eller till och med yngre. Nära centrum av dessa terränger finner man även de kända "tigerränderna". Dessa verkar vara den yngsta frakturerna i denna region och är omgivna av en grönaktig (i falskt färg), grovkornig is, sett på andra ställen på ytan inom hällar och väggar av frakturer. Här är den blåfärgade isen täckt på en platt yta, vilket indikerar att regionen är ung nog att inte ha blivit påverkad av vattenisen från Saturnus E-ring. Resultat från the Visual and Infrared Spectrometer (VIMS) instrument föreslår att den grön färgade materian som omger tigerränderna är kemiskt annorlunda än resten av materian som finns på Enceladus yra. VIMS upptäckte även kristalliserad vatten is i ränderna, som föreslog att ytan är relativt ung (ungefär 1000 år gammal) eller att ytan har ändrats på grund av värmen från Enceladus inre. VIMS upptäckte även enkla, organiska ämnen i tigerränderna, organiska ämnen som inte har hittats någon annan stans på månen. Även gränsen till Enceladus sydpol är markerad med Y- och V-formade åsar och dalar. Dessa är väldigt tydliga på bild. Formen och placeringarna av dessa "ärr" indikerar att de är orsakade av förändringar i den övergripande formen av Enceladus.

Kryovulkaner



Figur 5: En kryvulkans utseende enligt vissa teorier

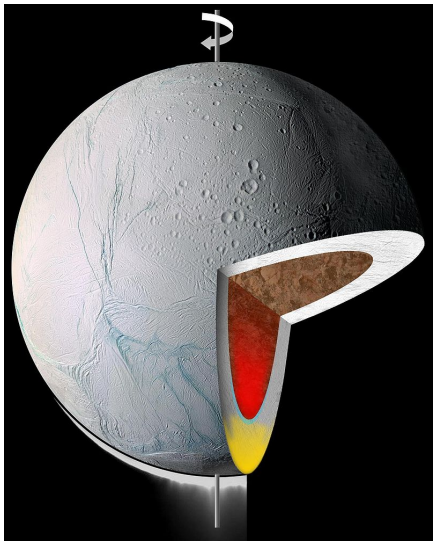
Man vet att Enceladus södra hemisfär är väldigt aktiv. Där har man, förutom tigerränderna, även hittat kryovulkaner (kryo kommer från grekiskans "kall"). Ett annat namn för en kryovulkan är isvulkan. Denna typ av vulkan sprutar ut en blandningar av flyktiga ämnen som vatten, metan och ammoniak. De två sistnämnda har upptäckts på Enceldus. En sådan blandning kallas ibland för kryomagma. När en kryovulkan får ett utbrott bildas plymer vid utbrotten, varefter kryomagman avdunstar till ett fast ämne eftersom att den obges av en låg temperatur. Man hittar oftast kryovulkaner på ismånars ytor, men det kan även finnas liknande vulkaner på andra frusna himlakroppar

som himlakropparna i Kuiperbältet. Det krävs en viss energi för att smälta is och skapa isvulkaner. Detta sker oftast på grund av tidvatteneffekter. Eftersom att Saturnus har en stark gravitation, töjer den ut Enceladus och släpper sen. Detta händer under en lång period, vilket leder till att månen värms upp inifrån och blir aktiv. En annan måne i solsystemet som har påverkats av tidvatteneffeken och blivit geologiskt aktiv är Jupiters måne Io. Den 27 november, 2005 fotograferade Cassini plymer på Enceladus sydpol. Dessa plymer verkar kasta ut materia som sedan samlas i Saturnus breda men diffusa E-ring. Cassini har tittat närmare på vattenplymerna och till och med passerat en när den har haft ett utbrott. Detta gjorden sonden den 14 juli 2005, då den var väldigt nära månen. Cassini använde då två instrument som heter the Ion and Neutral Mass Spectrometer (INMS) och the Cosmic Dust Analyzer (CDA). Prover samlades tack vare dessa instrument och kunde sedan analyseras i detalj. INMS mätte sammansättningen av gasmolnet som Cassini passerade, och upptäckte mestadels vattenånga, men även mindre komponenter som molekylärt kväve, metan och koldioxid. CDA upptäckte att en stor mängd molekyler ökade snabbt nära Enceladus yta, vilket betyder att E-ringen består för det mesta av materia som kommer från månen. Ännu en observationer gjordes den 12 mars 2008 av Cassini. Data efter denna förbiflygning visade ytterligare kemikalier i plymen, inklusive enkla och komplexa kolväten som propan, etan och acetylen. Detta kan betyda att det finns liv i Enceladus, en teori som forskarna har haft länge. När INS mätte sammansättningen av Enceladus plym avslöjade den att dess sammansättning liknar den som kometer brukar ha.

Inre struktur

Innan Cassini började observera Enceladus så visste man inte så mycket om månens inre struktur. Men efter sondens förbiflygningar har man lärt sig mer om den. Bland annat har man räknat ut Enceladus massa och lärt sig mer om månens geokemi. När Voyager 2 observerade månen så sa man att den nästan bara består av vattenis. Men baserat på effekterna av Enceladus gravitation på Cassini, var dess massa mycket högre än man tidigare trott. Nu kunde densiteten beräknas till 1.609 6 ± 0.002 4 g/cm^3. Detta betyder att Enceladus har en högre densitet jämfört med Saturnus andra månar, vilket i sin tur betyder att den består av en stor andel av silikater och järn. Enceladus har även radioaktiva ämnen under ytan, vilket bidrar till värme när de sönderfaller.

Möjlighet till en vattenocean under ytan



Figur 6: hur Enceladus kan se ut under ytan. Modellen gjordes med hjälp av data från Cassini

I slutet av 2008, observerade forskare vattenånga som lämnade Enceladus yta. Detta kan tyda på att det förekommer flytande vatten på Enceladus, vilket också kan göra det möjligt att det finns liv på Enceladus. Cassnini har hittat bevis på att det kan finnas en global, flytande ocean under månens frysna yta. Partiklar av is analyserades av Cassini avslöjade att isen består av en stor mäng salt, något som man tidigare inte visste. Detta kan bara ske i en stor kropp med flytande materia (exempelvis vatten), och detta är något som Enceladus är och tycks ha. Ifall inte en stor vattenocean existerar där, så finns det åtmistone underjordiska vattenkammare utspridda på månen. Upptäckten av salt i Enceladus vattenånga gjordes den 13 augusti 2009. Dessutom upptäckte Cassini spår av organiska föreningar såsom karbonater och dammkorn. Alla dessa upptäckter gav ett större hopp om att en vattenocean finns under månens yta. Dammpartiklarna som fångade kanske kan lämna uppgifter som normalt skulle kräva borrning för att få reda på. Förekomsten av flytande vatten under skorpan innebär att det måste finnas en intern värmekälla. Forskarna tror nu att det är en kombination av radioaktivt sönderfall och tidvatteneffekten som värmer upp månen. I

framtiden vill forskare skicka en landare på Enceladus, som ska borra och avslöja mer om denna fascinerande måne Enceladus.

Referenser

- Enceladus(moon) [1]
- Topography of Enceladus [2]
- Topography of Enceladus [2]

Externa länkar

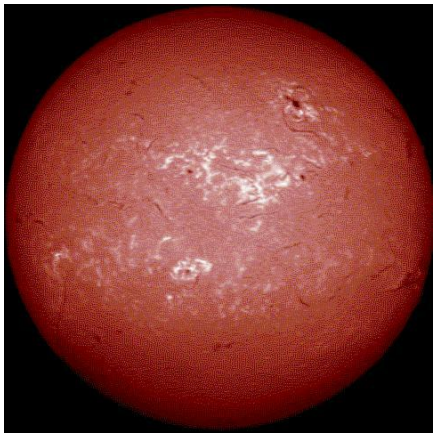
- Bilder Cassini har tagit [3]
- Photojournal [4]
- Wievs of the solar system [2]

Referenser

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Enceladus_(moon)
[2] http://solarviews.com/eng/enceladus.htm
[3] http://ciclops.org/search.php?x=20&y=7&search=Enceladus&js=1
[4] http://photojournal.jpl.nasa.gov/target/Enceladus

Kromosfär

Kromosfären är det näst yttersta skiktet av solens atmosfär, det enda skiktet som befinner sig utanför är koronan. Kromosfären är omöjlig för blotta ögat att se förutom under en total solförmörkelse.



Ett foto av solskivan taget genom ett H_{α}-filter.

Synlighet

Kromosfären är mer visuellt transparent/öppet än fotosfären. Namnet betyder färgsfär och kommer ifrån kromosfärens djupröda färg. Den djupröda färgen uppkommer eftersom det synliga spektrumet av kromosfären domineras utav vätets H-alpha spektrallinje vid 656,3nm långt ned i kromosfären.

Utan speciell utrustning kan inte kromosfären normalt ses på grund av att den spolas ut av den överväldigande ljusstyrkan från fotosfären. Men när en total solförmörkelse sker, då månen är helt i linje mellan jorden och solen skymmer månen fotosfären och det röda ljuset träder fram. Vi ser då kromosfären som en rad röda fläckar runt en solid svart cirkel. Dock kan den ses tydligt genom bandpassfilter inställda på H-alfa spektrallinje, och många observatorier observerar regelbundet kromosfären med denna teknik, som visar filament ganska tydligt.

Placering

det röda skenet är kromosfären

Kromosfären ligger mellan fotosfären och koronan, som är den yttersta delen av solens atmosfär och dess tjocklek sträcker sig ca. 2000km[1] . Men den är ändå tunn, dens densitet ökar nästan sju storlekar (fem miljoner gånger) från en bottennotering på 1.0 × 10-11 kg/m³ (1.0 × 10-14 g/cm³) vid gränsen vid solens övergångsregion, och ökar till en nivå av 2.0 × 10-4 kg/m³ (2.0 × 10-7 g/cm³) där den övergår in i fotosfären.

Temperatur

Av skäl som inte är helt förstådda så är kromosfären varmare än fotosfären. Fotosfären är närmare till kärnan av solen och temperaturen är runt 4000K till 6400K men kromosfärens temperatur ligger runt 4500 K till och med 20 000 K. En teori är att den akustiska turbulensen är källan till denna högre temperatur, till följd av spridningen av magnetohydrodynamiska vågor över solens yta.

Ovanför kromosfären i några stjärnor är det en så kallad övergångsregion, där temperaturen ökar snabbt till den heta koronan, som utgör den yttersta delen av atmosfären. Till skillnad från solens inre, ökar temperaturen i kromosfären gradvis när man rör sig bort från solen samtidigt som trycket minskar. En teori för denna uppenbara skillnad mellan temperaturerna i kromosfären och fotosfären är att kromosfären innehåller magnetiska fält som projiceras utåt från fotosfären. Elektrisk ström flyter genom dessa områden från fotosfären till koronan. Denna process kan förlora en del energi på de områden som producerar den högre temperaturen. Man tror att energi kan försvinna genom linjer i magnetfältet genom att störas och att behöva svänga i ett försök att återvända till sin ursprungliga form

Egenskaper

Filament (och protuberanser som är filament sett från sidan) ligger till grund för många korona-utkastningar och därmed är viktiga för förutsägelse av rymdvädret.

Gasen i kromosfären är mycket tunnare än den i fotosfären. Man ser spikuler som orsakas av vertikalt stigande gas (spikuler är ungefär som små vulkanutbrott) och är fenomen som varar ett tiotal minuter innan de försvinner för att sedan uppstå igen.

En annan funktion som finns i kromosfären är fibriller, horisontella stripor av gas liknande utsträckande spikuler men med ungefär dubbel varaktighet. Till slut, solprotuberanser stiger upp genom kromosfären från fotosfären, ibland når de altituden 150,000 kilometer. De här gigantiska gasplymerna är de mest spektakulära av solfenomenen, bortsett från de mindre förekommande solar flares.

Källor

Lagerkvist, Olofsson, Claes-Ingvar, Kjell: astronomi en bok om universum, BONNIERS, 2003.

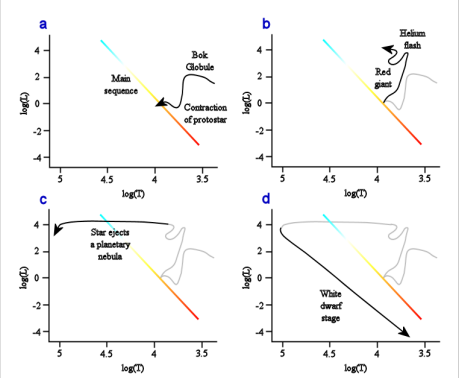
[1] ”Solen” (http://www.kosmologika.net/Stars/Solen.html). .

Artikeln är, helt eller delvis, en översättning från engelskspråkiga Wikipedia (http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Chromosphere&oldid=412973745).

Heliumflash

En **heliumflash** är fusionsprocessen av helium i kärnan på en mindre stjärna som har en massa mindre än runt 2,25 solmassor, eller kanske på ytan på en vit dvärg eller som skalförbränning i större stjärnor i den asymptotiska jättegrenen.

Heliumflash i kärnan



Processerna i kärnan

I en stjärna som har en massa på mindre än 2,25 solmassor sker heliumflashen i kärnan när vätet tar slut och trycket inte längre kan stå emot en gravitionell kollaps. Kärnan börjar då kontrahera och blir då varmare och varmare till det gör att de yttre lagren börjar expandera och den påbörjar sin röda superjätteperiod. När stjärnan fortsätter kontrahera i takt med gravitationen, kommer den till slut bli så kompakt att massan bli degenererad. Det här degenererande trycket kommer till slut bli tillräckligt för att hindra en fortsatt kollaps av det mest central materialet, medan resten av materialet i kärnan fortsätter att kontrahera och värmen fortsätter att stiga. När temperaturen når cirka 100 miljoner Kelvin kan heliumet börja fusioneras.

Den explosiva naturen hos en heliumflash beror på mängden degenererad massa. Trycket är inte längre beroende av temperaturen. När temperaturen når 100-200 miljoner Kelvin fortsätter heliumfusionen genom trippel-alfa processen, eftersom degenererad materia leder värme effektivt. Temperaturen ökar snabbt, mängden helium som fusioneras ökar och detta gör att dessa delar där reaktionerna sker expanderar. Trots detta kommer dock inte volymen att öka och trycket kommer inte att minska, så det är ingen stabil avkylande expansion av kärnan. Den här skenande reaktionen ökar snabbt till 100 miljarder gånger stjärnans normala energiproduktion (i fem sekunder) tills den ökade temperaturen gör det termiska trycket dominant igen, och förhindrar förfallet/kollapsen. Kärnan kan sedan expandera och kylas ner och stabilt fortsätta förbränningen av helium.

Stjärnor med en massa mer än 2,25 solmassor börjar förbränningen av helium utan att deras kärna blir degenererad så de uppvisar inte den här typen av heliumflash.

En heliumflash kan inte observeras direkt på ytan genom elektromagnetisk strålning. Flashen sker i kärnan långt in i stjärnan, och effekten kommer att bli att all frisläppt energi kommer bli absorberat av kärnan.

Heliumflash på ytan av en vit dvärg

När vätgas från en anslutande stjärna till en vit dvärg är ansamlat i den vita dvärgen, fusioneras det oftast till helium. Det här heliumet kan byggas upp och bilda ett skal nära stjärnans yta. När massan av heliumet blir tillräckligt stort, kan en heliumflash inträffa, med en skenande fusion som orsakar en nova.

Källor

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia [1]

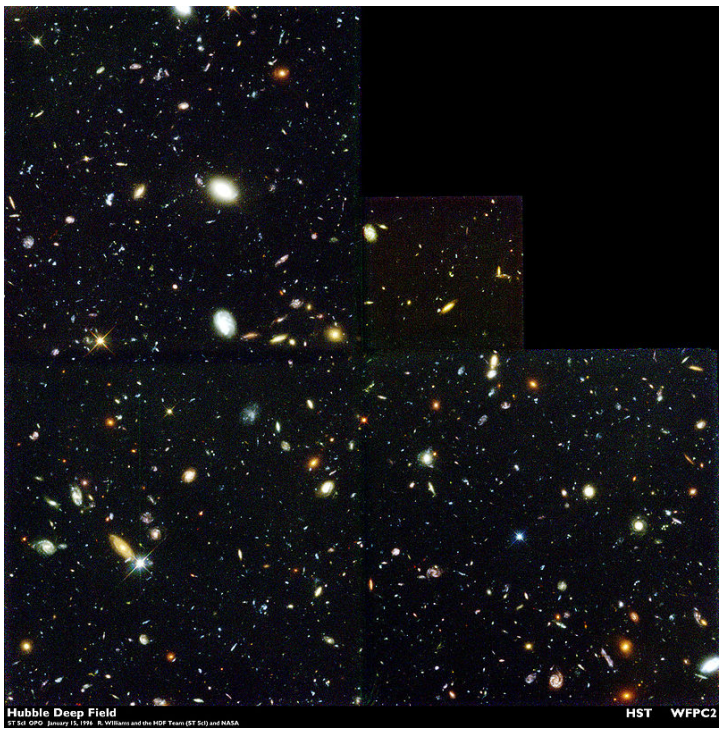
Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från tyskspråkiga Wikipedia [2]

Referenser

[1] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Helium_flash&oldid=398854950
[2] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Helium-Blitz&oldid=83974159

Hubble Deep Field

Hubble Deep Field (**HDF**) är en bild av en liten region i stjärnbilden Stora Björnen, baserade på resultaten av en serie observationer gjorda av Rymdteleskopet Hubble. Den täcker ett område på 144 bågsekunder, samma storlek som en tennisboll sedd på 100 meters avstånd. Bilden byggdes fram av totalt 342 separata exponeringar med teleskopets Wide Field and Planetary Camera 2 på tio varandra följande dagar mellan den 18 december och 28 december, 1995.



Hubble Deep Field

Tre år efter att bilden togs, tog man på liknande vis bild på en region av jordens södra hemisfär. Man fick då fram en bild som sedan kallades för Hubble Deep Field South. Likheterna mellan de två regionerna stärkte tron på att universum är enhetlig över stora skalor och att jorden befinner sig i en ganska vanlig region i universum.

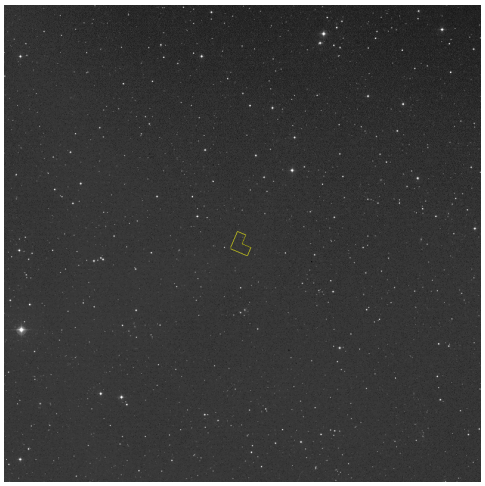
Under år 2004 tog man ännu en bild, denna gången ännu djupare. Denna bild är känd som Ultra Deep Field och bilden skapades efter en 11 dagars lång observation av himlen. Hubbles Ultra Deep Field astronomiska bild är den bästa bild man har av universum, tagen i synliga våglängder.

Hubbleteleskopets huvudsyfte

En av de viktigaste målen för astronomer som designade rymdteleskopet Hubble var att använda Hubbles höga optiska upplösning för att studera avlägsna galaxer till en detaljnivå som inte var möjligt från marken. Eftersom att Hubbleteleskopet befinner sig ovanför atmosfären, undviker den störningar från jordens atmosfär. Detta gör det möjligt att ta ännu bättre bilder i synligt ljus men även ultraviolett ljus. Hubbleteleskopet kan då se mer än markbaserade teleskop. Teleskopet hade dock lite problem med sfärisk aberration då den skjöts upp år 1990. Endå lyckades det ta bra bilder.Detta problem korrigerades sedan av STS-61 teamet år 1993.

Val av område

Innan man fotade himlen så behövdes ett antal kriterier uppfyllas. Området var tvungen att befinna sig över en hög galaktisk altitud eftersom att bland annat damm som är i samma plan som Vintergatans skiva förhindrar observationer av avlägsna galaxer på låga galaktiska breddgrader. Observationsområdet skulle vara fritt från störande ljus, från till exempel stjärnor, men även IR-, ultraviolett- och röntgenstrålning. Detta på grund av att underlätta senare studier vid olika våglängder i det valda området.



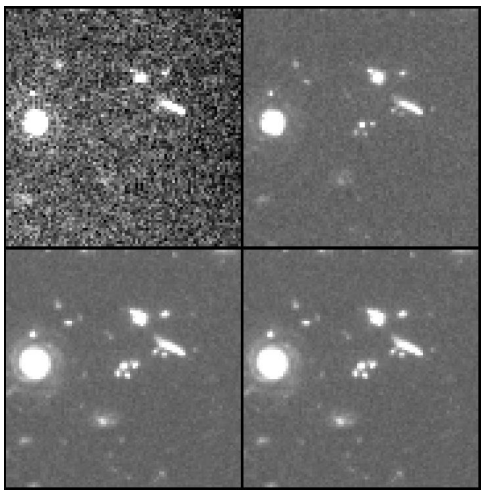
Hubbleteleskopet observerade det markerade området och fick fram HDF

Observationer

När ett område hade valts dök nästa punk upp, man behövde någon form av stratgedi för att detta skulle genomföras. Forskarna behövde bland annat veta vilket filter som skulle användas till fotot. Hubbles Wide-Field Planetary Camera 2 skulle ta fotot med sina filter. Denna kamera har fyrtioåtta filter, inklusive ett flertal smalbands filter som har förmågan att isolera särskilda spektrallinjer av astrofysikaliska intresse. Kameran har även filter som är användbart när en stjärnas eller galax färger behöver observeras. I slutändan valdes fyra bredbans filter som kunde ta emot ljus i våglängderna 300 nm (nära-ultraviolett), 450 nm (blått ljus), 606 nm (rött ljus) och 814 nm (nära infraröd). Olika våglängder ger olika information om himlakroppen som studeras. Mellan 18 och 28 december år 1995, under vilken tid Hubble kretsade runt jorden omkring 150 gånger, togs 342 bilder av området som hade blivit vald. Den totala exponeringen vid varje våglängd var 42,7 timmar (300 nm), 33,5 timmar (450 nm), 30,3 timmar (606 nm) och 34,3 timmar (814 nm). Tiderna var fördelade på 342 enskilda exponeringar. Detta gjorde man för att förhindra störningar av kosmiska strålar på varje enskild bild. Kosmisk strålning orsakade bland annat att ljusa ränder syndes när de slog CCD-detektorerna.

Bearbetning av data

Framställningen av ett slutligt kombinerad bild av varje våglängd var en komplicerad process. Ljusa pixlar som orsakas av kosmisk påverkan under exponeringarna togs bort genom att jämföra exponeringarna av samma längd som vidtagits efter varandra, och identifiera pixlar som drabbades av kosmisk strålning i en av exponeringarna men inte det andra. Man kunde även se spår av satelliter och rymdskrot på bilderna. Dessa redigerades sedan bort. Utspritt ljus från jorden var också tydligt i ungefär en fjärdedel av alla bilder. Ljuset skapade ett synligt "X" på varje bild. Detta togs bort genom att ta en bild som hade ett "x", rikta in den mot en opåverkad bild. Dessa subtraherades sedan med varandra och gav en godkänd bild. Denna procedur tog bort nästal all utspritt ljus som kundes ses på de "skadade" bilderna. Man var tvungen att korrigera hela 342 bilder för att sedan ta nästa steg inom denna process. Databehandlingen gav fyra svartvita bilder (vid 300 nm, 450 nm, 606 nm och 814 nm), en på varje våglängd. En bild utsågs till rött (814 nm), det andra som grönt (606 nm)



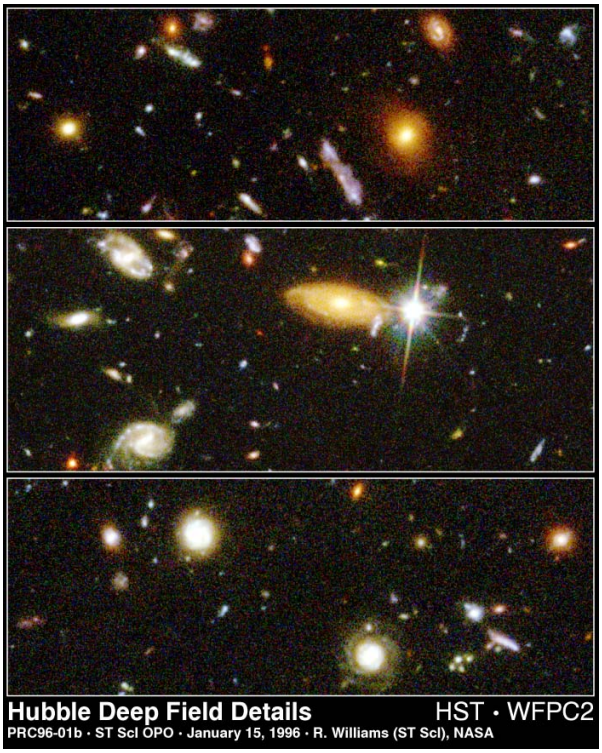
Bilder tagna i olika våglängder.

och den tredje som blått (450 nm). Dee tre bilderna kombinerades sedan för att ge en färgbild. Eftersom våglängder där bilderna togs inte motsvarar de riktiga våglängdera av rött, grönt och blått ljus, var färgerna i den slutliga bilden bara ungefärliga. Galaxernas riktiga bilder ser annorlunda ut i verkligheten. Men eftersom att Hubbleteleskopet används i vetenskapligt syfte spelade inte detta lilla "fel" någon stor roll.

Det HDF bilden visade

Den slutliga bilden släpptes vid ett möte i American Astronomical Societyi januari 1996. Det bilden visade var en en mängd avlägsna och ljussvaga galaxer som aldrig tidigare hade skådats. Ca 3.000 olika galaxer kunde identifieras i bilderna. Dessa galaxer var både oregelbundna-och spiralgalaxer. Dessa syndes tydligt, även om vissa galaxer i området bara är några pixlar stora. Det finns omkring femtio blå punk-lika objekt på HDP. Många verkar vara förknippade med närliggande galaxer vilka tillsammans bildar kedjor och bågar; dessa kan sannolikt vara regioner av stjärnbildning. Andra kan vara avlägsnakvasarer. Vissa astronomer trodde även att dessa blåa punkter kunde vara vita dvärgar, eftersom att vita dvärgar blir blåaktiga i färgen ju äldre de blir. Efter senare observationer kom man fram till att punkterna på bilden faktiskt var vita dvärgar (se vit dvärg.

Vetenskaplig resultat



Variationen av galaxer i universum.

Data från HDF gav mycket material som forskare kunde använda och i slutet av 2008 hade ca 800 citeringar gjorts om bilden. En av de mest grundläggande resultaten var upptäckten av hög rödförskjutning hos ett stort antal galaxer. Eftersom att universum expanderar, avlägsnar sig fler objekt från jorden. Detta sker i en sbabb takt och kallas Hubble-flöde. Ljuset från mycket avlägsna galaxer påverkas märkbart av den kosmologiska rödförskjutningen. Kvasarer med stor rödförskjutning var tidigt kända, var däremot bara en galax med rödförskjutning känd innan HDF. HDF innehöll sex galaxer med rödförskjutning. Dessa ligger på en avstånd som är ca 12 miljarder ljusår. HDF innehöll en betydlig större andel oregelbundna galaxer än den "lokala universum" ; kollisioner mellan galaxer och fusioner var vanligare då universum var ung. Den stora varationen av unga och gamla galaxer lät även astronomer att uppskatta hur snabbt olika stjärnor har utvecklats under universums tid. Man kom fram till att stjärnor bildades som mest då universum var 8-10 miljarder år gammal.

Ett annat viktigt resultat från HDF var det lilla antalet stjärnor som ligger i förgrunden som vara synliga. Astronomer har i flera år varit förbryllad över mörk materia. Detta materia går inte att detektera, men man har genom observationer kommit fram till att 90 % universums massa är av mörk materia.

Senare HST observationer

En HDF motsvarighet i södra himmelska halvklotet skapades 1998 vilket kallades för "the HDF-South". Man använde samma metoder som användes då HDF bilden togs. HDF-S var väldigt lik HDF, och detta gav stöd för att universum i största skala är homogent. När man fotade HDF-s använde man Hubbles Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS) och the Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer (NICMOS). Dessa instrument installerades på Hubble år 1997. Hubble Deep Field har sedan åter observerats flera gånger med WFPC2, liksom av NICMOS och STIS instrumenten. Man upptäckte då nya supernovor genom att jämföra de nytagna bilderna med den gamla HDF-N. Man har även observerat universum igen, och fått fram en ny bild som heter the Hubble ultra deep field. Denna är den mest känsliga optiska deep field bilden hittills.

Referenser (externa länkar)

- Information om Hubble deep field [1]
- Hubble deep field på engelska [2]
- Topography of Enceladus [2]

bilder

- Hubble deep field på engelska [2]

Referenser

[1] http://www.stsci.edu/ftp/science/hdf/hdf.html
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Deep_Field

Hubble Ultra Deep Field

Hubble Ultra Deep Field (**HUDF**) är ett projekt där man med hjälp av långa exponeringstider och rymdteleskopet Hubble lyckats ta bilder på galaxer från den så kallade mörka tidsåldern (cirka 13 miljarder år sedan), en kort tid efter "Big Bang". Det är den djupaste bilden av universum som någonsin tagits av människan i synbart ljus. Bilden togs i en del av himlen där det inte är tätt med stjärnor. Detta gjorde man på grund av att se dem mest avlägsna och ljussvagaste stjärnorna. Exponeringstiderna var miljoner sekunder långa och avslöjade detaljer som kan ge insikt i vilka typer av objekt som var de första att lysa upp det tidiga universum. Bilden innehåller nära 10 000 galaxer. Denna gång fotades området kring stjärnbilden Ugnen. Fältet är 200 bågsekunder till en sida med en total yta på 11 bågminuter^2.

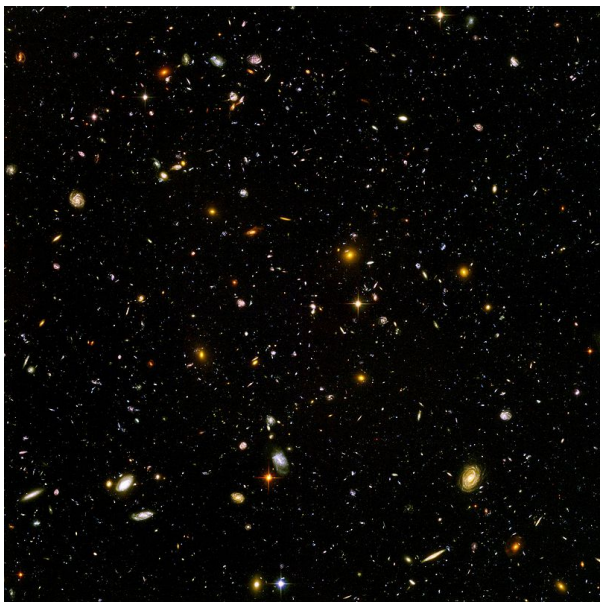


Foto av avlägsna galaxer från Hubble Ultra Deep Field-kartläggningen. De minsta, mest röda galaxerna, omkring 100 stycken, är några av de mest avlägsna galaxerna som hittills fotograferats av människan med ett optiskt teleskop. De existerade kort efter Big Bang.

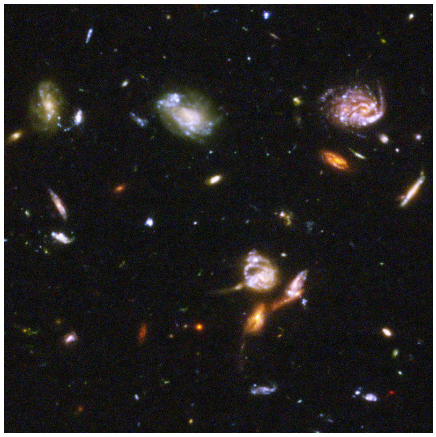
I augusti och september 2009 såg Hubbles Deep Field ännu mer med hjälp av den nyinstallerade Wide Field Camera 3 (WFC3). Med hjälp av kamerans infraröda

sensor, i kombination med befintliga HUDF data, kunde astronomer identifiera ännu fler avlägsna galaxer. Det område som bilder täcker är ungefär lika med en tretton-miljondel av den totala arean av himlen. Bilden är orienterad så att det övre vänstra hörnet pekar mot norr (-46,4 °) på himlen.

Denna bild är egentligen två separata bilder tagna av Hubbles Advanced Camera for Surveys (ACS) och Near Infrared Camera och Multi-objekt Spectrometer (NICMOS). Båda bilderna visas galaxer som är för svaga för att ses av markbaserade teleskop. Hubbleteleskopet Advanced Camera for Surveys' wide-field kamera knäppte ca 800 exponeringar, vilket motsvarar två exponeringar per varv kring jorden. Exponeringarna togs över fyra månader, från 24 September 2003 till 16 januari 2004.

En observation som denna kan jämföras med att observera hela himlen oavbrutet i nästan 1 miljon år.

Observationer



En del av Hubble Ultra Deep Field

Fyra filter användes på ACS. Dessa filter var centrerade på 435, 606, 775 och 850 nm, med exponeringstider som gav lika stor känslighet i alla filter. Dessa våglängdsområden matchar de som används av The Great Observatories Origins Deep Survey(GOODS). Detta möjliggör direkt jämförelse mellan observationerna av både ACS och GOODS. För att få bästa möjliga upplösning riktades Hubbleteleskopet åt olika håll vid varje exponering; detta är en process som har testas då Hubble Deep Field bilderna togs. Iakttagelserna gjordes i två tidsintervall, mellan September 23 och 28 oktober 2003, och December 4, 2003, till 15 Jan 2004. Den totala exponeringstiden är nästan 1 miljon sekunder, från 400 banor, med en exponeringstid på 1200 sekunder. Totalt togs 800 ACS exponeringar över loppet på 11,3 dagar, 2 efter varje omloppsbana och NICMOS observerade under 4,5 dagar. För att observera hela himlen för att sedan få samma känslighet skulle HST behöva iaktta samma område, kontinuerligt, under en miljon år.

Observationer av HUDF med hjälp av ACS.

Kamera	Filter	Våglängd	Totala exponeringstiden	Exponering
ACS	F435W	435 nm	134,900 s (56 banor)	~116
ACS	F606W	606 nm	135,300 s (56 banor)	~116
ACS	F775W	775 nm	347,100 s (144 banor)	~288
ACS	F850LP	850 nm	346,600 s (144 banor)	~288

Efter installationen av Wide Field Camera 3 på Hubble år 2009 kunde man få bättre resultat. Den nyinstallerade kameran hade tillgång till olika filter vid namn: F105W, F125W och F160W infra-röd filter.

Observations gjorda av HUDF med ACS.

Kamera	Filter	Våglängd	Total exponeringstid	Exponering
ACS	F435W	435 nm	134,900 s (56 banor)	~116
ACS	F606W	606 nm	135,300 s (56 banor)	~116
ACS	F775W	775 nm	347,100 s (144 banor)	~288
ACS	F850LP	850 nm	346,600 s (144 banor)	~288

Det HUDF visar

På HUDF kan man se fler galaxer som befinner sig ännu längre bort än dem som kunde ses på HDF. Denna bild kommer att vara till bra användsning när sökandet efter galaxer som bildades ungefär 400 and 800 miljoner efter Big Bang. Det med avlägsna objektet funnen är UDFj-39546284 som hittades år 2009 och denna skapades ungefär 600 miljoner efter Big bang.

Referenser (externa länkar)

- En av de första bilderna som publicerades [1]
- Hubble deep field på engelska [2]

bilder

- Hubble deep field [3]
- Hubble deep field (galaxer) [4]

Referenser

[1] http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2004/07/text/
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Ultra_Deep_Field
[3] http://brian.hoover.net.au/blog/wp-content/uploads/2010/08/Hubble_Ultra_Deep_Field.jpg
[4] http://images-mediawiki-sites.thefullwiki.org/05/2/2/9/50562011674021247.jpg

Carolyn Porco

Carolyn C. Porco	
Carolyn Porco	
Född	6 mars 1953 New York City, New York
Forskningsområde	Planetvetenskap
Institutioner	University of Colorado i Boulder
Alma mater	California Institute of Technology
Känd för	Ledare för Cassini Imaging Team Medlem i Voyager Imaging Team Upptäckter om Saturnus
Nämnvärda priser	Asteroiden Porco Isaac Asimov Science Award (2008) Lennart Nilsson-priset (2009) Huntington Science Writing Fellowship (2010) AAS Carl Sagan Medal (2010)

Carolyn C. Porco föddes den 6 mars 1953 och är en amerikansk planetforskare, känd för sitt arbete med att utforska vårt eget solsystem, främst med bilder. Hon började sitt bildarbete på 80-talet som medarbetare i gruppen som behandlade bilderna från Voyagerprogrammets färd till planeterna Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus. Hon är ledare för gruppen som behandlar bilderna från Cassini-Huygensuppdraget[1] [2] [3] till Saturnus. Hon arbetar även i gruppen som hanterar bilderna från New Horizonsuppdraget som började den 19 januari 2006 och dess färd till Pluto och kuiperbältet. Hon är expert på planetariska ringar och saturnusmånen Enceladus.

Hon är medförfattare till över 100 vetenskapliga uppsatser i ämnen såsom Uranus och Neptunus spektroskopi, Det Interstellära mediet, planetringars fotometri, växelverkan mellan ringar och satelliter, datorsimulationer av planetariska ringar, termisk balans hos polerna på månen Titan, värmeflöde i Jupiters inre, och en mängd information om Saturnus atmosfär, satelliter och ringar från Cassiniuppdragets bildexperiment.[4]

Porco tillkännagav existensen av Saturnus minsta måne, Aegaeon, då kallad S/2008 S 1.[5]

Det var Porco som föreslog att den avlidne planetära geologen Eugene Shoemakers kvarlevor skulle sändas till Månen ombord på Lunar Prospector 1998.[6] [7]

Porco gav öppningstalet[8] vid Pangea Day. Talet kunde höras globalt.

Utbildning

Porco föddes i New York City, New York. Hon tog 1970 examen från Cardinal Spellman High School i Bronx, New York City. Hon tog 1974 en högskoleingenjörsexamen från State University of New York i Stony Brook. Hon doktorerade 1983 vid California Institute of Technology där hon studerade vid the Division of Geological and Planetary Sciences. Under handledning av Peter Goldreich skrev hon sin doktorsavhandling om de upptäckter som under Voyageruppdraget gjorts om Saturnus ringar

Karriär

Voyager

Hösten 1983 anslöt sig då doktor Porco till fakulteten vid Department of Planetary Sciences vid University of Arizona. Samma år blev hon medlem i Voyager Imaging Team. I egenskap av det medlemskapet var hon mycket aktiv i Voyagers passage av Uranus 1986 och Neptunus 1989, där hon var ledare för gruppen som hade som uppgift att närmare studera Neptunus ringar.

Porco var den första att beskriva vad som närmast kan liknas vid ekerformade linjer i Saturnus ringar. Hon var även först med att beskriva Uranus yttre ringar och hur de två månarna Cordelia och Ophelia håller dem på plats. Porco förklarade även hur Neptunus måne Galatea ger upphov bågformade ringar. Hon var delaktig i förslaget att låta en av Voyagersonderna ta ett familjeporträtt av solsystemet. Denna ide verkställdes 1990 och gav upphov till bland annat den berömda bilden Pale Blue Dot[9]

Cassini-Huygens

I november 1990 valdes doktor Porco som ledare för den grupp som var ansvarig för bildbehandling för Cassini-Huygensuppdraget[1] [2] [3] . Hon är direktör för Cassini Imaging Central Laboratory for OPerationS (CICLOPS) vilket är där bilderna från Cassini behandlas innan de släpps till allmänheten.[10] CICLOPS är en del av Space Science Institute i Boulder, Colorado.

Under uppdragets gån upptäckte Porco och hennes grupp inte mindre än sju månar runt Saturnus: Methone och Pallene,[11] [12] Polydeuces,[13] [14] Daphnis, [15] Anthe,[16] Aegean,[17] och en minimåne i den yttre B-ringen.[18]

De fann även nya ringar, som till exempel de ringar som ligger i samma omloppsbana som månarna Atlas, Janus och Epimetheus och Pallene. En suddig ring mellan Atlas och F-ringen upptäcktes också, samt en mängd ringar i hålen mellan Saturnus ringar.[19]

Det var Porcos grupp som i juni 2005 först såg kolvätesjöar i den södra polarregionen på Titan.[20] . En grupp liknande sjöar upptäcktes i februari 2007 i den norra polarregionen[21] . Mer sentida rön har sedermera stärkt uppfattningen att dessa sjöar innehåller kolväten i vätskeform.[22]

Det var även Porcos grupp som först såg vad som liknade vulkanutbrott på Enceladus (se Enceladus topografi), Saturns sjätte största måne. Gruppen föreslog, med detaljerade vetenskapliga argument, att dessa utbrott kunde vara gejsrar bestående av flytande vatten från reservoarer nära ytan vid månens sydpol.[23]

New Horizons

Porco är medlem i gruppen som kommer att vara ansvariga för bildbehandling när sonden passerar Pluto 2015 och den efterföljande resan genom Kuiperbältet.

Universitetsplatser

Porco arbetade inom fakulteten vid University of Arizona mellan 1983 och 2001, och fick även en professur där 1991. Hon utbildade både högskoleingenjörer och civilingenjörer och var en av fem finalister i en av University of Arizona Honors Center anordnat pris där studenter nominerar och väljer mottagare för utomordentligt lärarskap. Hon är även en Senior Research Scientist vid Space Science Institute i Boulder, Colorado, och är adjunkt vid University of Colorado i Boulder.

Rådgivare för Nasa

Porco har aktivt deltagit i det amerikanska planetutforskningsprogrammet genom medlemsskap i många rådgivande kommittéer, däribland Solar System Exploration Subcommittee, Mars Observer Recovery Study Team, samt Solar System Road Map Development Team. I mitten på 90-talet var hon ordförande i en mindre rådgivningsgrupp som hade som uppgift att studera och utveckla framtida uppdrag till det yttre solsystemet.

Offentlig talare

Porco talar ofta offentligt om Cassiniuppdraget och planetutforskning i allmänhet. Hon har talat på konferenser sådom Pop!Tech (2005, 2006)[24] och TED (2007, 2009).[25] [26] Hon var även talare vid Beyond Belief-symposiet i november 2006.[27] [28]

Porcos tal vid TED 2007, "The Human Journey", beskrev de två huvudområden inom vilka Cassini gjort viktiga upptäckter - de två saturnusmånarna Titan och Enceladus. I sin inledning sade Porco

> So the journey back to Saturn is really part of, and is also a metaphor for, a much larger human voyage.

I sin beskrivning av Titan och dess kväverika atmosfär, erbjöd hon publiken följande bild av månens yta

> Stop and think for a minute. Try to imagine what the surface of Titan might look like. It's dark: high noon on Titan is as dark as deep Earth twilight on the Earth. It's cold, it's eerie, it's misty, it might be raining, and you are standing on the shores of Lake Michigan brimming with paint thinner.
>
> That is the view that we had of the surface of Titan before we got there with Cassini. And I can tell you that what we have found on Titan, though not the same in detail, is every bit as fascinating as that story is, and for us, for Cassini people, it has been like a Jules Verne adventure come true.

Hon visade även det första fotografiet från Titans yta, taget av Huygenslandaren, och beskrev vattengejsrar på Enceladus:

> ...we have arrived at the conclusion that these jets may, they may, be erupting from pockets of liquid water near, under the surface of Enceladus. So we have, possibly, liquid water, organic materials and excess heat. In other words we have possibly stumbled upon the holy grail of modern-day planetary exploration, or in other words an environment that is potentially suitable for living organisms. And I don't think I need to tell you that the discovery of life elsewhere in our Solar system, whether it be on Enceladus or elsewhere, would have enormous cultural and scientific implications. Because if we could demonstrate that genesis had occurred — not once but twice, independently, in our Solar system — then that means by inference it has occurred a staggering number of times throughout our Universe in its 13.7 billion year history.

2009 återvände Porco till TED, då för att tala mer i detalj om Titan.[29]

Television och film

Porco är en återkommande gäst på CNN som astronomikonsult. Hon har gjort många framträdanden i radio och television där hon förklarat diverse vetenskapliga fenomen på lekmannanivå, bland annat på program som *Newshour*, CBS's *60 Minutes*, Peter Jenningss *The Century*. Hon har deltagit i en mängd dokumentärer om planetär utforskningand, som till exempel *The Planets* på Discovery Channel och BBC, *A Traveler's Guide to the Planets* på National Geographic Channel, *Horizon* på BBC, och en *Nova Cassini special* på PBS. Hon arbetade som rådgivare och regisserade animationer för kanalen A&E Networks special om Voyagerprogrammet, kallat *Cosmic Journey: The Voyager Interstellar Mission and Message*.

Porco var rådgivare för filmen Kontakt från 1997. Carl Sagan, som skrev boken efter vilken filmen gjorts, föreslog att skådespelerskan Jodie Foster, som spelar huvudrollen som Ellie Arroway, skulle använda Porco som förlaga.[30]

Hon var rådgivare för filmen Star Trek från 2009.[31] Hon föreslog scenen där skeppet *Enterprise* lämnar warpdrift i Titans atmosfär, och likt en ubåt kommer upp ur dimman, allt med Saturnus och dess ringar i bakgrunden.[32] [33]

Mot slutet av 2010 påbörjades en namninsamling för att förmå J. J. Abrams att ge Porco en cameo i nästa Star Trekfilm[34]

Intervjuer och artiklar

Porco har givit ett stort antal intervjuer i ämnen från planetär utforskning till konflikter mellan vetenskap och religion[35] [36] [37]).

Hon har ofta omskrivits, med början i Boston Globe, oktober 1989[38] New York Times augusti 1999 och september 2009[39] [40] i Tucson Citizen 2001[41] , i Newsday juni 2004, för Royal Astronomical Society of Canada 2006[42] , i Astronomy Now 2006[43] , i Discover Magazine 2007[44] och även på CNN.com 2005[45] och Edge.org[46] .

Innan Cassiniuppdraget började vurmade hon starkt för att använda radioaktiva material på Cassinisonden[47] . Hon stödjer även en omdirigering av Nasas bemannade rymdprogram mot månen och mars, och i en artikel i The New York Times[48] förespråkar hon fördelarna med att låta robotar utforska solsystemet.

Övrigt

1994 satt Porco i en kommitté, med Carl Sagan som ordförande, kallad *Public Communication of NASA's Science*. 1999 recenserade hon en biografi om Sagan för The Guardian.[49] . Hennes populära vetenskapliga artiklar har publicerats av The Sunday Times, Astronomy, Arizona Daily Star, Sky & Telescope, American Scientist och Scientific American. Hon är även som gruppledare av Cassini Imaging Team aktiv i arbetet med att sprida vetenskap till allmänheten genom webbplatsen där bilderna från Cassini publiceras.[10]

Hon är verkställande direktör för Diamond Sky Productions [50] som är ett litet företag med huvuduppgift att vetenskapligt och artistiskt framställa bilder och grafik för att sprida vetenskap till allmänheten.

Priser och utmärkelser

1999 valdes Porco av The Sunday Times som en av 18 vetenskapliga ledare i det tjugoförsta århundradet[51] och av Industrial Week som en av 50 "Stjärnor att hålla ögonen på"[52] .

Hennes bidrag till utforskningen av det yttre solsystemet erkändes genom att namnge en asteroid (7231) Porco - så "Namngiven för att hedra Carolyn C. Porco, en pionjär inom forskningen av planetära ringsystem, tillika en ledargestalt inom rymdsondsbaserad utforskning av det yttre solsystemet."[53]

2008 tilldelades Porco Isaac Asimov Science Award av American Humanist Association.[54]

I maj 2009 blev hon hedersdoktor vid State University of New York[55] där hon är en alumna.

Den 15 september 2009 tilldelades Porco Huntington Librarys Science Writer Fellowship för 2010.[56]

I oktober 2009 tilldelades både hon och Babak Amin Tafreshi Lennart Nilsson-priset för sitt fotografiska arbete. Juryns motivering för Porco var:

> Carolyn Porco combines the finest techniques of planetary exploration and scientific research with aesthetic finesse and educational talent. While her images, which depict the heavenly bodies of the Saturn system with unique precision, serve as tools for the world's leading experts, they also reveal the beauty of the universe in a manner that is an inspiration to one and all.[57]

Maj 2010 tillkännagavs att Porco vunnit 2010 års Carl Sagan Medal för sitt arbete med att sprida vetenskap till allmänheten.[58]

Musikintressen

Porco fascineras av 60-talet och The Beatles och har stundvis använt referenser till The Beatles och deras musik i sina presentationer, skrivelser och pressmeddelanden. Den första färgbild från Cassini som släpptes till allmänheten var en bild av Jupiter. Bilden släpptes den 9 oktober 2000 för att hedra John Lennons 60-årsdag.[59] 2006, när hon regisserade och producerade en kort åttaminutersvideo av Cassinis 64 mest spektakulära bilder[60] använde hon musik av The Beatles för att hedra Paul McCartneys 64-årsdag. 2007 gjorde hon en affisch, visande 64 bilder från Saturnus, och skickade den till McCartney.[61] [62]

Porco (längs till höger) återskapar här med de övriga medlemmarna i Cassini Imaging Team den berömda Beatles-bilden vid Abbey Road.

Referenser

Denna artikel är helt eller delvis baserad på material från engelskspråkiga Wikipedia, *Carolyn Porco* [63], 27 februari 2011.

[1] Cassini-Huygens: Mission to Saturn & Titan (http://saturn.jpl.nasa.gov)
[2] Cassini-Huygens: Close Encounter with Saturn (http://www.nasa.gov/cassini)
[3] Cassini-Huygens (http://saturn.esa.int)
[4] Vetenskapliga publikationer från Cassini Imaging Team (http://ciclops.org/sci/index.php)
[5] "S/2008 S 1" (http://ciclops.org/view/5518/S2008_S_1?js=1). Jet Propulsion Laboratory. .
[6] "Destination Moon" (http://www.astronomy.com/asy/default.aspx?c=a&id=4119), *Astronomy*, February 2000.
[7] Eugene M. Shoemaker: A Tribute (http://ciclops.org/public/tribute.html)
[8] Introduktion till Pangea Day (http://www.youtube.com/watch?v=suQrWrr5T1M&feature=PlayList&p=513710693537BF21&index=1)
[9] Sagan, Carl. *Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space* (http://www.amazon.com/dp/0345376595), New York: Ballantine Books, 1997.
[10] CICLOPS (http://ciclops.org)
[11] Porco, C. C.; et al. IAUC 8389 - upptäckt av S/2004 S 1 (Methone) och S/2004 S 2 (Pallene) (http://cfa-www.harvard.edu/iauc/08300/08389.html#Item1)
[12] IAUC 8471 - namngivning av Methone and Pallene (http://cfa-www.harvard.edu/iauc/08400/08471.html), 21 januari 2005.
[13] Porco, C. C.; et al. IAUC 8432 - upptäckt av S/2004 S 5 (Polydeuces) (http://cfa-www.harvard.edu/iauc/08400/08432.html), 8 november 2004.
[14] IAUC 8471 - namngivning av Polydeuces (http://cfa-www.harvard.edu/iauc/08400/08471.html), 21 januari 2005.
[15] Porco, C. C.; et al. IAUC 8524 - upptäckt av S/2005 S 1 (Daphnis) (http://cfa-www.harvard.edu/iauc/08500/08524.html)
[16] Porco, C. C.; et al. IAUC 8857 - upptäckt av S/2007 S 4 (http://www.cfa.harvard.edu/iauc/08800/08857.html)

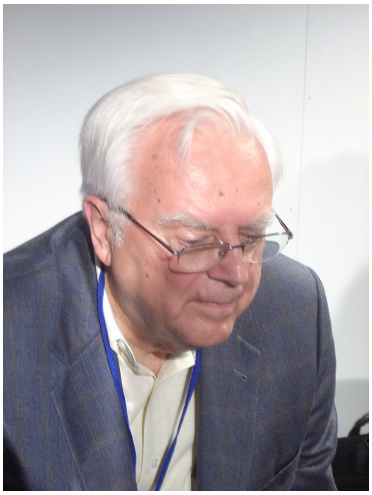
[17] Porco, C. C.; et al. IAUC 9023 - upptäckt av of S/2008 S 1 (Aegean) (http://adsabs.harvard.edu/abs/2009IAUC.9023....1P), International Astronomical Union.
[18] Porco, C. C.; et al. IAUC 9091 - upptäckt av S/2009 S 1 (http://ciclops.org//view_popup.php?id=5926)
[19] Porco, C. C.; et al. "Cassini Imaging Science: Initial Results on Saturn's Rings and Small Satellites" (http://ciclops.org/sci/reports.php). *Science*, vol. 307, no. 5713, pp. 1226-1236.
[20] Land of Lakes? (http://ciclops.org/view.php?id=1161)
[21] Exploring the Wetlands of Titan (http://ciclops.org/view.php?id=2631)
[22] Meet Carolyn Porco, the Scientist Who Made Saturn a Rock Star (http://www.wired.com/science/space/news/2007/03/nasa_qa), *Wired*, March 2007.
[23] Porco, C. C.; et al. "Cassini Observes the Active South Pole of Enceladus" (http://ciclops.org/sci/reports.php), *Science*, vol. 311, no. 5766, 2006, pp. 1393-1401.
[24] Pop!Tech Pop!Casts archive (http://www.poptech.org/popcasts/popcasts.aspx?lang=&viewcastid=2)
[25] Carolyn Porco tar oss till Saturnus (http://www.ted.com/index.php/talks/carolyn_porco_flies_us_to_saturn.html)
[26] Could a Saturn moon harbor life? (http://www.ted.com/talks/carolyn_porco_could_a_saturn_moon_harbor_life.html)
[27] Beyond Belief 2006: Science, Religion, Reason and Survival (http://thesciencenetwork.org/search?speakers=Carolyn+Porco)
[28] A Free-for-All on Science and Religion (http://www.nytimes.com/2006/11/21/science/21belief.html), *The New York Times*, 21 november 2006.
[29] "Could a Saturn moon harbor life?" (http://www.ted.com/talks/carolyn_porco_could_a_saturn_moon_harbor_life.html), TED, 2009.
[30] ”An Odyssey From the Bronx to Saturn’s Rings” (http://www.nytimes.com/2009/09/22/science/space/22prof.html). 22 september 2009. .
[31] Lead Planetary Scientist to Advise on New Star Trek Movie (http://diamondskyproductions.com/news/2-11-2008.php)
[32] ”Interview with Star Trek's new science advisor” (http://trekmovie.com/2008/02/11/interview-with-star-treks-new-science-advisor/). .
[33] Kevin Grazier (2008-04-27). ”Cinema Boffin Interview: Carolyn Porco Talks 'Star Trek XI'” (http://www.cinemaspy.ca/article.php?id=857). Cinema Boffin. .
[34] Doktor Porco i en cameoroll i nästa Star Trekfilm? (http://news.discovery.com/space/star-trek-starring-carolyn-porco.html)
[35] Losing Our Religion (http://www.msnbc.msn.com/id/15653706/site/newsweek), *Newsweek*.
[36] The New Naysayers (http://www.msnbc.msn.com/id/14638243/site/newsweek), *Newsweek*.
[37] ”Science and Spirituality: An Interview With Carolyn Porco”. **68**. The Humanist. januari/februari 2008.
[38] Seeking The Truth Amid The Rings: Planets' Disks Fascinate Carolyn Porco (http://nl.newsbank.com/cgi-bin/ngate/BG?ext_docid=0EADEF0E0C3DA607&ext_hed=SEEKING THE TRUTH AMID THE RINGS PLANETS' DISKS FASCINATE CAROLYN PORCO&ext_theme=bg&pubcode=BG)
[39] Carolyn Porco: Cassini Scientist Yielded to the Seduction of Space (http://www.nytimes.com/library/national/science/081799sci-nasa-cassini-2.html)
[40] An Odyssey From the Bronx to Saturn’s Rings (http://www.nytimes.com/2009/09/22/science/space/22prof.html)
[41] Carolyn Porco profile in the Tucson Citizen (http://www.tucsoncitizen.com/projects/who_runs_tucson/stars_porco.html)
[42] Dr. Carolyn Porco: The Biggest, Baddest Team Leader
[43] Carolyn Porco: the biggest, baddest team leader of them all
[44] ”Planetary Paparazzo: Carolyn Porco”. Discover Magazine's Unseen Universe. Winter, 2007.
[45] Astronomer's 'cosmic connection' to Saturn (http://www.cnn.com/2005/TECH/space/02/15/saturn.astronomer/index.html)
[46] Carolyn Porco profile on the Edge.org website (http://www.edge.org/3rd_culture/bios/porco.html)
[47] Carolyn Porco: Cassini Scientist Yielded to the Seduction of Space (http://partners.nytimes.com/library/national/science/081799sci-nasa-cassini-2.html)
[48] NASA Goes Deep (http://www.nytimes.com/2007/02/20/opinion/20porco.html)
[49] Book Review: Carl Sagan: A Life (http://books.guardian.co.uk/reviews/biography/0,6121,105529,00.html), The Guardian
[50] http://diamondskyproductions.com
[51] ”The brains behind the 21st century”. 10 januari 1999.
[52] *Industrial Week*, 1999 "50 R&D Stars To Watch" (http://www.industryweek.com/CurrentArticles/asp/articles.asp?ArticleId=691)
[53] JPL Small-Body Database Browser (http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=7231;orb=1)
[54] Humanists to Honor Lead Imaging Scientist on the Cassini Saturn Project (http://www.americanhumanist.org/press/CarolynPorco.php)
[55] ”Cassini Imaging Leader Awarded Honorary Degree from Stony Brook University” (http://diamondskyproductions.com/news/5-21-2009.php). Cassini Imaging Central Laboratory for Operations (CICLOPS) (http://ciclops.org/). 2009-05-21. .
[56] Carolyn Porco Awarded Huntington Science Writer Fellowship (http://diamondskyproductions.com/news/9-15-2009.php)
[57] Lennart Nilsson Award (http://www.lennartnilssonaward.se/winner.php?id=47,48)
[58] ”Cassini Imaging Leader Honored With American Astronomical Society Carl Sagan Award” (http://www.ciclops.org/news/special_news_052810_1.php?js=1). .
[59] Jupiter & Europa in True Color (http://ciclops.org/view.php?id=110)
[60] Sixty-Four Scenes from Saturn ... The Movie (http://ciclops.org/view.php?id=24)
[61] Sixty-Four Scenes from Saturn ... The Poster (http://ciclops.org/view.php?id=2879)
[62] Sixty-Four Scenes from Saturn ... The Images (http://ciclops.org/view.php?id=2914)

[63] http://en.wikipedia.org/wiki/En%3Acarolyn_porco

Externa länkar

- Wikimedia Commons har media som rör Commons:
- Invigningstal för Pangea Day av Carolyn Porco (http://www.pangeaday.org/filmDetail.php?id=24)
- Carolyn Porco taral 2007 på TED om "The Human Journey" (http://www.ted.com/talks/view/id/178)
- Carolyn Porco talar 2009 på TED om "Could a Saturn moon harbor life?" (http://www.ted.com/talks/carolyn_porco_could_a_saturn_moon_harbor_life.html)
- Podcast om Cassiniupdraget (http://www.itconversations.com/shows/detail767.html)
- Carolyn Porcos favoritfoton från Cassini (http://www.youtube.com/watch?v=HNOAgdvnSRY) (youtube.com)
- Carolyn Porco på Twitter (http://twitter.com/carolynporco)
- Carolyn Porcos fansida på Facebook (http://www.facebook.com/pages/Carolyn-Porco/116163229386)

Frank Drake

Frank Drake	
 Frank Drake, 2008	
Född	28 maj 1930 Chicago, Illinois
Nationalitet	USA
Forskningsområde	Astronomi
Känd för	Drakes ekvation, SETI, Arecibomeddelandet
[1]	

Frank Donald Drake, född 28 maj, 1930 i Chicago är en amerikansk astronom. Han är mest känd för skapandet av Drakes ekvation, Arecibomeddelandet och SETI.

Biografi

Redan som ung var Frank Drake intresserad av kemi och elektronik. Som åttaåring funderade han på möjligheten att det finns liv på andra planeter. Han vågade dock inte diskutera detta då hans föräldrar och lärare var djupt religiösa.

Han tog examen vid Harvard i radioastronomi. Med hjälp av Carl Sagan konstruerade han Pioneerplattan som följde med Pioneer 10 och 11. Plattan innehöll ett enkelt budskap från mänskligheten ifall några främmande livsformer skulle hitta den. Senare övervakade han även skapandet av Voyager Golden Record som sattes på Voyager 1.

1974 skrev han Arecibomeddelandet tillsammans med Carl Sagan. Drake är medlem i National Academy of Sciences, där han var ordförande i styrelsen för fysik och astronomi (1989-92). Han tjänstgjorde även som ordförande för Astronomiska Sällskapet i Stilla havet. Han var professor i astronomi vid Cornell University (1964-1984). Han är för närvarande involverad i "The Carl Sagan Center for the Study of life in the universe".

SETI

SETI (Search for extraterrestrial intelligence), är ett vetenskapligt sökande efter utomjordisk intelligent liv. Det finns flera pågående projekt, bland annat Project Phoenix och SETI@home som privatpersoner kan hjälpa till med genom att använda deras skärmsläckare som analyserar data från radioteleskopet Arecibo. SETI grundades 1980 av bland annat Frank Drake och Bruce Murray

Drakes Ekvation

Drakes ekvation är en hypotetisk ekvation som skapades av Frank Drake på 1960-talet.

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot \ L$$

- R^* = hur många nya stjärnor som årligen föds i Vintergatan
- f_p = hur stor andel av dem som har planetsystem
- n_e = hur många planeter av samma typ som jorden det finns i genomsnitt i ett planetsystem
- f_l = den andel planeter av samma typ som jorden där det föds liv
- f_i = den andel planeter där livet utvecklar sig och blir intelligent
- f_c = den andel planeter där det intelligenta livet uppnår en hög teknologisk nivå
- L = den teknologiska civilisationens genomsnittliga livslängd i år
- N = antalet utvecklade civilisationer i Vintergatan i varje ögonblick

Arecibomeddelandet

Arecibomeddelandet var ett meddelande som sändes ut i rymden via frekvensmodulerade radiovågor vid en ceremoni för att fira ombyggnaden av Arecibo-teleskopet den 16 november 1974.Målet var den klotformiga stjärnhopen M13 som ligger unjefär 25.000 ljusår bort.Budskapet bestod av 1679 binära siffror, unjefär 210 bytes som överförs med en frekvens på 2380 MHz och moduleras av skiftande frekvensen 10 Hz, med en effekt på 1000 kW. Den totala sändningen varade mindre än tre minuter

Källor

- Esko Valtaoja, Åbo universitet, webb. Publicerad i F&F 4/02 sid 31.
- http://www.news.cornell.edu/releases/Nov99/Arecibo.message.ws.html

Referenser

[1] http://www.activemind.com/Mysterious/Topics/SETI/biography_drake.html

Artikelkällor och författare

Lyman alfa-skogen *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13639991 *Bidragsgivare*: Inteloutside2, Josve05a, Skizzik

Zhang Heng *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13259729 *Bidragsgivare*: Basil, Calandrella, Elinnea, Frisko, Jopparn, Josve05a, NERIUM, Yger, Yvwv

Orionnebulosan *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13646052 *Bidragsgivare*: Basil, Bongoman, BraheKepler, CommonsDelinker, Fredde 99, Josve05a, Kraxut, LittleGun, Markus Bergelin, NERIUM, Nescionomen, Radelid, Sannab, Svenji, TJ, Zman, 3 anonyma redigeringar

Häxhuvudnebulosan *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13452625 *Bidragsgivare*: Astromei, Christian47, GameOn, Josve05a, Jssfrk, Nescionomen

Asteroidmåne *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13184512 *Bidragsgivare*: Basil, Brallan, Frisko, Höjer41, Lavallen, Njaelkies Lea, Zaijaj

IK Pegasi *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661407 *Bidragsgivare*: Calandrella, Nordelch, Pausch, Tanzania

Knut Lundmark *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13651327 *Bidragsgivare*: Basil, ChrisPsi, Epsilon, Evalowyn, Fabben, Folken, FredrikT, Hedning, Herr X, Janee, Jopparn, Jssfrk, Julle, Kurtan, LittleGun, Nescionomen, Obelix, Popiloll, Salcional, Tanzania, Timaoes, Tournesol, Vogler, 24 anonyma redigeringar

Uranus ringar *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13662434 *Bidragsgivare*: Basil, CommonsDelinker, Elinnea, Inteloutside2, Jopparn, LittleGun, NERIUM, Nicke L, Nordelch, Svarte Riddaren, Tanzania, 2 anonyma redigeringar

Giovanni Antonio Magini *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13513667 *Bidragsgivare*: Frisko, IlTecnologo, LittleGun, Nescionomen, Tanzania

Transitmetoden *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13662475 *Bidragsgivare*: Arvelius, Frisko, Mattias.Strid, Rymdgymnasiet, 4 anonyma redigeringar

Celest mekanik *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13654924 *Bidragsgivare*: Andejons, Annika64, Basil, Essin, LittleGun, Lsj, Nescionomen, Pausch, Tanzania, Yvwv, 12 anonyma redigeringar

Galileo (rymdsond) *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661451 *Bidragsgivare*: Andejons, Basil, Birdie Nam Nam, Brallan, CommonsDelinker, Dcastor, Groucho NL, Islander, JonasJH, Jopparn, Karaa2007, LA2, Maxjoh, Njaelkies Lea, Stigfinnare, Voyager, 20 anonyma redigeringar

Atmosfärisk refraktion *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13436108 *Bidragsgivare*: Andejons, Langstrump, Mattias.Strid, MoRsE, Nescionomen, Nordelch, Pieter Kuiper, Rymdgymnasiet, Yger, 2 anonyma redigeringar

Variabla stjärnor *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13645274 *Bidragsgivare*: E23, Erud, Fluff, Groucho NL, Gyrogearloose, Njaelkies Lea, Robin Hood, Rursus, ThomasK Vbg, Timaoes, Åsa L, 5 anonyma redigeringar

Metoder för att upptäcka extrasolära planeter *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661506 *Bidragsgivare*: Inteloutside2, Warrakkk

Einsteinring *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13650331 *Bidragsgivare*: Mattias.Strid, Nujna, Yger, 9 anonyma redigeringar

Gravitationslins *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13659813 *Bidragsgivare*: Cocu, Crise,nilsson, JonasJH, Langstrump, Mattias.Strid, Remere, Thoasp, Tketobbe, 2 anonyma redigeringar

Emissionsnebulosa *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661099 *Bidragsgivare*: Amonhoteph, Andreas Rejbrand, Dubbelosix, En rymdis, Inteloutside2, Laxskinn, Marcustisk, Mattias.Strid, Nescionomen, Pieter Kuiper, Sten010, Stigfinnare, 6 anonyma redigeringar

Planetologi *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13635692 *Bidragsgivare*: Fiction, Jopparn, LA2, Niklo, PepesBodega, Pieter Kuiper, Popperipopp, Rymdgymnasiet

Universums storskaliga struktur *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13662174 *Bidragsgivare*: Imperto, Knödd Neutron, Rymdgymnasiet, Stigfinnare, 4 anonyma redigeringar

Nebulosa *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13664400 *Bidragsgivare*: Amonhoteph, Andreas Rejbrand, Carstens, CommonsDelinker, E23, Fluff, GO, Grön, Höstblomma, Inteloutside2, JIGE, JonasJH, Kjell André, Kr-val, Kurtan, Lamaj, Lars Törnqvist, M.M.S., Markus Bergelin, Mattias.Strid, Mike, Nescionomen, Nicke L, Robin Hood, Rosp, Rymdgymnasiet, SakJur, Softssa, Stjärnglas, TJ, Torvindus, Tåggas, Vints, conversion script, 43 anonyma redigeringar

Guillaume Le Gentil *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13442369 *Bidragsgivare*: LittleGun

Keplerteleskopet *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13662375 *Bidragsgivare*: Agma, Annika64, Bonne1978, DG, Fugly, In10, LittleGun, Nicke L, Northgrove, Voyager, 4 anonyma redigeringar

Pulsarplanet *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13662329 *Bidragsgivare*: Fernbom2, J 1982, LittleGun, Mattias.Strid, Nobear, Rang.Roslund, Rymdgymnasiet, Warrakkk, Xen0n, 19 anonyma redigeringar

Klotformig stjärnhop *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13651297 *Bidragsgivare*: BjörnF, Brallan, CommonsDelinker, E23, Hashar, Jean-François Clet, Kaj@kth.se, Kjell André, Marsve, Mattias.Strid, Nescionomen, NiAnAd, Robin Hood, Rursus, ShineB, Tanzania, 9 anonyma redigeringar

Big Chil *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13638436 *Bidragsgivare*: Andejons, Ankara, Arvelius, Hangsna, J 1982, JORGUN, Jono, Lavallen, Mr. Snake, PJ, Pawpad, Sjunnesson, Skalman, Watersystems, 2 anonyma redigeringar

Horisontella jättegrenen *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661069 *Bidragsgivare*: Höstblomma, Lsj, Nescionomen, Sten010, Tanzania

Shapley-Curtisdebatten *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13586453 *Bidragsgivare*: LittleGun, Nescionomen, Timaoes, 1 anonyma redigeringar

Celesta mekanikens historia *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13654879 *Bidragsgivare*: LittleGun, Pausch, Timaoes, 7 anonyma redigeringar

Gasjätte *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13658910 *Bidragsgivare*: Arnef, B****n, Celsius, E23, Erud, Klemen Kocjancic, Knuckles, Moos, Mux, Robin Hood, Rudolf 1922, Sjunnesson, Yvwv, 9 anonyma redigeringar

Enceladus topografi *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13656551 *Bidragsgivare*: Civilspanaren, ESAssi, Höstblomma, Jopparn, 10 anonyma redigeringar

Kromosfär *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661723 *Bidragsgivare*: Andreas Rejbrand, BjörnF, Dubbelosix, LemiNW, Natox, Studrats, Svenboatbuilder, Warrakkk, 5 anonyma redigeringar

Heliumflash *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13650183 *Bidragsgivare*: Höstblomma, Nasko, Studrats

Hubble Deep Field *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13654878 *Bidragsgivare*: Brallan, ESAssi, LittleGun, Robin Hood, SingleStar, 4 anonyma redigeringar

Hubble Ultra Deep Field *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13654865 *Bidragsgivare*: Cheetah88, ESAssi, LittleGun, Riggwelter, Schweden, Sofokles, Torvindus, Voyager, 5 anonyma redigeringar

Carolyn Porco *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13660552 *Bidragsgivare*: Warrakkk

Frank Drake *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?oldid=13661316 *Bidragsgivare*: Ljuslykta, Tanzania

Bildkällor, -licenser och -bidragsgivare

File:Hubble 01.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_01.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Zhang Heng.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Zhang_Heng.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: State Post Bureau of the People's Republic of China

File:Orion Nebula - new image from Hubble & Spitzer (293693669).jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Orion_Nebula_-_new_image_from_Hubble_&_Spitzer_(293693669).jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA/JPL-Caltech/STScI

File:Orion Nebula with proplyd highlights (captured by the Hubble Space Telescope).jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Orion_Nebula_with_proplyd_highlights_(captured_by_the_Hubble_Space_Telescope).jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA), the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team and L. Ricci (ESO)

Image:Reflection.nebula.arp.750pix.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Reflection.nebula.arp.750pix.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Argo Navis, KGyST, Kauczuk, Ruslik0, Section103

Fil:Orion_constellation_map.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Orion_constellation_map.svg *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: User:Kxx

Image:243 ida.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:243_ida.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL

Bild:Location of IK Pegasi.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Location_of_IK_Pegasi.png *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: User:RJHall

Fil:Size IK Peg.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Size_IK_Peg.png *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: User:RJHall

Image:NGC7293 (2004).jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:NGC7293_(2004).jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: The HST data are from proposal 9700. Processed images may be obtained from the Helix MAST web site. The Hubble Helix Team includes M. Meixner, H.E. Bond, G. Chapman (STScI), Y.-H. Chu (U. Illinois, Urbana-Champaign), P. Cox (Institut d'Astrophysique Spatiale, France), W. Crothers, L.M. Frattare, R.Gilliland (STScI), M. Guerrero R. Gruendl (U. Illinois, Urbana-Champaign), F. Hamilton, (STScI), R.Hook (STScI/ESO), P. Huggins (New York Univ.), I. Jordan, C.D. Keyes, A. Koekemoer (STScI), K.Kwitter (Williams College), Z.G. Levay, P.R. McCullough, M. Mutchler, K. Noll (STScI), C.R. O'Dell (Vanderbilt University), N. Panagia, M. Reinhart, M. Robberto, K. Sahu, D. Soderblom, L. Stanghellini, C. Tyler, J. Valenti, A. Welty, R. Williams (STScI). The CTIO data were taken by C.R. O'Dell (Vanderbilt University) and L.M. Frattare (STScI). The science team includes C.R. O'Dell (Vanderbilt University), P.R. McCullough and M. Meixner (STScI). Credit: NASA, ESA, and C.R. O'Dell (Vanderbilt University) News Release Number: STScI-2004-32

File:ChandrasekharLimitGraph.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:ChandrasekharLimitGraph.svg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Chrkl, User:Spacepotato

Fil:Mira 1997 UV.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Mira_1997_UV.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Margarita Karovska (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and NASA

Fil:Portrait of swedish professor Knut Lundmark as student 1908.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Portrait_of_swedish_professor_Knut_Lundmark_as_student_1908.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Unknown photographer at H. Tegström & Co.

Fil:Lick Observatory.JPG *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Lick_Observatory.JPG *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: D. Appleton & Company

Fil:Lundsobserv.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Lundsobserv.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Popperipopp

Fil:M31bobo.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:M31bobo.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bidragsgivare*: Boris Štromar Vedran Vrhovac has asked me to share my photographs of Messier objects M8, M31, M46 and M47 for use on Wikipedia. I hereby state that these photos can freely be used for educational and commercial purposes on Wikipedia as long as I'm cited as the author of these photos. Vedran is allowed to modify this photos.

Fil:M33HunterWilson1.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:M33HunterWilson1.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:Hewholooks

Fil:Animation of Supernova Producing a Black Hole (SN 1979C).ogv *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Animation_of_Supernova_Producing_a_Black_Hole_(SN_1979C).ogv *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Credits: NASA/CXC/A.Hobart

Fil:Hubble sequence photo.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_sequence_photo.png *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: Harp, KGyST, Mdd, Wikiborg, 1 anonyma redigeringar

Fil:Gaia Performances.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Gaia_Performances.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: FredA, GDK, Uwe W., Väsk

Fil:Brahe.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Brahe.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: 555, Conscious, Peremen

Fil:M1 - The Crab Nebula.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:M1_-_The_Crab_Nebula.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: ESO

Fil:WLMgal1a.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:WLMgal1a.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bidragsgivare*: Palomar Sky Survey

Image:Uranian_rings_PIA01977_modest.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Uranian_rings_PIA01977_modest.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Epsilon ring of Uranus.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Epsilon_ring_of_Uranus.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL

Fil:Rings of Uranus.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Rings_of_Uranus.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Brallan, Ruslik0

Fil:Forward Back Uranus Rings.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Forward_Back_Uranus_Rings.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Ruslik0

Fil:FDS 26852.19 Rings of Uranus.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:FDS_26852.19_Rings_of_Uranus.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/Jet Propulsion Lab-Caltech/University of Arizona/Texas A&M University

Fil:Uranus' rings dim.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Uranus'_rings_dim.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Brallan, Ruslik0

Fil:Outer Uranian rings.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Outer_Uranian_rings.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Uranus rings.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Uranus_rings.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Giovanni-Antonio-Magini.JPG *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Giovanni-Antonio-Magini.JPG *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Gian-

File:Animation of the transiting exoplanet Corot-9b.ogv *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Animation_of_the_transiting_exoplanet_Corot-9b.ogv *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: ESO/L. Calçada

File:Venus Transit 2004.JPG *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Venus_Transit_2004.JPG *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: Original uploader was Mswggpai at en.wikipedia

File:Planetary transit-sv.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Planetary_transit-sv.svg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: User:Frisko, User:Nikola Smolenski

Fil:Hd28185b.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hd28185b.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: Damien Perrotin

File:Exoplanet Discovery Method Bar TR.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Exoplanet_Discovery_Method_Bar_TR.png *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: Aldaron, KGyST

Fil:Corot7b-art.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Corot7b-art.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: kheider (Kevin Heider)

Fil:Kepler 6b.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Kepler_6b.png *Licens*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bidragsgivare*: Поташев Роман Евгеньевич

Fil:Banelement.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Banelement.gif *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: Paul Schlyter

Fil:Lagrange points.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Lagrange_points.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Image:orbit5.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Orbit5.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Zhatt

Fil:Planet_reflex_200.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Planet_reflex_200.gif *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:Rnt20

Bild:Galileo_Preparations_-_GPN-2000-000672.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_Preparations_-_GPN-2000-000672.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Jupiter.moons2.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter.moons2.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Bricktop, ComputerHotline, Kheider, Smartech, Urhixidur

Fil:PIA01627 Ringe.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:PIA01627_Ringe.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL/Cornell University

Fil:Probe descent into Jupiter.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Probe_descent_into_Jupiter.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Sobi3ch, Wouterhagens, 1 anonyma redigeringar

Fil:Ida-approach.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Ida-approach.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL

Fil:Galileo during IUS burn.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_during_IUS_burn.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Uwe W.

Fil:Descent Module.jpeg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Descent_Module.jpeg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Uwe W.

Fil:Jupiter equatorial hot spot.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter_equatorial_hot_spot.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL-Caltech

Fil:Galileo Diagram.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_Diagram.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Bricktop, Mdd, Sobi3ch

Fil:Galileo Probe diagram.jpeg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_Probe_diagram.jpeg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Spiritia, Uwe W., 1 anonyma redigeringar

Fil:STS-34 Launch 2.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:STS-34_Launch_2.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/exploitcorporations

Fil:Galileo trajectory Ida.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_trajectory_Ida.svg *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: User:Wronkiew

Fil:Galileo atmospheric probe.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_atmospheric_probe.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Original uploader was Alessio Rolleri at it.wikipedia

Fil:Galileo arrival at Jupiter.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_arrival_at_Jupiter.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Sobi3ch

Fil:Jupiter Weaver02 NASA.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter_Weaver02_NASA.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: w:de:New Horizons#InstrumenteNew Horizons Long Range Reconnaissance Imager (LORRI), eine Sonde der w:de:National Aeronautics and Space AdministrationNational Aeronautics and Space Administration der Vereinigten Staaten

Fil:Jupiter.moons1.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter.moons1.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Bricktop, ComputerHotline, Edward, Hellisp, Jacklee, Urhixidur

Fil:Jupiter's moon Amalthea photographed by Galileo.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter's_moon_Amalthea_photographed_by_Galileo.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Original uploader was Curps at en.wikipedia

Bild:Celestia.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Celestia.png *Licens*: GNU General Public License *Bidragsgivare*: 555, Cody escadron delta, ComputerHotline, CyberSkull, Czeror, Gildemax, Go for it!, Rocket000, Rursus, Tony Wills

Bild:Refracción.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Refracción.png *Licens*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bidragsgivare*: EugeneZelenko, Sigmanexus6, W!B:

Fil:Full moon partially obscured by atmosphere.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Full_moon_partially_obscured_by_atmosphere.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Pencil in a bowl of water.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Pencil_in_a_bowl_of_water.png *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: Anton, Duesentrieb, Gerbrant, Gregors, Jean-Jacques MILAN, LX, 3 anonyma redigeringar

Fil:Refraction internal reflection diagram.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Refraction_internal_reflection_diagram.svg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:Lasse Havelund

Fil:HR-vartype.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:HR-vartype.svg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:Rursus

Fil:FU Orionis.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:FU_Orionis.jpg *Licens*: Attribution *Bidragsgivare*: European Southern Observatory via the Digitized Sky Survey

Fil:R CrB.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:R_CrB.png *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: Akinom, GDK, Kheider, Rursus

Fil:Rotating_spherical_harmonics.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Rotating_spherical_harmonics.gif *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: Cyp, Jengelh, Pieter Kuiper, 1 anonyma redigeringar

Fil:Delta_Cephei_lightcurve.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Delta_Cephei_lightcurve.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:ThomasK Vbg

Fil:A-Mira-Full down sampled and cropped.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:A-Mira-Full_down_sampled_and_cropped.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Diagram_of_a_Cataclysmic_Variable.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Diagram_of_a_Cataclysmic_Variable.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Hautala, Juiced lemon, Kurgus

Fil:V1500.Cyg.JD2442500-2444500.LightCurve.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:V1500.Cyg.JD2442500-2444500.LightCurve.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Kurgus

Fil:Eclipsing binary star animation 2.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Eclipsing_binary_star_animation_2.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Juiced lemon, Kersti Nebelsiek, Lmbuga, Stanlekub

Fil:Eclipsing binary star animation 3.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Eclipsing_binary_star_animation_3.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Juiced lemon, Kersti Nebelsiek, Lmbuga, Stanlekub

Fil:EarthlikePlanet-590.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:EarthlikePlanet-590.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:51 Peg b rv.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:51_Peg_b_rv.jpg *Licens*: Attribution *Bidragsgivare*: This file was uploaded by w:User:James McBrideJames McBride.

Fil:Pulsar schematic.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Pulsar_schematic.svg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: User:Jm smits

Fil:Planetary transit-sv.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Planetary_transit-sv.svg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: User:Frisko, User:Nikola Smolenski

Fil:OGLE-2005-BLG-390Lb.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:OGLE-2005-BLG-390Lb.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: G. Bacon (STCcI)

Fil:VB10 mov2.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:VB10_mov2.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL-Caltech/Palomar

Fil:AA Tauri.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:AA_Tauri.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Einstein len.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Einstein_len.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA, ESA, A. Bolton (Harvard-Smithsonian CfA) and the SLACS Team Original uploader was Dakik at cs.wikipedia

Fil:Gravity lens geometry.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Gravity_lens_geometry.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Original uploader was Bb3cxv at en.wikipedia

Fil:Double Einstein Ring.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Double_Einstein_Ring.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: Original uploader was ErgoSum88 at en.wikipedia

Bild:Gravitational lens-full.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Gravitational_lens-full.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Lukius, Serguei S. Dukachev, 3 anonyma redigeringar

Fil:Ring Nebula.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Ring_Nebula.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: The Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

Fil:EmissionNebula NGC6357.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:EmissionNebula_NGC6357.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA, ESA and Jesœs Maz Apellÿniz (Instituto de astrofsica de Andaluca, Spain). Acknowledgement: Davide De Martin (ESA/Hubble)

Fil:The Horshead Nebula.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:The_Horshead_Nebula.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: ESO

Fil:Gruithuisen crater Apollo 15.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Gruithuisen_crater_Apollo_15.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Emijrp, Evil Monkey, Lotse, RJHall, 1 anonyma redigeringar

Fil:Olympus Mons.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Olympus_Mons.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:MarsTopoMap-PIA02031 modest.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:MarsTopoMap-PIA02031_modest.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL-Caltech.

File:Baby Universe.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Baby_Universe.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Angeloleithold, Duesentrieb, Juiced lemon, Mike Peel, Pieter Kuiper, 1 anonyma redigeringar

Bild:Whirpool_Galaxy.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Whirpool_Galaxy.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: Dcljr, Hispa, Juiced lemon, KGyST, Kalki, Lars Lindberg Christensen, Martin H., Winiar, XJamRastafire, 2 anonyma redigeringar

Fil:Nursery_of_New_Stars_-_GPN-2000-000972.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Nursery_of_New_Stars_-_GPN-2000-000972.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA, Hui Yang University of Illinois ODNursery of New Stars

Fil:M57 The Ring Nebula.JPG *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:M57_The_Ring_Nebula.JPG *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: The Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

Fil:Horsehead-Hubble.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Horsehead-Hubble.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA, NOAO, ESA and The Hubble Heritage Team STScI/AURA

Fil:Flag of France.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Flag_of_France.svg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp

File:PSM V05 D274 Nebula orionis 1758.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:PSM_V05_D274_Nebula_orionis_1758.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Unknown

File:Ruines de pondichery.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Ruines_de_pondichery.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Unknown

File:Paris Observatory XVIII century.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Paris_Observatory_XVIII_century.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: not specified, probably C. Wolf (1827–1918)

Bild:Kepler bkgd.sm.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Kepler_bkgd.sm.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Aldaron, GDK, Juiced lemon, Urhixidur, Uwe W.

File:MilkywaykeplerfovbyCRoberts.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:MilkywaykeplerfovbyCRoberts.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Carter Roberts. Original uploader was Noonehasthisnameithink at en.wikipedia

File:Kepler orbit.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Kepler_orbit.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: DKG

Image:Ssc2006-10c.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Ssc2006-10c.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC)

Fil:Aleksander Wolszczan.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Aleksander_Wolszczan.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bidragsgivare*: User:Ludek

Fil:A_Swarm_of_Ancient_Stars_-_GPN-2000-000930.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:A_Swarm_of_Ancient_Stars_-_GPN-2000-000930.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA, The Hubble Heritage Team, STScI, AURA

Bild:Universe expansion.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Universe_expansion.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Bdamokos, Fastfission, Fcn, Fredrik, Frumpy, Itsmine, Joelholdsworth, MARKELLOS, Mxn, Nk, Paradoctor, Rogilbert, Spiritia, Vriullop, 1 anonyma redigeringar

File:Milky Way galaxy.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Milky_Way_galaxy.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: Duesentrieb, Duffman, Edward, Lars Lindberg Christensen, Mywood

Image:Hubble ultra deep field high rez edit1.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_ultra_deep_field_high_rez_edit1.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: User:Noodle snacks

Fil:Universum.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Universum.jpg *Licens*: Attribution *Bidragsgivare*: Heikenwaelder Hugo, Austria, Email : heikenwaelder@aon.at, www.heikenwaelder.at

Fil:mauerquadrant.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Mauerquadrant.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: (original woodcut or engraving), unknown colourer

Fil:Galileo telescope replica.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galileo_telescope_replica.jpg *Licens*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bidragsgivare*: Michael Dunn

Fil:Euler-10 Swiss Franc banknote (front).jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Euler-10_Swiss_Franc_banknote_(front).jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Pascal.Tesson, Szajci, 1 anonyma redigeringar

Image:Tidvattenbroms.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Tidvattenbroms.png *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: Paul Schlyter

Fil:Tapestry of bayeux10.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Tapestry_of_bayeux10.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: AnonMoos, Arnomane, Cherubino, ElRaki, GDK, Harp, Jappalang, Olivier2, Tttrung, Urban, 4 anonyma redigeringar

Fil:Gas giants in the solar system.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Gas_giants_in_the_solar_system.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA

File:Jupiter interior.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Jupiter_interior.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA/R.J. Hall

File:Plan79ceti.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Plan79ceti.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Greg Bacon (STScI)

Image:Enceladus from Voyager.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Enceladus_from_Voyager.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Andro96, Bricktop, Li-sung, Ruslik0, Sobi3ch, Startaq, Uwe W.

FIL:EN004 Painting on the walls.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:EN004_Painting_on_the_walls.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Andro96, Changcho, Grayshi, Shizhao

FIL:EN004 Moon with a Past.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:EN004_Moon_with_a_Past.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Andro96, Changcho, Grayshi, Shizhao, WikipediaMaster

Image:EN003 Samarkand Sulci.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:EN003_Samarkand_Sulci.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Andro96, Changcho, Grayshi, Shizhao, Túrelio

Image:PIA07799.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:PIA07799.png *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Original uploader was GPHemsley at en.wikipedia

FIL:Enceladus Roll.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Enceladus_Roll.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Bricktop, Rursus, Uwe W.

Fil:HI6563 fulldisk.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:HI6563_fulldisk.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: CWitte

File:Diamond ring at solar eclipse in turkey.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Diamond_ring_at_solar_eclipse_in_turkey.jpg *Licens*: GNU Free Documentation License *Bidragsgivare*: Mila Zinkova

File:Stellar evolution L vs T.png *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Stellar_evolution_L_vs_T.png *Licens*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bidragsgivare*: Illustration by contributor.

Fil:HubbleDeepField.800px.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:HubbleDeepField.800px.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Ascánder, KGyST, Mike Peel, Sir48, Tryphon

FIL:Hubble Deep Field location.gif *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_Deep_Field_location.gif *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Ascánder, Mike Peel

FIL:Galaxy in each of the four wavelengths comprising the HDF.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Galaxy_in_each_of_the_four_wavelengths_comprising_the_HDF.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: KGyST, Mike Peel

Image:HDF extracts showing many galaxies.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:HDF_extracts_showing_many_galaxies.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Ascánder, KGyST, Mike Peel

Bild:Hubble ultra deep field.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_ultra_deep_field.jpg *Licens*: okänd *Bidragsgivare*: NASA and the European Space Agency.

File:Hubble Ultra Deep Field part d.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Hubble_Ultra_Deep_Field_part_d.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

Bild:Carolyn porco.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Carolyn_porco.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: NASA

Fil:Flag of the United States.svg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Flag_of_the_United_States.svg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: User:Dbenbenn, User:Indolences, User:Jacobolus, User:Technion, User:Zscout370

Image:Cassini team Abbey road.jpg *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Cassini_team_Abbey_road.jpg *Licens*: Public Domain *Bidragsgivare*: Cassini

Bild:Frank_Drake_-_primo_piano.JPG *Källa*: http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Fil:Frank_Drake_-_primo_piano.JPG *Licens*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bidragsgivare*: Original uploader was DracoRoboter at it.wikipedia

Licens

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/