

Bland alla dessa stjärnor finns en som lyser **precis som solen**

Hur hittar man en exakt kopia av solen bland alla stjärnor på natthimlen? Och vad berättar sådana "soltvillingar" för oss?

Två forskare vid Uppsala universitet håller för närvarande på att analysera en nupptäckt soltvilling.

av *Andreas Korn och Anna Önehag*

Vi känner till solen ganska väl. Vi vet, tack vare radar-mätningar och Keplers lagar, hur långt bort den ligger och hur tung den är. Med hjälp av Newtons gravitationslag kan vi ange hur stor gravitationen är på ytan. Vi kan även mäta solens luminositet (det totala energiutflödet) och använda det för att räkna fram en termodynamiskt väldefinierad ytemperatur (se faktarutan). Spektroskopiska metoder gör det också möjligt att bestämma solens sammansättning, vilken som hos de allra flesta himmelskroppar domineras av väte och helium. Vi kan även se att solen "oscillerar", dvs. det finns vågor som löper genom solen, lite som när en jordbävning löper genom jorden och sedan mäts upp på andra sidan jordklotet. Genom att studera vågornas egenskaper kan vi faktiskt se in i solens inre och bestämma hur densitet och temperatur förhåller sig som funktion av radien. Vi kan också studera den magnetiska solcykeln och försöka dra slutsatser om hur den påverkar klimatet på jorden. Slutligen kan vi även ange solsystemets ålder med hjälp av olika radioaktiva ämnen. Det är inte överraskande att vi, i och med det korta avståndet till solen, alltså känner till denna stjärna allra bäst.

Trots att vi vet så mycket om solen måste vi titta på andra stjärnor för att ta reda på hur solen passar in i det stora hela, t.ex. i Vintergatan och dess utveckling. Är alla stjärnor som solen eller är solen på något sätt speciell? Vi ämnar inte skriva om stjärnornas utveckling från O till M här, vi kom-

mer istället att fokusera på sollika stjärnor, av spektralklass G2V, så kallade huvudseriestjärnor med en ytemperatur på ungefär 5 800 K (se faktarutan). Vi söker stjärnor som liknar solen spektroskopiskt. Förvisso är detta inte det enda sättet man kan studera stjärnor på, och vi återkommer till andra egenskaper man kan undersöka.

Som bekant rör sig solen längs en mer eller mindre cirkulär bana runt Vintergatans centrum, ungefär 30 000 ljusår bort. Det område i Vintergatan vi känner till allra bäst är, inte helt överraskande, de närmast liggande 300 ljusåren. Detta område studerades nämligen noggrant under åren 1989–1993 av en satellit vid namn Hipparcos. Hipparcos använde jordens rörelse runt solen för att trigonometriskt mäta avståndet till ungefär 100 000 stjärnor. Avstånd är svåra att bestämma inom astronomin, och Hipparcos utförde således ett jättejobb, vilket många astronomer fortfarande kan dra nytta av. Tack vare att Hipparcos också gjorde fotometriska mätningar av samtliga stjärnor kan vi ange antalet G-stjärnor, med en relativt hög precision, t.ex. inom en volym med 80 ljusårs radie. Detta område innehåller ca 1 000 G-stjärnor. Minst hälften av dessa stjärnor är bundna i dubbel- eller flerstjärnsystem. De är ointressanta i vårt sammanhang då solen är en ensam obunden stjärna. Av de resterande 500 stjärnorna är mindre än 50 av spektralklass G2V, dels på grund av att det finns fler stjärnor bland de "senare" (kallare) spektral-subklasserna G3–G9, dels också pga. av att vi aktivt valt bort andra luminositetsklasser (speciellt jättar). Några få av de 50 kvarvarande stjärnorna tillhör stjärnfamiljer (s.k. populationer) som inte liknar solen. De är mycket gamla stjärnor som befinner sig i den tjocka skivan och halon och är troligen minst dubbelt så gamla som solen.

Tidigare konstaterade soltvillingar

Redan innan astronomerna hade tillgång till Hipparcos' mätningar försökte man hitta soltvillingar. Längre var en av tre närbelägna stjärnor i ett trippelstjärnsystem vid namn Alfa Centauri den bästa tvillingkandidaten. Som vi nämnt tidigare är solen en "ensam" stjärna, och stjärnor bundna till varandra är därför inte nödvändigtvis optimala när det gäller att hitta tvillingar. Alfa Centauri AB har trots detta fortsatt att spela en viktig roll inom astronomin, kanske just därför att Alfa Centauri-systemet är solens närmste

Fakta: solen

Massa M	$2 \cdot 10^{30}$ kg	Radie R	696 000 km
Ytemperatur T_{eff}	5 777 K	Ytgravitation $\log_{10} g$	4,44
Luminositet L	$3,8 \cdot 10^{26}$ W	Väte/helium/tyngre grundämnen (i massandelar)	73,8 / 24,9 / 1,3 %
rotationshastighet v_{rot} (vid ekvatorn)	1,8 km/s		

granne på ett avstånd av 4,36 ljusår (eller 41,5 miljarder kilometer!). Idag pågår ett frenetiskt sökande efter planeter i Alfa Centauri-systemet. Kanske var det just detta som inspirerade James Cameron att låta den påhittade planeten Pandora kretsa kring just Alfa Centauri i hans senaste science fiction-succé *Avatar*.

Vilken är då den mest sollika stjärnan? Vid konferensen *Solar analogs* som ägde rum i Flagstaff, Arizona, USA, år 1997 bestämde astronomerna sig för en stjärna vid namn 18 Scorpii. Låt oss ta en närmare titt på 18 Sco. Om vi begränsar oss till de parametrar som är (mer eller mindre) direkt tillgängliga på spektroskopisk väg är 18 Sco en bra soltvilling. Två högkvalitativa analyser tyder på att stjärnan har en ytemperatur som är 10–60 K högre än solens. Gravitationsaccelerationen på ytan (som enligt Newtons gravitationslag skvallrar om massa och radie) är lik solens, åtminstone inom en typisk felmarginal.

Vad gäller sammansättningen är även den lik solens, men med ett mycket viktigt undantag: 18 Sco har betydligt mer litium, ungefär tre gånger så mycket. Litium är ett relativt ömtåligt grundämne som omvandlas till helium ($\text{Li-7} + \text{proton} \rightarrow \text{He-4} + \text{He-3}$) när temperaturen överstiger två miljoner grader. Sådana temperaturer finns inte vid ytan, men redan halvvägs in är temperaturen flera miljoner grader. Om litium nu via konvektion transporteras ner till dessa djup, så förbränns det och ythalten går ner. Detta tycks ha hänt i solen som bildades ur ett stoftmoln hundra gånger litiumrikare än vad solen är idag (vi har tillgång till solnebulosans ursprungliga sammansättning genom att studera meteoriter). Att det finns soltvillingar som har mer, lika mycket eller mindre litium antyder att det finns parametrar vi inte tar hänsyn till när vi definierar en stjärna med hjälp av ytemperaturen T , ytgravitationen g och massan M . En god kandidat är rörelsemängdsmomentet (hur snabbt en stjärna roterar) och de uppblandningsprocesser som står i samband med detta.

Stjärnhopen M 67. Vilken av stjärnorna är solens okända tvilling?

FOTO: MED BEHÅGET TILLSTÅND AV GREG PARKER AND NOEL CARBONI, NEW FOREST OBSERVATORY

FOTO: ANDREAS KORN



ESO:s VLT på Paranal, där soltvillingen M 67-1194 observerats.



Här ligger den. Hopen M67 med soltvillingen M67-1194 utmärkt med en grön pil.

År 2007 presenterades en ny soltvilling i en artikel av Jorge Meléndez och Ivan Ramírez. Stjärnan, med namnet Hipparcos 56948, ligger 220 ljusår bort och verkar vara ännu mer lik solen än 18 Sco. Visserligen har den lite lägre g (eller lite högre L , luminositet) än solen, men massan är densamma som solens, så HIP 56948 är helt enkelt något äldre (kanske en miljard år) och har kommit en aning längre i sin långsamma utveckling längs huvudserien. Men, kanske viktigast av allt är att Hipparcos 56948 innehåller precis lika mycket litium som solen, till skillnad från 18 Sco. I samma artikel konstateras också att vi nu känner till fem bra soltvillingar med HIP 56948 i spetsen. Vi kan alltså slå fast att det finns stjärnor där ute som i mångt och mycket liknar solen. Men en systematisk studie av sammansättningskillnader saknades – tills förra året.

Är solen unik ?

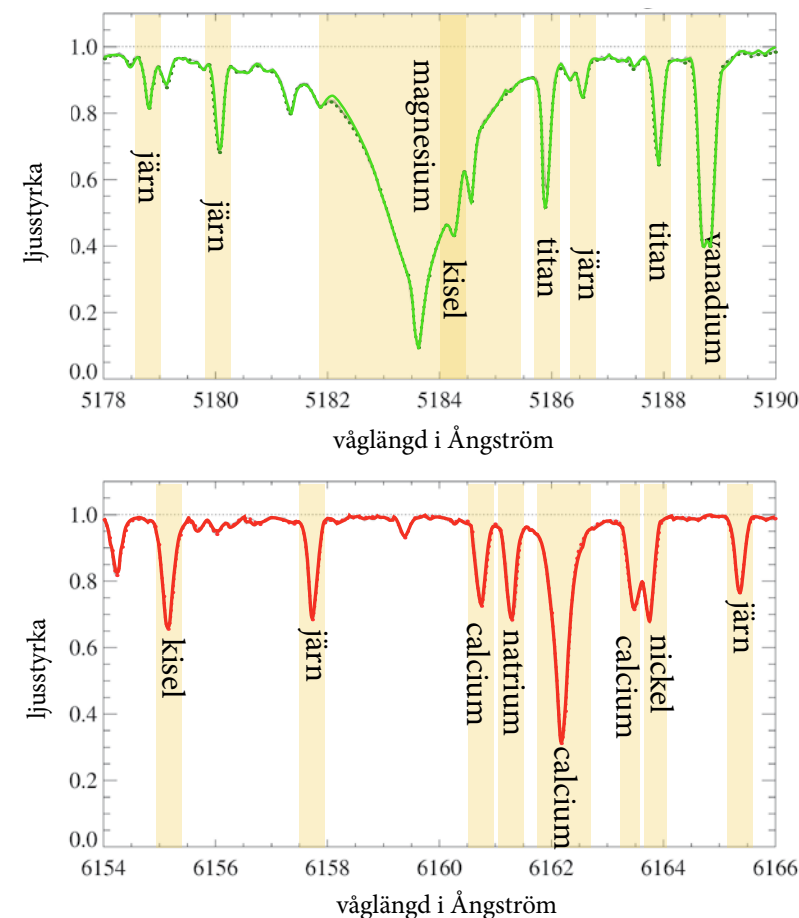
Jorge Meléndez och hans medarbetare (bland dem Bengt Gustafsson i Uppsala) har ägnat mycket av sin tid sedan 2007 för att studera alla potentiella soltvillingar i Hipparcos-katalogen. Resultaten, som kom ut 2009, innebär en liten revolution: för första gången kunde man visa att solens sammansättning skiljer sig systematiskt från de flesta andra soltvillingars. Solen har en större mängd lättflyktiga grundämnen (t.ex. syre och kväve), medan grundämnen som hellre formar stoft (t.ex. aluminium och titan) finns

i mindre utsträckning jämfört med hos soltvillingarna. Skillnaderna är små och för att hitta dem krävdes en noggrannhet i analysen som inte tidigare uppnåtts. Hur kan vi då förklara de här skillnaderna? Det måste finnas ytterligare faktorer som vi inte tagit hänsyn till. En kandidat är solens planetsystem, som skiljer sig från de flesta andra som vi än så länge har kunnat upptäcka. Men om det här rönet har en direkt koppling till solens planetsystem är svårt att säga; vi vet nästan ingenting om planetsystemen kring soltvillingar. Det är i alla fall intressant att notera att de terresta planeterna uppvisar ett omvänt mönster i sin sammansättning. Detta skulle kunna antyda att en viss grundämnesseparation mellan solen och den inre planetskivan ägde rum någon gång under vårt planetsystems tidiga utveckling.

Det är idag lite oklart om litiumhalten är kopplad till bildandet av planetsystem. Nyligen presenterades en studie i tidskriften *Nature* som verkar tyda på just detta, men en del forskare är fortfarande tveksamma. De kommande åren kommer säkerligen att visa hur det verkligen ligger till.

Vår forskning: en tvilling med syskon

Det kan vara intressant att inte bara bygga upp statistik på enstaka obundna ”fältstjärnor”. Hur väl de än är utvalda och passar ihop enligt vår analys, så föddes de inte tillsammans. Fältstjärnor berättar således en annan historia än



Lika som bär. Två detaljer ur soltvillingen M67-1194:s spektrum, i grönt ljus (ovan) och rött ljus (nedan). Solens spektrum visas med prickar, men det är så likt att det knappt syns. Etiketterna visar vilka ämnen som ligger bakom vilka spektrallinjer.

stjärnor som tillhör en stjärnhop. Det är klart att man också borde leta efter soltvillingar i lämpliga stjärnhopar. Detta har Luca Pasquini och medarbetare gjort med hjälp av VLT och multiobjektspektrografen FLAMES.

M67 (bilder på sidorna 18 och 20) är en välkänd stjärnhop som uppfyller alla krav man har i detta sammanhang: den har enligt spektroskopiska analyser en grundämnessammansättning som ligger mycket nära solens och är dessutom 4–5 miljarder år gammal, liksom solen. Det finns få sådana gamla stjärnhopar, om vi bortser från klotformiga hopar som samtliga är betydligt äldre.

Vi fick tid på VLT år 2009 för att studera stjärnor längs M67:s utvecklingsspår, också detta med spektrografen FLAMES på VLT, men med en tre gånger högre spektralupplösning och fem gånger större våglängdstäckning än tidigare. Vi bestämde oss för att inkludera en av Pasquinis tvillingskandidater. Dataanalysen av denna stjärna pågår i skrivande stund, men vi kan redan nu konstatera att M67-1194 är den första bekräftade soltvillingen i M67 och därmed den första i en stjärnhop överhuvudtaget!

När två stjärnor är snarlika behövs egentligen ingen modellering för att se likheter och skillnader. Man kan direkt jämföra spektrerna. Vi har valt ut ett antal spektralområden som är viktiga att undersöka. Dessa områden har spektrallinjer som ger oss information om stjärnans parametrar (bilderna ovan). Bilderna visar skillnader som är nästintill obefintliga, bortsett från bruset. M67-1194 har också en låg litiumhalt, dock kanske något högre än solens.

Den aktiva solen och jordens klimat

Det finns ytterligare ett antal aspekter man skulle vilja studera med hjälp av soltvillingar, bland annat sådana som kan ha stor betydelse för klimatet på jorden. Vi vet att solens magnetiska cykel då och då avviker från den 22-årsperiod vi känner till. I mitten av 1600-talet fanns det t.ex. nästa inga solfläckar alls, vilket är ett tecken på låg magnetisk aktivitet, och under de åren var det ovanligt

Så klassificeras stjärnornas spektra

Den s. k. spektralklassifikationen kom till under det tidiga 1900-talet vid Harvard (och senare Yerkes) i USA, innan man visste vilka parametrar som styr utseendet av stjärnornas spektra. Astronomerna använder fortfarande delar av det gamla systemet, men nuförtiden med temperatur och luminositet som de två avgörande faktorerna. Det har lett till de sju klassiska spektralklasserna O-B-A-F-G-K-M, från O-stjärnor (yttemperatur 30 000–40 000 K) till M-stjärnor (T_{eff} mindre än 3 500 K). Varje spektralklass delas in från O (hetast inom klassen) till 9 (kallast). Romerska siffror markerar stjärnans luminositet, t.ex. V = huvudseriestjärna, III = jätte. Ibland kallas OBA-stjärnor för ”tidiga” spektraltyper, F&KM för ”sena”, trots att klassifikationen inte är en utvecklingssekvens. Mer information finns på http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification (på engelska). För en kul tolkning av den klassiska Morgan-Keenan-klassifikationen, lyssna på <http://www.setileague.org/songbook/songs/obafgkm.mp3> (på engelska).

kallt i Europa. Karl X Gustav passade på att använda den extrema kylan under vintern 1658 för att angripa Köpenhamn genom att tåga över de isbelagda Lilla och Stora Bälten. Denna period med extremt få solfläckar kallas för det Maunderiska minimet, efter den brittiske astronomen Edward Walter Maunder.

En liknande period med låg solaktivitet observerades av engelsmannen John Dalton under första hälften av 1800-talet; denna period kallar vi idag för Daltonminimum. Det skulle förstås vara mycket intressant att undersöka hur soltvillingar beter sig i den här frågan. Har de sådana minima överhuvudtaget? Hur ofta äger de rum? Svaret på dessa frågor får vi genom att noggrant mäta hur mycket energi stjärnorna utstrålar som funktion av tiden. Men tillräckligt noggranna mätningar har vi bara kunnat utföra under några decennier, en alltför kort tid för att dra några giltiga slutsatser.

Syskon och kusiner?

Vi kan även fråga oss hur solen kom till. Stjärnor bildas aldrig ensamma, utan i stjärnhopar. Istället för att leta efter stjärnor som liknar solen kan man också söka efter stjärnor som bildades tillsammans med solen för 4,5 miljarder år sedan. Sådana stjärnor är inte nödvändigtvis tvillingar, snarare syskon. De har samma kemiska sammansättning och är av samma ålder som solen, men uppvisar en mängd olika massor.

De tyngsta syskonen har redan nått slutfasen i sitt liv, den nukleära elden har slocknat och nu lyser de som så kallade vita dvärgar, det är restmaterialet av den före detta stjärnan, själva kärnan. Den kvarvarande kärnan består huvudsakligen av kol och syre som producerats under stjärnans liv. En analys av den kemiska sammansättningen skulle således inte kunna påvisa ett familjesamband.

För att finna ett sådant samband måste vi observera "vanliga" stjärnor, helst sådana som fortfarande befinner sig på huvudserien. Dessa stjärnors egenskaper (både kinematiska och kemiska) berättar t.ex. om hur solens vagga såg ut och var den kan tänkas ha legat.

Simon Portegies Zwart är en forskare i Nederländerna som gör dynamiska modeller av stjärnhopar. Portegies Zwart menar att man kan hitta tiotals till hundratals solsyskon inom ett avstånd av några hundra ljusår.

Ett stort satellitprojekt med namnet Gaia kommer inom en snar framtid att noggrant kartlägga stora delar av Vintergatan. Mer än 300 forskare runt om i Europa jobbar med att förbereda projektet, bland dem forskare i både Lund och Uppsala. Efter projektets slut (2020) kommer vi verkligen kunna ta reda på vilken roll solen, och i förlängningen vi, spelar i Vintergatan. ★

ANDREAS KORN och ANNA ÖNEHAG arbetar båda vid Avdelningen för astronomi och rymdfysik, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet



BILD: ANDREAS KORN & ANNA ÖNEHAG

Orienteringskurser i astronomi



BILD: NASA/HUBBLE HERITAGE TEAM

Interstellär kommunikation
Universums utveckling
Astronomi i konstens historia **Etnoastronomi**
Universums byggnad Navigeringskonstens historia
Astronomi - Astrologi **Exoplaneter**
Den astronomiska världsbildens utveckling
Livsbetingelser i universum
Astronomisk rymdforskning

Under HT10 går kurserna:
Etnoastronomi
Exoplaneter

Under VT11 går kurserna:
Universums byggnad
Den astronomiska världsbildens utveckling

Välkommen att läsa astronomi hos oss!

<http://physics.gu.se/~tfams/Astro/Orient.html>

Kontakta:

Maria Sundin
maria.sundin@physics.gu.se
Institutionen för fysik
Göteborgs universitet
412 96 Göteborg



Sommarens och höstens kvällskurser i astronomi



Svarta hål och kosmiska explosioner, 7,5 hp

Här får du lära dig om svarta hål och andra kompakta objekt som neutronstjärnor och vita dvärgar. Hur bildas ett svart hål och hur ser rymden ut i hålets närhet? Vad händer när neutronstjärnor kolliderar? Vad är ett maskhål? Hur stora är de supermassiva svarta hålen i aktiva galaxkärnor?
Kursstart: 7 juni, 2010



Översikt kurs i astronomi, 7,5 hp

Ger en bred översikt av astronomins olika delar samt vetenskapliga arbetssätt.
Kursstart: 30 augusti, 2010

Modern astronomi, 15 hp

Här behandlas planetsystemet, solen och stjärnorna, gas och stoft i rymden, samt galaxer och universum som helhet, med tonvikten på utvecklingsförlopp och fysikaliska processer.
Kursstart: 23 augusti, 2010

Astronomi kontra astrologi ur ett vetenskapligt perspektiv, 7,5hp

Efter en kort beskrivning av modern astronomi och astrologins huvuddrag går vi igenom astronomins/astrologins utveckling och separation. Centralt i kursen är astrologins och den moderna astronomins skilda utgångspunkter i ett bredare naturvetenskapligt perspektiv.
Kursstart: 25 augusti, 2010



Stockholms universitet

För att läsa dessa kurser behövs endast grundläggande behörighet för universitet och högskolor. Alla kurserna ges i AlbaNova, Roslags-tullsbacken 21.

För mer information och anmälan se www.astro.su.se eller kontakta vår studentexpedition: studentexp@astro.su.se
Tfn 08-5537 8505
Fax 08-5537 8510



Ja tack, jag vill gärna prova Populär Astronomi till introduktionspriset 240 kr och får för detta fem nummer av Svenska Astronomiska Sällskapets kvartalstidskrift.

.....
Namn
.....
Gatuadress eller motsvarande
.....
Postnummer, ort
.....
Mejladress
.....
Telefon

Som bonus blir du medlem av Svenska Astronomiska Sällskapet!



Frankeras ej. Mottagaren betalar portot.

POPULÄR★
Astronomi
AlbaNova Universitetscentrum
SVARSPOST
200 064 900
110 50 STOCKHOLM