

# Föreläsning 14/11

## Verifierade jordliknande planeter

Ulf Torkelsson

### 1 Planeter som det skulle gå att bo på

För att det ska gå att bo på en exoplanet så bör den inte vara för stor, eftersom den i så fall skulle vara en Jupiterlik planet utan en fast yta. Än så länge är det svårt att upptäcka planeter av Jordens storlek, utan de planeter vi upptäcker är i allmänhet fortfarande betydligt större än Jorden, så kallade superjordar. Ett annat villkor är att planeten ska ligga på ett lagom avstånd från sin stjärna för att det ska finnas flytande vatten på planetens yta. *The Habitable Exoplanets Catalog* listar för närvarande 38 sådana planeter. Av dessa är 1 av ungefär Jordens storlek och de andra är superjordar.

Hur långt från stjärnan som en planet behöver ligga för att det ska finnas flytande vatten på den beror på stjärnans storlek. Om stjärnan är en röd dvärg, som är liten och kall, så behöver planeten ligga närmare sin stjärna än avståndet mellan Solen och Jorden. Omvänt så skulle planeterna behöva ligga längre bort från stjärnan om den är stor och het. De olika situationerna är dock inte helt jämförbara. En stor het stjärna sänder ut en större andel ultraviolett ljus, vilken kan bryta ned molekylerna i planetens atmosfär. Den lilla röda stjärnan sänder under normala förhållanden ut lite ultraviolett ljus, men det händer att dessa stjärnor har stora flares som tillfälligt emitterar både ultraviolett ljus och röntgenstrålning, samt sänder ut högenergetiska partiklar, vilka allihop kan påverka livet på en närliggande planet. Ett annat problem med att planeten ligger nära stjärnan är att tidvattenkraften på planeten blir stor. I så fall kan planetens rotation bromsas in så mycket att den hela tiden vänder samma sida mot sin stjärna. Om planeten inte har en mycket tjock atmosfär så kommer den i så fall att få en ljus och en mörk sida.

Vi kan nu titta på de system som är kända för att ha någorlunda jordlika planeter. De bäst kända systemet är förstås vårt eget system med Jorden och Mars inom den livsdugliga zonen, där det kan finnas flytande vatten på planetens yta, fast i vårt fall är det bara en av de båda planeterna, Jorden, som verkligen har flytande vatten. Mars atmosfär är för tunn och det är för kallt på ytan för att det ska finnas flytande vatten där. Flera av de andra systemen har också flera planeter inuti den livsdugliga zonen. Gliese 667C har tre potentiellt livsdugliga planeter och totalt 6 planeter. Gliese 667C är en röd dvärg, och det finns nu statistik som visar att 48% av de röda dvärgarna har jordlika planeter. Statistiskt sett ska i så fall den närmaste jordlika planeten finnas på ett avstånd av bara 6,4 ljusår. Nyligen har man funnit att för sollika stjärnor har ungefär en av fem stjärnor en jordlik planet i den livsdugliga zonen.

### 2 Superjordar

En superjord är en planet som har en storlek mellan Jorden och Neptunus. För att förstå hur en superjord fungerar ska vi börja med att titta på hur Jorden fungerar.

Jorden är en planet som består av sten och metall. Ytterst finns en fast skorpa. Under denna finns det en mantel som ytterst är fast och längre in plastisk. Den fasta delen av manteln bildar tillsammans med skorpan litosfären. Längst in finns kärna som i sin tur kan delas upp i en inre fast del och en yttre flytande del. Det inre av Jorden är varmt på grund av att Jorden värms upp av radioaktiva sönderfall av långlivade radioaktiva ämnen, som uran, och genom att Jordens inre värmdes upp i samband med att Jorden bildades. Värmen transporteras från Jordens inre ut mot ytan genom konvektion. I den yttre delen av kärnan så kan en varm del av vätskan röra sig uppåt genom att den är lättare än omgivningen, och tvärtom så kan en kallare del av vätskan sjunka ned. En bieffekt av denna konvektionsrörelse är att det uppstår elektriska strömmar som bygger upp Jordens magnetfält. Konvektionsrörelserna fortsätter upp i den plastiska delen av manteln. Dessa rörelser drar i sin tur runt litosfären som bryts upp i ett antal kontinentalplattor som rör sig relativt varandra, vilket kallas för plattetektonik.

Om vi nu tar en planet som är större än Jorden, så ökar dess volym mer än dess yta. Därför ökar mängden radioaktiva mineral, som värmer upp planeten mer än ytan genom vilken värmen läcker ut, vilket leder till att planetens inre blir varmare, och samtidigt blir tyngdkraften starkare, så att trycket inuti planeten ökar. Det högre trycket leder till att den fasta inre kärnan blir större, vilket kan leda till att planeten får ett svagare magnetfält, och den högre temperaturen leder till att konvektionen utanför kärnan blir starkare. Samtidigt så blir litosfären tunnare, och detta i kombination med den starka konvektionen ger en starkare plattetektonik. Magnetfältet på Jorden fyller en viktig funktion att skydda jordytan från energetiska partiklar från Solen. På en superjord kan detta skyddet saknas.

Om en superjord bildas så långt bort från sin stjärna att vatten förekommer i form av is, så kommer planeten att innehålla en stor mängd vatten. Om man har en ocean som är hundratals kilometer djup, så kommer trycket i vattnet att vara så högt att vattnet övergår i fast plastisk form, så att planeten har en inre mantel av sten och en yttre mantel av is, och i båda uppstår det konvektionsströmmar.

Det finns också andra effekter som kommer att påverka vad som händer på en planet. Låt oss jämföra Jorden och Venus. Venus är bara obetydligt mindre än Jorden, och ligger något närmare Solen. Venus skiljer sig från Jorden genom att den har en tjock atmosfär av koldioxid, vilken ger en så stark växthuseffekt på Venus att temperaturen vid ytan är 500 C. Venus roterar mycket långsamt runt sin egen axel, saknar ett magnetfält och har inte någon plattetektonik. Skillnaden mellan Jorden och Venus handlar om vatten. Egentligen finns det lika mycket koldioxid på Jorden som på Venus, men på Jorden så har koldioxiden först lösts i vattnet och sedan bildat kolsyra som i sin tur har löst upp mineraler ur berggrunden. På så sätt bildas karbonater som kalciumkarbonat, kalksten, vilken till slut sjunker ned till havsbotten. På Jorden har närvaron av vattnet alltså lett till att koldioxiden har blivit uppbunden i berggrunden. På Venus började det kanske med att närheten till Solen ledde till att tidvattenskraften från Solen bromsade upp Venus rotation, och med en långsam rotation så kunde Venus inte bygga upp ett magnetfält. Därför saknar Venus ett skydd mot solvinden. Den kraftigare solstrålningen vid Venus ledde först till att vattnet i större omfattning avdunstade från Venus, och sedan sönderdelades vattenmolekylerna i väte och syre av Solens ultravioletta strålning. Vätgasen drogs sedan ut ur Venus atmosfär genom att vätgasen är lätt och solvinden var i direktkontakt med Venus atmosfär. Utan vatten kunde koldioxiden inte bindas i berggrunden utan samlades istället i Venus atmosfär. Bristen på vatten gjorde också att berggrunden på Venus får en högre smältpunkt, och därmed blev skorpan tjockare och plattetektoniken fungerade inte. Det finns dock fortfarande geologisk aktivitet på Venus, som tycks genomgå episoder av mycket omfattande vulkanutbrott.

### 3 Jordar och superjordar som ligger nära sina stjärnor

Den första superjorden för vilken man kunde bestämma radien var CoRoT-7b, som ligger så nära sin stjärna att dess omloppstid bara är 20 h. Planeten har bunden rotation så att den ständigt vänder samma sida mot sin stjärna. Denna sida blir så varm att den är smält. Det bildas moln av kisel som sedan strömmar över till planetens nattsida där de kondenserar. Nyligen har man upptäckt en liknande planet, Kepler-78b, som är lika liten som Jorden och lika tung.

För den här typen av stenplaneter som ligger väldigt nära sin stjärna så är det möjligt att planeten från början inte var en vanlig jordlik planet, utan den kan ha börjat som en jupiterlik planet som drev alltför nära sin stjärna och på grund av värmen förlorade sin atmosfär så att det enda som blev kvar var en liten kärna av sten och metall.

### 4 Pulsarplaneter

De första jordlika exoplaneterna upptäcktes 1992 runt radiopulsaren PSR 1257+12. Sedan dess har man upptäckt ytterligare en handfull planeter kring andra stjärnor. Man tror att planeterna har bildats ur resterna av en tidigare kompanjonstjärna som har förstörts av pulsaren, men man har senare observerat en cirkumstellär skiva kring en annan neutronstjärna, 4U 0142+61. Denna

skiva har förmodligen bildats av material som har fallit tillbaka mot neutronstjärnan efter den supernovaexplosion i vilken neutronstjärnan bildades.