



Astronomi - föreläsning för lärare

Stjärnhimlen, solsystemet och kosmos

Denna föreläsning ämnar att ge en kort introduktion till astronomi med fokus på stjärnhimlen, solsystemet och kosmos. Föreläsningsmaterialet har tagits fram av Astronomisk Ungdom och ESERO Sweden som ett komplement till CanSat-projektet.

Innehållsförteckning

Vad finns på stjärnhimlen?	2
Att observera	2
Solsystemet	3
Andra planetsystem	12
Om stjärnor	13
Stjärnors födelse, utveckling och död	15
Vintergatan och andra galaxer	17
Universums födelse, utveckling och död	22



Vad finns på stjärnhimlen?

Om man tittar upp på himlen en mörk natt, vad är det man egentligen ser? Stjärnor, såklart, och kanske månen. Alla som någon gång har stjärnskådat har antagligen sett en planet även om de inte vet om det och det är vanligt att man ser en eller annan satellit nära skymning eller gryning. Om man är på en riktigt mörk plats och förhållandena är goda kan man till och med se ett suddigt band som är de oräkneliga stjärnorna som utgör den stora massan av vår galax Vintergatan.

Att observera

Observationer kan göras med ögon, vanliga kameror, kikare, teleskop eller rymdteleskop. Den viktigaste egenskapen hos ett sådant instrument är diametern på öppningen som samlar in ljus. Ögats pupill i mörker har en öppning på ca 1 cm, en kikare kan ha ca 5 cm, ett litet teleskop kan vara ca 10 cm och ett stort kan vara flera meter. Denna egenskap avgör hur mycket ljus som kan samlas in. Man kan tänka på ljuset som ett regn och teleskopet som en hink som samlar upp det. Ju större öppning ju mer regn samlas. Att samla mer ljus gör att man kan se ljussvagare objekt och mer information om de objekt man kan se.

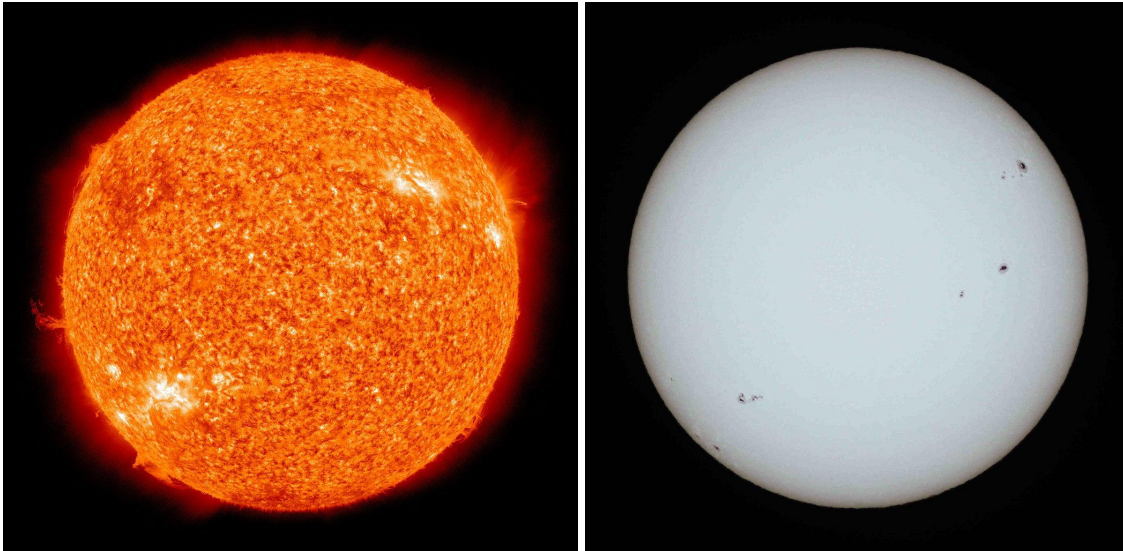
Det andra man behöver handskas med när man observerar stjärnhimlen är störningar som ljus från andra källor och turbulens i atmosfären. Båda problemen är svåra att åtgärda och det är förklaringen till varför rymdteleskop är så värdefulla trots att de är betydligt mindre och svårare att använda än de största och bästa teleskopen på Jorden. Genom att vara i rymden undviks den störande atmosfären och genom att vända teleskopet från solen elimineras nästan alla andra ljuskällor. Ett teleskop i rymden är inte heller begränsat till att observera bara på natten eftersom dag och natt är fenomen som bara uppträder på planeter.



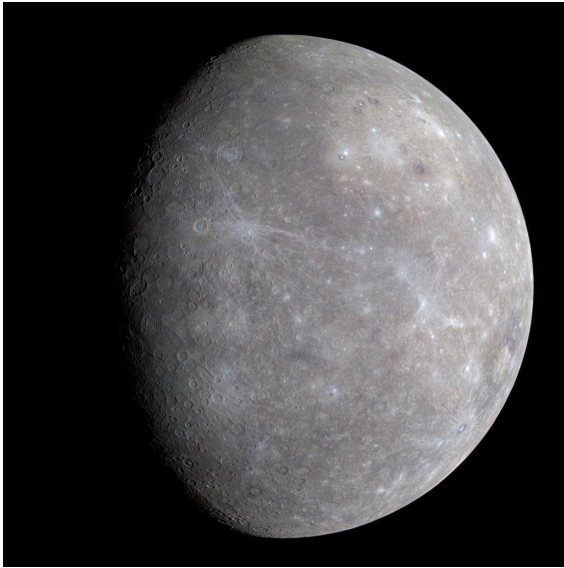


Solsystemet

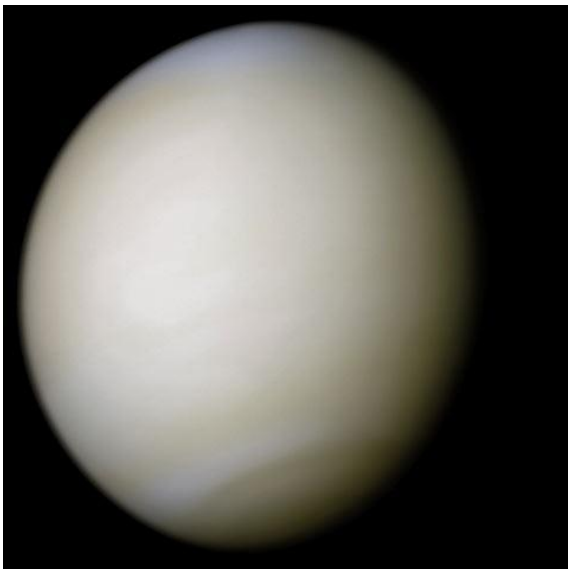
Vårt solsystem har, enligt rådande definitioner, 1 stjärna, 8 planeter, minst 5 dvärgplaneter och väldigt många asteroider, kometer och andra mindre kroppar.



Solen är en huvudsekvensstjärna av spektraltyp G. Det betyder att den får sin energi genom att omvandla väte till helium i sin kärna och har en vitaktig färg. Solen står för 99,86% av massan i solsystemet och är dess definitiva centrum. Solens diameter är 109 gånger större än jordens och dess volym är därför ca 1 miljon gånger större än jordens. Flera rymdsonder har skickats för att studera solen närmare. I skrivande stund (2020) är NASAs Parker Solar Probe den rymdsond som är mest relevant för att studera solens fysiska processer. Bilden till höger är solen i verkliga färger och till vänster är solen i ultraviolet vilket visar mer strukturer.



Merkurius är planeten närmast solen. Det är också den minsta planeten i solsystemet med en massa som är 5,5% av jordens eller 4,5 gånger så stor som Månens. Merkurius har ingen atmosfär vilket gör att temperaturen varierar kraftigt från 427 grader C på dagen vid ekvatorn till -173 grader C på natten. Merkurius har besökts två gånger. Först av Mariner 10 i mitten av 70-talet och sedan av MESSENGER från 2011 till 2015. En till rymdsond är på väg, ESAs BepiColombo som ska anlända 2025.



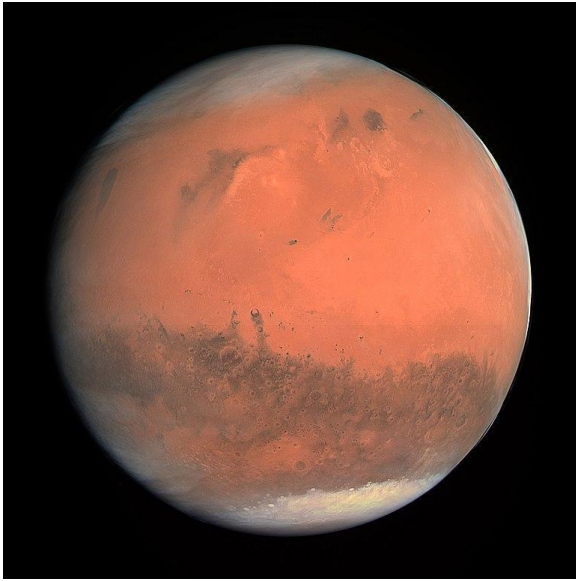
Venus är den andra planeten från solen. Den är den planet som är mest lik Jorden gällande storlek med en massa som är 81,5% av Jordens och en diameter som är 95% av Jordens. Venus har en väldigt tät atmosfär och en extrem växthuseffekt. Lufttrycket på venus yta är ca 92



atmosfärer och atmosfären består till 96,5% av koldioxid, vilket gör att temperaturen på ytan är minst 462 grader C, trots att Venus bara får en fjärdedel så mycket solenergi som Merkurius. Venus har besökts många gånger av rymdsonder och ett par landare. Venus är den enklaste planeten att ta sig till. Det, kombinerat med dess relativt höga massa, gör att det är väldigt populärt att flyga förbi Venus för att använda dess gravitation för att ge rymdsonden en extra skjuts på väg någon annanstans, och samla lite data på vägen.



Jorden är den tredje planeten från solen. Det är den största stenplaneterna i solsystemet och den enda med flytande vatten på ytan. Jordens massa är större än alla de andra stenplaneterna tillsammans. Jorden är den innersta planeten med en måne och den planet som har störst måne i förhållande till sin egen storlek. Alla har besökt Jorden.



Mars är den fjärde planeten från solen och den näst minsta i solsystemet med en massa som är bara 10,7% av jordens. Mars har en atmosfär som är 96% koldioxid och har ett lufttryck på 0,6% atm, vilket gör att det är en väldigt kall planet med en snittemperatur på -63 grader C. Det finns vatten på Mars i form av is, både i polarisarna och under marken.

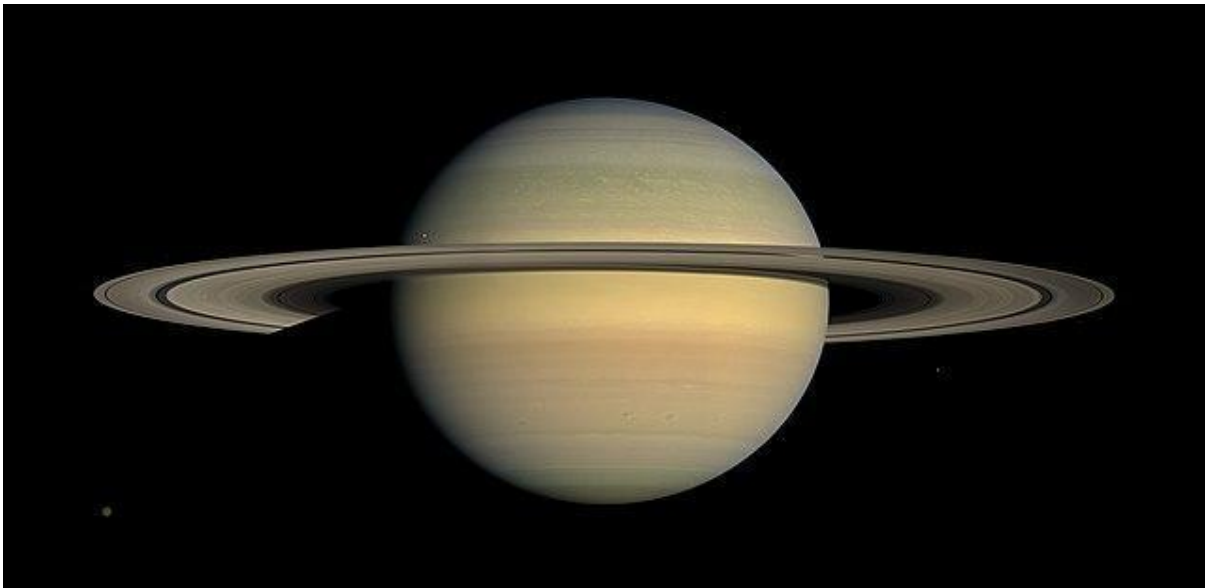
Mars är den mest välbesökta planeten förutom jorden och har undersökts av ett flertal rymdsonder, landare och strövsare.



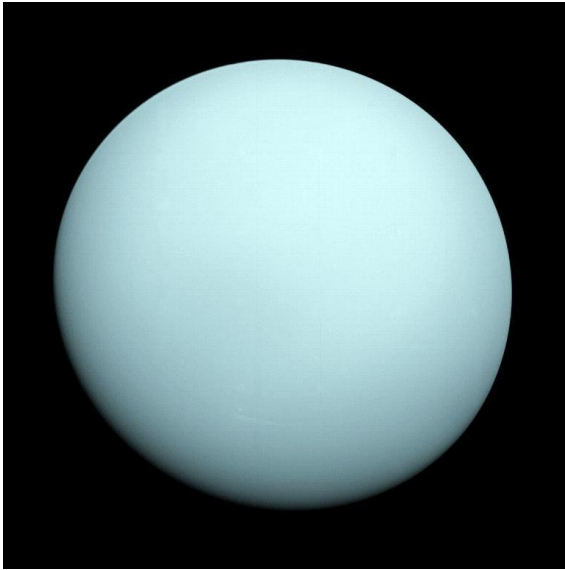
Jupiter är en gasjätte och den största planeten i solsystemet med en massa som är 318 gånger större än jordens och en diameter som är ca 10 gånger större. Jupiter har ingen fast yta utan



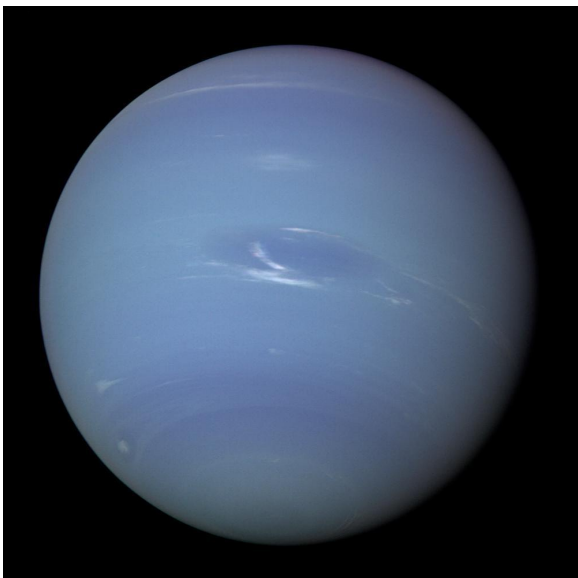
består till största delen av flytande väte och en mycket tjock (mer än 5000 km djup) atmosfär av mest vätegas och helium men även metan, vatten och ammoniak. Jupiter har ett svagt ringsystem och ett stort antal månar varav de 4 största enkelt kan ses med kikare eller ett enkelt teleskop från Jorden. 7 olika rymdsonder har passerat Jupiter på väg längre ut i solsystemet och två andra har stannat i omloppsbanan. I skrivande stund (2020) kretsar NASAs Juno kring Jupiter.



Saturnus är också en gasjätte och näst störst i solsystemet. Den har sina ikoniska ringar och flest kända månar med 82 upptäckta hittills. Saturnus är nästan lika stor som Jupiter med en diameter på ca 9 gånger jordens, men mycket lättare med en massa på bara 95 gånger Jordens. Liksom Jupiter består Saturnus mest av väte och helium med små mängder andra ämnen. Saturnus utforskades under åren 2004-2017 av rymdsonden Cassini som hade med sig landaren Huygens som landade på Saturnus största måne Titan.



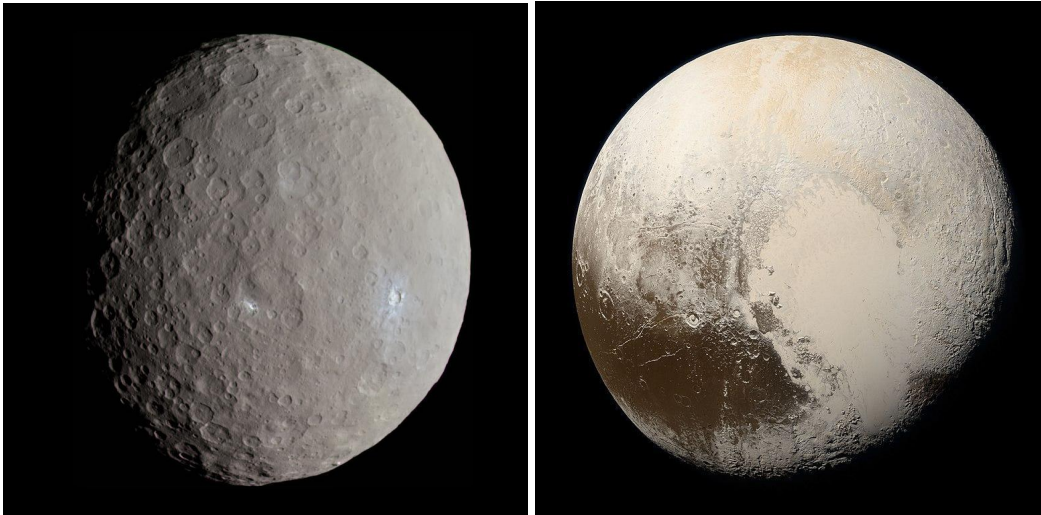
Uranus är den sjunde planeten och den första av de två isjättarna. Uranus är mindre än Jupiter och Saturnus men större än Jorden med en massa på 14,5 gånger Jordens och en diameter på 4 gånger Jordens. Som Jupiter och Saturnus har Uranus ingen fast yta utan en mycket tjock atmosfär som består mest av väte och helium, Uranus har dock mer vatten, ammoniak och metan. Uranus rotationsaxel har den största lutningen av alla planeter, 97,7 grader vilket gör att den ligger på sidan. Uranus är den kallaste planeten med en lägsta uppmätt temperatur på -224 grader C. Uranus har endast besökts av Voyager 2 år 1986.



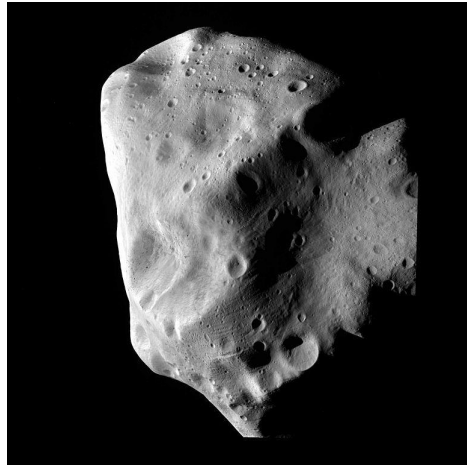
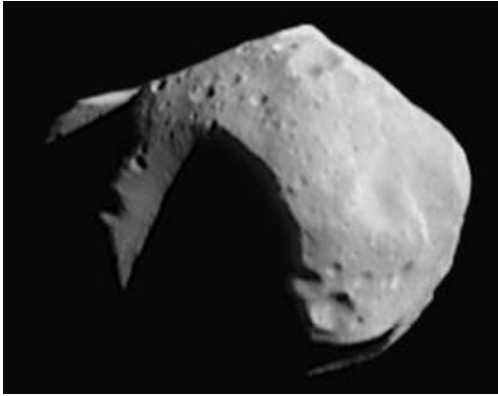
Den åttonde och sista (kända) planeten i solsystemet är Neptunus. Neptunus är en isjätte och är lik Uranus på många sätt, den är lite mer massiv med 17 gånger jordens massa men lite mindre



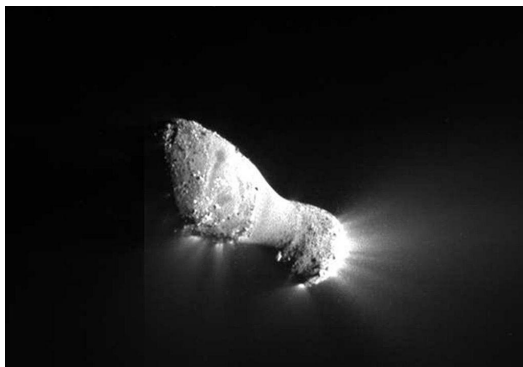
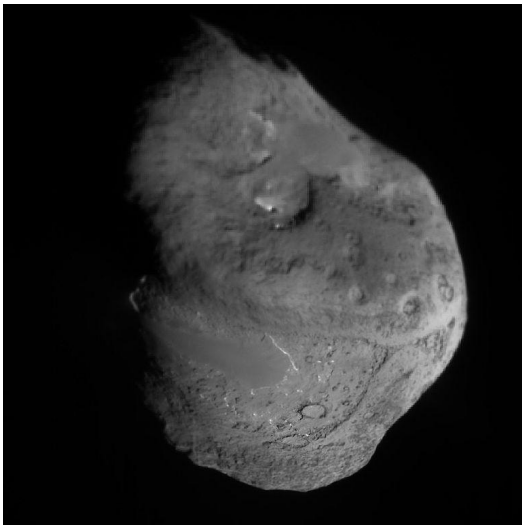
med 3,8 gånger Jordens diameter. Det beror på att den extra massan gör att planeten blir mer komprimerad. Neptunus är upptäcktes genom att studera störningar i Uranus omloppsbana vilka man kunde spåra till en ny planet. Neptunus har de starkaste uppmätta vindarna med hastigheter så höga som 2100 km/h (580 m/s). Liksom Uranus har Neptunus bara blivit besökt av Voyager 2 år 1989.



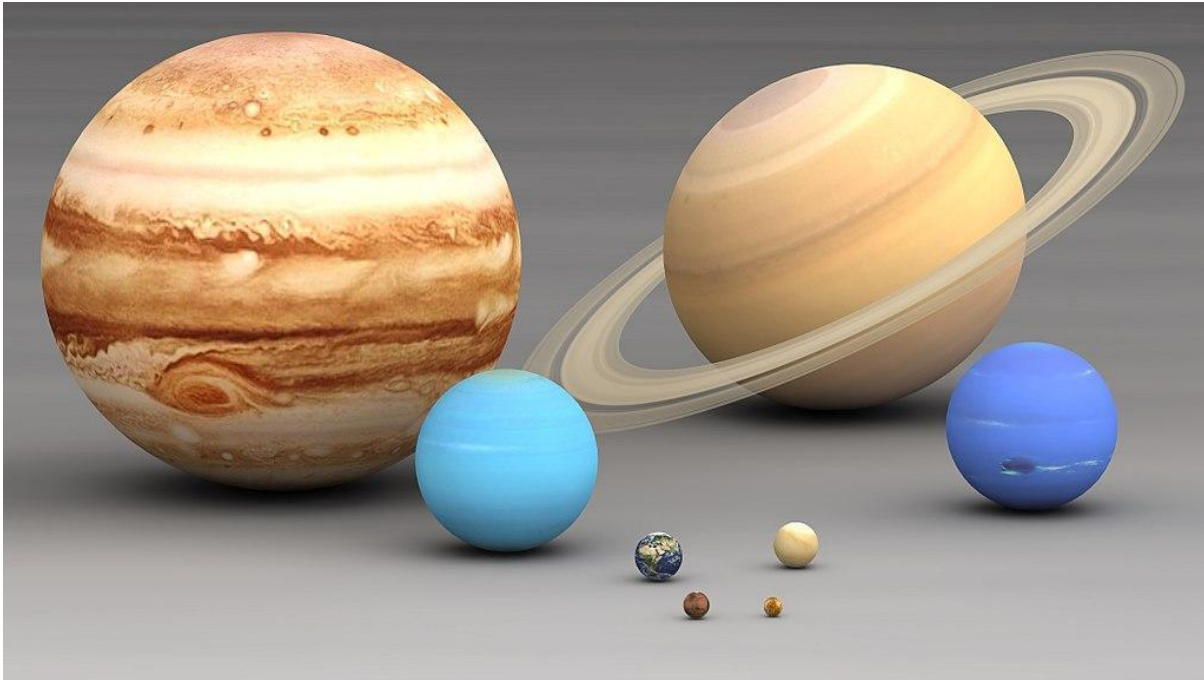
Ceres och Pluto är två goda exempel på dvärgplaneter. Ceres är det största objektet i asteroidbältet mellan Mars och Jupiter och Pluto är ett av de större objekten i Kuiperbältet. Båda räknades som planeter när de upptäcktes men blev omklassificerade när man fick reda på mer om dem. Båda är små med en massa på <math><1\%</math> av Jordens och delar sina omloppsbana med många andra objekt. 2015 anlände rymdsonden Dawn till Ceres där den undersökte dvärgplaneten tills dess bränsle tog slut under 2017. Dawn beräknas vara kvar i omloppsbana runt Ceres tills ca 2040. Pluto besöktes av New Horizons 2015.



Asteroiderna 253 Mathilde, 21 Lutetia, 433 Eros och 243 Ida befinner sig i asteroidbältet. En asteroid är en klump av sten, grus och kanske is. De har väldigt varierande storlek, 21 Lutetia har en ungefärlig diameter på 100 km medans 433 Eros har en snittdiameter på ca 17 km. 243 Ida har en måne som heter Dactyl som har en diameter på 1,4 km. Det finns hundratusentals kända asteroider i asteroidbältet men det finns fortfarande många som inte är upptäckta än. Ett par rymdsonder har besökt asteroidbältet. 21 Lutetia blev besökt av Dawn 2010. Rymdsonden NEAR Shoemaker besökte 253 Mathilde och sedan 433 Eros där den landade och blev kvar. 243 Ida blev besökt av rymdsonden Galileo 1993 på väg till Jupiter.



9P/Tempel, 81P/Wild, 67P/Churyumov–Gerasimenko och 103P/Hartley är exempel på kometer. En komet är en liten kropp som består mest av grus och is. När en komet kommer nära solen värms den upp och börjar släppa ut gaser. Kometer har oftast väldigt avlånga omloppsbanor som för dem ut till de yttre regionerna av solsystemet. Det finns tusentals kända kometer (6619 st 2019) men endast ett fåtal har blivit närmare undersökta. Rymdsonden Stardust besökte både 9P/Tempel och 81P/Wild och före små prover av 81P/Wild tillbaka till Jorden. Rymdsonden Deep Impact besökte kometerna 9P/Tempel och 103P/Hartley. 67P/Churyumov–Gerasimenko blev grundligt undersökt av rymdsonden Rosetta och dess lilla landare Philae.



Detta är en bild på alla planeterna i skala.

Andra planetsystem

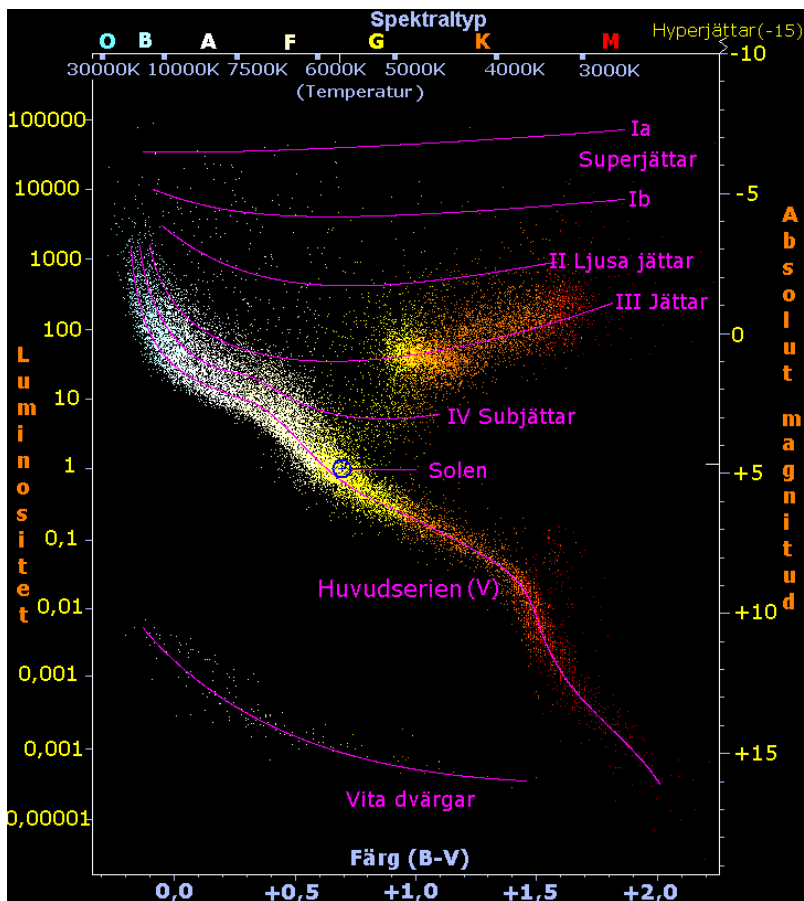
Även andra stjärnor kan ha planetsystem. Sedan början på 90-talet har flera tusen **exoplaneter** upptäckts. Andra solsystem har visat sig kunna vara väldigt annorlunda än vårt eget, med till exempel gasjättar som kretsar väldigt nära sina stjärnor, så kallade "heta-Jupiters", eller solsystem med två stjärnor. Många planeter har upptäckts som är av en storlek som inte finns representerad i solsystemet, nämligen en mittemellan jorden och isjättarna. Dessa planeter kallas ofta "super-jordar" eller "mini-Neptunusar" beroende på om man tror planeten har en fast yta eller inte.

Man har lyckats mäta atmosfärerna hos ett flertal exoplaneter vilket har gjort att man fått veta mer om förhållandena där. Den första planeten vars atmosfär man lyckades mäta heter HD 209458 b och den kretsar kring en stjärna som är lik solen, 159 ljusår bort. HD 209458 b är en gasjätte som kretsar mycket nästa sin stjärna, bara 4,7% av det avstånd som Jorden har till solen eller en åttondel av det avstånd Merkurius har. Detta gör att planeten är mycket varm men en temperatur på ca 1925 grader C. Den intensiva värmen gör att planeten kontinuerligt förlorar väldigt mycket gas ut i rymden, uppskattningsvis 100-500 miljoner ton väte per sekund.

Om stjärnor

Stjärnor är klot av plasma som lyser tack vare att **fusion** pågår i deras inre. Stjärnans gravitation pressar ihop dess inre delar tills dess att temperaturen blir så hög att väteatomer kan slås ihop och bilda helium, vilket i sin tur genererar mer värme. Trycket från värmen inifrån balanserar gravitationen och stjärnan hamnar i jämvikt. Större stjärnor har mer massa och får därför ett högre tryck i kärnan, vilket leder till en häftigare reaktion, som i sin tur gör stjärnan ännu hetare.

En stjärnas färg beror på dess temperatur. Sambandet mellan färg och ljusstyrka kan illustreras i ett **Hertzsprung-Russell-diagram**. I diagrammet ses blåare stjärnor till vänster och rödare stjärnor till höger, på x-axeln. På y-axeln visas ljusstyrka och ju högre upp en stjärna är, desto ljusstarkare är den.



Huvudserien är den krokiga linjen som visas i mitten av diagrammet. Stjärnor befinner sig på huvudserien under större delen av sin livstid medan de bränner väte till helium.



En speciell typ av stjärna är en **Cepheidvariabel**. Det är en stjärna som pulserar och varierar i både radie och temperatur över tid. Perioden är regelbunden och ligger mellan ett par dagar till ett par månader beroende på stjärnans storlek. Orsaken till deras pulserande ligger hos skillnaden i genomskinlighet hos helium som har joniserats olika mycket (antingen en eller två gånger). Dubbeljoniserat helium uppstår vid högre temperaturer och är mindre genomskinligt än enkeljoniserat helium.

I början av cykeln har stjärnan en låg temperatur och stor radie och det mesta av heliumet är enkeljoniserat. Stjärnan komprimeras under sin egen gravitation vilket minskar radien, ökar temperaturen och ökar andelen dubbeljoniserat helium. Med lägre genomskinlighet släpps mindre ljus ut genom stjärnans atmosfär och mer värme hålls kvar. Detta får stjärnan att expandera, vilket i sin tur leder till att stjärnan börjar svalna. En lägre temperatur gör att heliumet går över till att vara enkeljonerat igen, och cykeln börjar om.


En cepheidvariabels period och ljusstyrka hänger ihop på ett sätt som gör att man kan använda cephider till att beräkna avstånd i rymden.

Stjärnors födelse, utveckling och död

Alla stjärnors existens börjar med att ett stort moln av gas börjar kollapsa under sin egen gravitation. Tätare områden utövar en starkare dragningskraft på sin omgivning vilket gör att de drar till sig ännu mer gas. Gasens gravitationella potentiella energi omvandlas till värme. En tät roterande boll av het gas, **en protostjärna**, bildas. Hur mycket massa en protostjärna samlar på sig avgör hur dess fortsatta utveckling kommer att se ut.

En stjärna med låg massa blir **en röd dvärg**. Röda dvärgar är den vanligaste, minsta och mest långlivade typen av stjärna. Alla påståenden om en röd dvärgs senare utveckling och död är helt teoretiska eftersom röda dvärgar lever längre än universums nuvarande ålder och inga direkta observationer kan göras ännu. De bästa modellerna vi har säger att efter flera miljarder år kommer stjärnan att krympa och kollapsa till en **vit dvärg**.

En vit dvärg är en extremt tät sfär av någon typ av icke-fusionerbar materia, ungefär lika stor som jorden men ungefär lika massiv som solen. Vita dvärgar består av degenererad elektrongas. Materia kallas degenererad när den har tillräckligt hög densitet för att det mesta av dess interna tryck ska komma ifrån kvanteffekter istället för makroskopiskt tryck eller värme. Detta betyder att



materien inte kan bli tätare genom att trycket ökar, om det inte ökar tillräckligt mycket för att pressa ihop elektronerna och protoner till neutroner.

En stjärna med medelhög massa, som till exempel solen, lämnar huvudserien när allt väte i kärnan har fusionerat till helium. Då minskar trycket inuti stjärnan p.g.a den minskade temperaturen och stjärnan komprimeras. Detta gör att temperaturen återigen stiger tills dess att väte börjar fusionera i ett skal utanför kärnan. En ny jämvikt uppstår med mycket högre tryck i kärnan och väldigt hög temperatur, vilket får de yttre lagren av gas att expandera och stjärnan blir **en röd jätte**.

Det finns flera typer av röda jättar, vilken typ en stjärna är beror på hur långt i utvecklingen den har kommit. Första steget är att väte börjar fusionera utanför kärnan, som nu endast är helium. Nästa steg är att kärnan börjar fusionera helium till kol och sista steget är att både väte och helium fusionerar utanför kärnan och kol fusionerar till syre i kärnan. De mycket höga temperaturerna i stjärnan ändrar balansen mellan gravitation och internt tryck, vilket får stjärnan att svälla till enorm storlek. Till slut blir stjärnan så pass stor att de yttre lagren blir bortblåsta av stjärnans egna solvind och det som blir kvar är kärnan- **en vit dvärg**.

En massiv stjärna, 8-10 gånger solens massa, är varm nog för att heliumfusion ska kunna börja innan trycket i kärnan blir stort nog för att materien blir elektrondegenererad. Processen i kärnan med att sekventiellt tyngre grundämnen bildas pågår även för dessa kärnor men stannar inte vid syre utan fortsätter tills järn skapas. När grundämnen tyngre än järn bildas frisätts ingen extra energi, så processen stannar där. Eftersom att temperaturen ökar under processen går varje steg fortare än det innan. När en tillräckligt stor mängd av järn har bildats i kärnan, ca 1,5 gånger solens massa, kommer kärnan att kollapsa under trycket utifrån och sin egen gravitation. Detta resulterar i en **supernova**, en av de starkaste explosionerna i universum. Chockvågen som färdas genom stjärnan får atomerna att smälta samma till tunga grundämnen som t.ex. uran. Resterna av kärnan blir en **neutronstjärna** eller ett svart hål.

En neutronstjärna är en sfär av en annan typ av degenererad materia som är ännu mer kompakt än en vit dvärg. En neutronstjärna är 1,4 - 3 gånger så massiv som solen men har en diameter på bara ca 10 km. En neutronstjärna består mest av neutroner som bildas när elektroner och protoner tvingas att sammansmälta. Neutronstjärnor är extrema himlakroppar. Deras temperatur är ofta extremt hög, ca 600.000 grader, gravitationen på ytan är ca 200 miljarder gånger så stark som på jorden och de består av materia som är så tät att en tändsticksask skulle väga ungefär



300 miljarder ton, lika mycket som en kub med 800 m lång sida av jordens yta. Neutronstjärnor sänder ut strålning från sina magnetiska poler. Om dessa poler inte stämmer överens med neutronstjärnans rotationsaxel kommer dessa strålar svepa över himlen. Om en stråle korsar jorden kommer vi se en blinkande ljuskälla, en så kallad **pulsar**. En neutronstjärna kan rotera väldigt fort eftersom kärnans rotationsrörelse bevaras under kollapsen. Den snabbast uppmätta rotationen är 43.000 RPM vilket ger en hastighet för ytan på 0,24 c, dvs ca en fjärdedel av ljusets hastighet.

Om en stjärna är ännu mer massiv kommer kollapsen av kärnan vara ännu våldsammare. Då blir kärnan ett **svart hål**. Ett svart hål är den mest extrema typen av himlakropp som finns. Densiteten av ett svart hål är så stor att gravitationen blir så stark att inga partiklar eller ens ljus kan lämna det. Svarta hål kan växa och bli större om materia faller in i dem. Det sker oftast genom att t.ex. en stjärna kommer nära och rivs sönder av tidvattenkrafterna till ett gasmoln. Det gasmolnet faller sedan in i omloppsbana runt det svarta hålet och bildar en skiva.

Rotationshastigheten på gasen beror på avståndet till det svarta hålet, ju närmare gasen är mitten, ju högre hastighet håller den. De inre regionerna av skivan roterar extremt fort och även om skillnaden mellan gasens hastighet i de inre och yttre delarna är liten, leder skillnaden till friktion, och därigenom, hettas gasen upp. Gasen blir så pass het att den lyser med röntgenstrålar och gammastrålar, vilket är hur vi kan upptäcka svarta hål.

Vintergatan och andra galaxer

Solsystemet befinner sig i galaxen **Vintergatan**. En galax är en samling stjärnor, gas, damm och mörk materia som hålls samman av sin gravitation. Det är svårt att uppskatta antalet stjärnor i Vintergatan och antalet galaxer i det observerbara universum, men våra bästa gissningar är att Vintergatan innehåller mellan 100 och 400 miljarder stjärnor och att det finns mer än 2 biljoner galaxer.

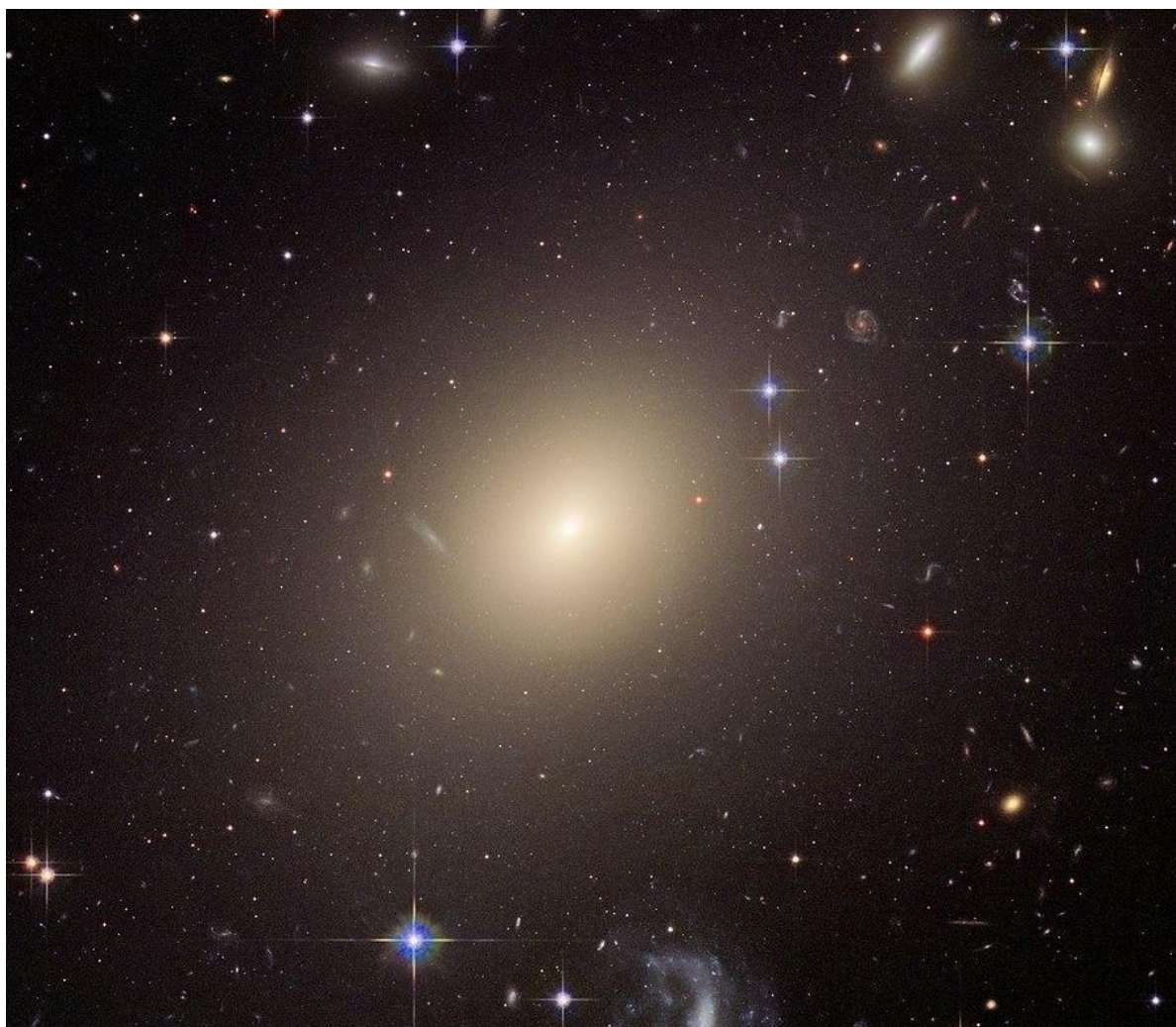
Galaxer klassificeras utifrån deras form. De vanligaste typerna är spiralgalaxer,



stavspiralgalaxer,



elliptiska galaxer



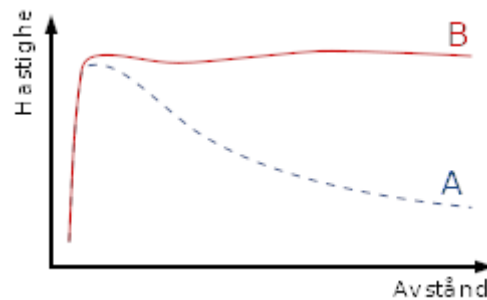
och oregelbundna galaxer.



I spiraler och stavspiraler ligger det mesta av materian i ett plan medans elliptiska galaxer kan vara mer klotformade. Spiralarmarna är områden med tätare gas och mer stjärnor vilket får dem att synas tydligare. Armarna i sig är inte sammanhängande strukturer utan vågor som färdas runt galaxen och innehåller olika stjärnor vid olika tidpunkter. En stavspiralgalax har, förutom spiralarmarna, en stav som går genom kärnan och sedan övergår i spiralarmarna.

Vintergatan är en stavspiralgalax.

Alla stjärnor i en galax kretsar kring ett gemensamt masscentrum. Det gör att man kan förutsäga vilken hastighet en stjärna ska ha beroende på hur långt ut i galaxen den är. Problemet är att resultaten från denna metod inte stämmer överens med observationer, stjärnornas hastigheter är significant mycket högre än väntat. Bilden nedan illustrerar detta. A är den förväntade hastigheten och B är den uppmätta hastigheten. Avståndet syftar på avstånd från galaxens centrum.



Den enklaste slutsatsen man kan dra av detta är att det finns mer materia i galaxen än vi räknade med, materia som av någon anledning inte syns. Denna osynliga materia kallas "**mörk materia**" och exakt vad det är vet vi inte.

Universums födelse, utveckling och död

Ingen vet varken hur eller varför universum började, eller exakt hur det var i det första ögonblicket, men vi har en ganska god förståelse av vad som hände strax efter universums födelse. Precis efter det första ögonblicket var universum extremt tätt och varmt, kärnreaktioner hände spontant hela tiden. Under de första ungefär 10^{-32} (0,00...trettio två nollor totalt...001) sekunderna expanderade universum exponentiellt i en process som kallas **inflation**. Efter inflationen expanderade universum fortfarande men mycket långsammare. Universum var som en het, tät, soppa under lång tid, men konstant avsväljande från en extremt hög temperatur. Allt eftersom temperaturen sjönk kunde stabila elementarpartiklar bildas, och sedan bildades protoner och neutroner och atomkärnor.

Efter 380.000 år hade universum svalnat så mycket att atomer kunde bildas, d.v.s. elektroner kunde bindas till atomkärnor utan att bli direkt joniserade av strålningen som fanns överallt. Det ljus som då fanns i universum blev då för första gången fritt att färdas genom rymden utan att kollidera med joner eller elektroner hela tiden. Det ljuset går fortfarande att se som en bakgrundsstrålning som kommer från alla riktningar på himlen samtidigt. Universums fortsatta expansion har gjort att ljuset nu är mikrovågor, och strålningen kallas den kosmiska



bakgrundsstrålningen. Genom att studera denna strålning kan man se hur det tidiga universum var strukturerat, var det fanns mer materia och var det fanns mindre.

Universum expanderar och den expansionen accelererar. Man har kommit fram till det genom att studera avlägsna supernovor och man fann att de var längre bort än väntat. Vad exakt denna expansion beror på är ett av de största mysterierna i modern fysik. Inom allmän relativitet kan det förklaras med att universum har en energi i vakuumet, denna energi kallas mörk energi eftersom den ännu är okänd och oförklarad.

Beroende på hur mörk energi fungerar finns det tre olika öden för vårt universum. Om mängden mörk energi minskar med tiden kommer gravitationen sakta ner expansionen och vända den tillslut. Det skulle leda till att alla galaxer och annat skulle komma samman igen och bilda en het, tät soppa igen, som när universum började fast baklänges. Om mängden energi är konstant kommer expansionen fortsätta vara exponentiell och allting kommer komma väldigt lång ifrån allt annat. Med tiden kommer stjärnorna dö och inga gasmoln kommer vara täta nog att bilda nya, svarta håll kommer långsamt evaporera och försvinna. Till slut kommer allting vara så utspritt och utjämnat att det inte finns någon energi kvar och inget kan hända. Om mängden mörk energi ökar med tiden kommer universums expansion öka okontrollerat. Expansionen kommer inte bara driva isär galaxerna från varandra utan stjärnsystemen från varandra och splittra galaxerna, sedan kommer avstånden öka så kraftigt att gravitationen inom stjärnsystemen inte kommer kunna hålla ihop dom och planeter kommer skiljas från sina stjärnor. Sedan kommer även själva stjärnorna och planeterna inte kunna hålla ihop sig själva utan splittras, följt av alla mindre kroppar tills inte ens individuella atomer kan hålla ihop sig.

De bästa modellerna vi har för hur universum fungerar pekar på det andra scenariot, att expansionen kommer pågå i en stadig exponentiell takt för alltid. Detta scenario kallas för universums värmedöd eftersom all energi är så jämnt fördelad att det inte finns någon mer värme någon annanstans som man skulle kunna utvinna energi med.