

Mikael Lerner

Populärt om astronomi

Från vår jord till universums utkant
– en guide till spännande himlakroppar
och märkliga rymdfenomen



Onsala
rymdobservatorium

CHALMERS

ONSALA RYMDOBSERVATORIUMS

Populärt om astronomi



Tredje reviderade upplagan

MIKAEL LERNER

Utgiven av:

Onsala rymdobservatorium
439 92 Onsala

första upplagan, oktober 1997
andra reviderade upplagan, oktober 2006
tredje reviderade upplagan, oktober 2012

Onsala rymdobservatorium är Sveriges nationella anläggning för radioastronomi. Observatoriet förser forskare med utrustning för studier av jorden och resten av universum. I Onsala, 45 km söder om Göteborg, drivs två radioteleskop och en station i teleskopnätverket LOFAR. Observatoriet medverkar även i flera internationella projekt. Institutionen för rymd- och geovetenskap på Chalmers tekniska högskola är värd för observatoriet. Verksamheten drivs på uppdrag av Vetenskapsrådet.

Information om observatoriet och dess verksamhet kan du hitta på observatoriets hemsida som har adressen:

<http://www.chalmers.se/rss/oso-sv>

Bilden på omslagets framsida visar en spiral av gas och stoft som upptäckts med teleskopet ALMA runt den röda jättstjärnan R Sculptoris. När stjärnor som liknar solen blir gamla blåser de ut stora mängder material i rymden som sedan återanvänds i nya generationer av stjärnor och planeter. (Bild: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), M. Maercker m.fl.)

Bilden på omslagets baksida visar Onsala rymdobservatoriums 20-meters-teleskop. Teleskopet, en parabolantenn 20 meter tvärsöver, syns som en skugga på insidan av radomen som skyddar det från väder och vind. (Foto: Onsala rymdobservatorium/Chalmers/Jan-Olof Yxell)

Bilden på föregående sida visar radomen som innesluter 20-meters-teleskopet vid Onsala rymdobservatorium. (Foto: Mikael Lerner)

ISBN 978-91-637-0285-3

Tryckservice i Ängelholm AB

Ängelholm, november 2012

Innehållsförteckning

Förord

Förord till tredje reviderade upplagan	i
--	---

Astronomi

Astronomi	1
Astronomiska tider	2
Tid på teleskopet	4
Amatörastronomens roll	5
Astronomiska nobelpris	8
Kommande upptäckter	9

Solsystemet

Solsystemet	11
Solsystemets regioner	14
Solen	15
Planeterna	16
Merkurius	17
Venus	19
Jorden	20
Mars	21
Jupiter	24
Saturnus	25
Uranus	27
Neptunus	29
Asteroiderna	30
Kuiper-bältet	34
Planet X	36
Oorts moln	37
Dvärgplaneter	38
Eris	39
Pluto	42
Makemake	43
Haumea	44
Ceres	45
Kometer	46

Månar	49
Månen	52
Io	53
Europa	54
Titan	55
Enceladus	58
Triton	59
Stjärnfall	61
Solvinden	62
Norrskén	64

Exoplaneter

Exoplaneter	65
Planeter runt andra stjärnor	66
Planetjägartekniker	69
Udda exoplaneter	71
Planeter på ovanliga ställen	73
Exoplanetsystem	74
Liv i rymden	77
Om utomjordingarna ringer	78
UFO:n	79

Stjärnor

Stjärnhimlen	81
Stjärnornas namn	81
Stjärnbilderna	82
Stjärnbilderna	84
Astrologi	85
Zodiaken	86
Vanliga stjärnor	88
Dubbelstjärnor	88
Solen som stjärna	89
De närmaste stjärnorna	90
Magnituder	91
Stjärnhopar	93
Associationer	94
Öppna stjärnhopar	94
Klotformiga stjärnhopar	95
Variabla stjärnor	95
Förmörkelsevariabler	97
Pulserande variabler	97

Eruptiva variabler	98
Stjärnornas utveckling	99
En stjärnas födelse	100
Jättar och dvärgar	102
Bruna dvärgar	103
HR-diagrammet	104
En stjärnas liv	105
En stjärnas död	108
Supernovor	109
Döda stjärnor	110
Vita dvärgar	111
Neutronstjärnor	111
Pulsarer	113
Svarta hål	115

Interstellär gas

Interstellär gas	117
Atomär gas	118
Molekylär gas	118
Koronagas	120
Stoft	121
Gasen runt omkring oss	121
Nebulosor	123
Emissionsnebulosor	123
Supernovarester	124
Planetariska nebulosor	125
Reflektionsnebulosor	125
Mörka nebulosor	126

Galaxer

Galaxen Vintergatan	127
Vintergatans centrum	128
Galaxer i olika former	130
Elliptiska galaxer	130
Skivgalaxer	131
Spiralgalaxer	132
Stavspiralgalaxer	134
Linsformade galaxer	134
Oregelbundna galaxer	135
Galaxernas storlek	137
Mörk materia	137

Spiralmönstren	138
Datorsimuleringar	139
Galaxkrokar	141
Den lokala galaxgruppen	143
Den lokala gruppens utveckling	145
De Magellanska molnen	145
Andromedagalaxen	146
Galaxhopar och galaxgrupper	147
Superhopar	149
Storskaliga strukturer	150

Universum

Big Bang	151
Är Big Bang-teorin korrekt?	152
Bakgrundsstrålningen	155
Universums expansion	156
Rödförskjutning	157
Galaxernas uppkomst	159
Galaxernas utveckling	160
Aktiva galaxer	161
Kvasarer	161
Supertunga svarta hål	162
Gammablixtar	164
Gravitationslinser	165
Universum som tidsmaskin	166
Mörk materia	169
Mörk energi	170
Universums framtid	171
Vad fanns före Big Bang?	173
Vad finns utanför universum?	173
Kan universum ha en begränsad storlek utan att ha någon ytterkant?	174
Finns det antimateria i rymden?	174

Teleskop

Elektromagnetisk strålning	175
Atmosfären	177
Optiska teleskop	178
Radioastronomi	180
Radioteleskop	181
Kosmisk strålning	184

Stora teleskop	185
Observatorier	186
Rymdteleskopet Hubble	186
Rymdteleskopets syskon	189
Rymdsonder	190
Berömda rymdsonder	193
Nya teleskop	194
Framtida rymdprojekt	195

Observationsteknik _____

Fotografering	197
Spektralanalys	198
Polarisation	199
Radarastronomi	201
Avstånd i rymden	202

Svensk astronomi _____

Svensk astronomi	205
Onsala rymdobservatorium	206
Svenska teleskop	209
LOFAR	211
Sverige i rymden	212
Odin	213

Efterord _____

Om att hitta fakta — och undvika nonsens	215
--	-----



Den nya LOFAR-stationen vid Onsala rymdobservatorium som byggdes 2011 med två uppsättningar av antenner. (Källa: Onsala rymdobservatorium, L. Helldner)



25-meterteleskopet vid Onsala rymdobservatorium på natten med månen alldeles bredvid teleskopet. (Källa: M. Lerner)

Förord

Den här boken började som en samling texter som jag tagit fram som underlag till den astronomiutställning som byggdes på Onsala rymdobservatorium 1996–97. Det visade sig vara lättare att från början skriva mer text än vad som egentligen behövdes och sedan skära ner den ordentligt innan den användes i utställningen. Tanken föddes dock att man skulle kunna sätta ihop de kompletta texterna till ett häfte, som skulle kunna säljas till den som blivit intresserad av utställningen och som i lugn och ro vill läsa mer.

Eftersom man inte kan förvänta sig att någon besökare läser alla utställningstexterna i sin helhet, upprepas en hel del information på flera ställen. Jag har inte gjort några försök att göra texten mer ”bokmässig” genom att plocka bort sådana upprepningar eller på annat sätt göra textmassan mer sammanhängande. Fördelen med det är att man kan hoppa lite fram och tillbaka och läsa de ämnen man för tillfället finner intressanta.

Den första upplagan av *Populärt om astronomi* gavs ut i oktober 1997. En andra upplaga gavs ut i oktober 2006. Under åren som förflöt däremellan, producerade den astronomiska forskningen en strid ström av nya upptäckter, och det var därför motiverat att revidera en del av innehållet inför den andra upplagan. I några fall hade nya — och helt oväntade — upptäckter gjort några av texterna hopplöst föråldrade. Dessutom bestämde jag mig för att utöka boken genom att lägga till ett antal nya texter.

När det nu har blivit dags för en tredje upplaga av *Populärt om astronomi* så är situationen likartad. Nya forskningsresultat gör att en del texter behöver skrivas om. Det händer hela tiden nya saker på forskningsfronten och det är naturligtvis kul. Ett exempel är *exoplaneter*, d.v.s. planeter som kretsar runt andra stjärnor än vår egen sol. När den första upplagan skrevs var det bara något år sedan den allra första exoplaneten upptäckts och det var bara en handfull astronomer som ägnade sig åt exoplaneter. Idag är exoplaneterna ett av de viktigaste forskningsområdena inom astronomin. När det här skrivs, känner vi till nästan 850 exoplaneter och listan ökas på med nya upptäckter var och varannan vecka. Det känns därför motiverat att utöka den ursprungliga ensidestexten om exoplaneter, som fanns inklämt i kapitlet om stjärnor, och utveckla den till ett helt eget, nytt kapitel.

Bara dagarna innan den här upplagan skulle gå i tryck, kom en ny upptäckt som behövde klämmas in: en grupp astronomer har hittat en planet runt *alfa Centauri*, vår närmaste stjärngranne i rymden. *alfa Centauri* är en av de ljusaste stjärnorna på himlen, men tyvärr kan vi inte se den från Sveriges horisont. Egentligen är det inte en utan tre stjärnor som kretsar runt varandra. Två av dem är ungefär lika stora som solen medan den tredje stjärnan, *Proxima Centauri*, är en liten dvärgstjärna som ligger 0,2 ljusår bort från de två andra (och närmare oss). Den nyupptäckta planeten, som fått det föga poetiska namnet *alfa Centauri Bb* är lite större än jorden och kretsar runt en av de två solliknande stjärnorna. Det betyder dock inte att det är dags att packa

rymddräkten och hoppa in i en raket — för det första skulle det ta så där 50 000 år att åka dit med dagens teknologi, och för det andra befinner sig den här planeten så nära sin stjärna att den inte utgör något lockande turistmål. Avståndet är nämligen bara $\frac{1}{25}$ av avståndet mellan jorden och solen, vilket betyder att *alfa Centauri Bb* rusar runt sin stjärna på bara 3,2 dagar, och att den glödheta ytan därför håller en temperatur runt 1 200°C, så det är ganska uteslutet att det skulle kunna finnas någon form av liv där. Att hitta en exoplanet så nära oss är naturligtvis jätteintressant. Vad kommer vi att lära oss om den när fler och större teleskop riktas mot *alfa Centauri*? Det ska bli spännande att se. Och vem vet om det finns fler planeter runt *alfa Centauri* som fortfarande väntar på att bli upptäckta?

Totalt innehåller den här upplagan förutom ett antal revisioner också några nya tabeller och 16 nya texter. Den största nyheten i denna tredje upplaga är dock att den nu också innehåller bilder. De båda tidigare upplagorna har ju varit rena textäventyr, så det är extra roligt att inte längre bara prata om, utan nu också kunna visa en del av de många fascinerande och häpnadsväckande vyer som astronomin erbjuder oss. Jag hoppas att det blir ett uppskattat nytillskott. Min förhoppning är att du som läsare ska kunna hitta något som du tycker är fascinerande och spännande i denna bok.

Onsala rymdobservatorium, 21 oktober 2012

MIKAEL LERNER

Astronom



En del av Onsala rymdobservatorium sett från luften med 20-meterteleskopet (inne i den vita bollen) och kontorsbyggnader i förgrunden och den nya LOFAR-stationen på ett fält i bakgrunden. (Källa: Onsala rymdobservatorium/Väst kustflyg)

ASTRONOMI

Astronomi — världens äldsta vetenskap

Så länge människan har funnits på jorden har hon blickat upp mot natthimlen och funderat över dess mysterier. Redan för många tusen år sedan kunde dåtidens astronomer förutsäga planeternas rörelser samt sol- och månförmörkelser med god noggrannhet.

Nästan alla kulturer genom historien har ägnat sig åt astronomi i en eller annan form. För ett jordbrukssamhälle är det nödvändigt att ha en pålitlig kalender, så att man vet när det är dags att så och skörda. Därför studerade man noga solens, månens och planeternas rörelser. Dessutom antecknade man också ovanliga händelser som inträffade på himlen som t.ex. uppdykandet av kometer och supernovor samt sol- och månförmörkelser.

Redan de gamla grekerna lyckades ställa upp avancerade matematiska modeller som kunde förutsäga planeternas rörelser och kommande förmörkelser. Det betydde dock inte att de förstod hur solsystemet var uppbyggt. Tvärtom levde grekerna (med några få undantag) i tron att jorden var solsystemets centrum, men genom mycket tankearbete lyckades de pussla ihop en modell som trots detta gav resultat som hyfsat stämde överens med verkligheten.

En bättre förståelse för vad planeterna egentligen är för något kom inte förrän teleskopet började användas i början av 1600-talet (*Galileo Galilei*), och en riktig bild av hur solsystemet är uppbyggt och fungerar kom ungefär samtidigt genom en ny modell för planeternas rörelser (*Johannes Kepler*) och upptäckten av gravitationskraften (*Isaac Newton*).

Ett mer seriöst studerande av stjärnor och gas kom under 1700- och 1800-talen, men den verkliga förståelsen av stjärnornas och gasens livscyklar kom först långt in på 1900-talet. Förekomsten av andra galaxer och ett helt universum utanför vår egen

galax, Vintergatan, fastslogs inte förrän på 1920-talet. Utvecklandet av kosmologin som omfattar studiet av universums uppkomst och utveckling började 1929 (*Edwin Hubble*) med upptäckten att universum expanderar och tog ett stort steg framåt i slutet av 1990-talet med upptäckten av den än så länge oförklarade mörka energin som gör att universums expansionstakt ökar.

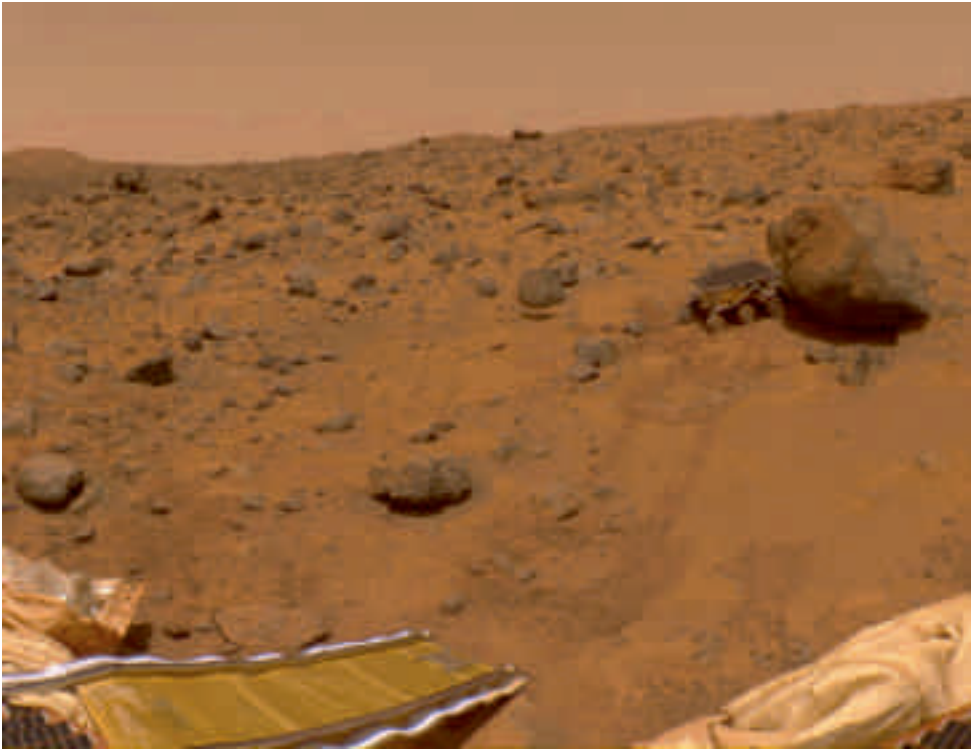
Sättet att studera rymden har också genomgått stora förändringar. Den första stora revolutionen kom 1609 när teleskopet uppfanns. Nästa stora steg var uppfinandet av fotograferingstekniken i mitten på 1850-talet, som totalt förändrade astronomernas möjlighet att observera ljussvaga himlakroppar. På 1940-talet utvecklades radioastronomin vilket öppnade upp ett helt nytt fönster mot universum. Rymdålderns början gjorde det möjligt att skicka upp teleskop i rymden som kunde öppna en hel rad nya fönster under 1960- och 70-talet: möjligheten att använda infraröd, ultraviolett, röntgen- och gammastrålning. Rymdåldern har också gjort det möjligt att skicka rymdsonder med kameror och mätinstrument till andra himlakroppar i vårt solsystem för att utforska dem på ort och ställe.

Fantastiska fakta:

Medan de flesta människorna i antikens Grekland trodde att jorden var platt, kom en del filosofer fram till att jorden måste vara rund. En av dem, Eratosthenes, kom till och med på ett smart sätt att mäta jordens storlek.

Astronomiska tider — stjärntid och soltid

*För astronomerna är det viktigt att veta vad klockan är och det räcker inte bara att veta vad tiden är i **ett** tidssystem. En astronom behöver veta både vad **soltiden** och vad **stjärntiden** är. Hur lång tid tar det för jorden att vrida sig ett varv runt sin egen axel? Det är inte 24 timmar som man skulle kunna tro ...*



Ovan: Den lilla Mars-bilen Sojourner har kört fram till stenbumlingen Yogi för att undersöka vad den består av. Bilden är tagen av Sojourners moderfarkost Mars Pathfinder i juli 1997. Rampen (gul) som leder ned från moderfarkosten och ett par av landningskuddarna (ljusorange) syns i nederdelen av bilden, liksom de allra första hjulspåren på en annan planet. (Källa: NASA)

Höger: En modell av det teleskop som William Herschel använde när han 1781 upptäckte planeten Uranus. Teleskopet är drygt 2 meter långt och huvudspegeln nere i botten på teleskopet har diametern 15 cm. Man tittar genom den lilla stump mässingsrör som sticker ut från sidan av teleskopet i den övre änden. (Källa: Mike Young)



En viktig uppgift för astronomin har varit att upprätta kalendrar och skapa ett system för tideräkning. Flera av våra viktigaste tidsenheter har direkta astronomiska kopplingar: dygnet är jordens rotationstid, månaden är (ungefärligen) månens omloppstid runt jorden och året är jordens omloppstid runt solen.

Ett problem som har plågat alla kulturer är det faktum att de olika tidsintervallen inte har en enkel relation till varandra; det går inte ett exakt antal hela dygn på ett år och det går inte heller ett exakt antal hela månader på ett år. Olika kulturer har handskats med de här problemen på olika sätt. I vår västerländska kultur har vi valt att göra månaderna längre än vad de egentligen skulle vara så att vi kan dela upp året i 12 månader. Vi har också valt att göra året lite kortare än det egentligen är. För att kompensera för det lägger vi till en extra skottdag vart fjärde år.

En astronom behöver veta både vad *soltiden* och vad *stjärntiden* är. Stjärntiden är tiden räknad efter hur stjärnorna rör sig på himlen, d.v.s. den representerar jordens rotationstid. Jorden vrider sig ett varv runt sin egen axel på 23 timmar och 56 minuter, och inte på 24 timmar som man skulle kunna tro. Varför är dygnet längre än jordens verkliga rotationstid? Det beror på att vi räknar dygnet efter var solen befinner sig och inte efter stjärnorna. Eftersom jorden kretsar runt solen flyttar sig solen en bit på himlen varje dag. När jorden har vridit sig ett varv runt sin egen axel måste man vänta 4 minuter till innan solen är tillbaka i samma position på himlen. Den tid som vi till vardags använder är därför soltiden, men eftersom de flesta astronomer inte studerar solen utan andra himlakroppar måste de också känna till stjärntiden. Ett stjärntidsdygn består av 24 stjärntidstimmar, vilket betyder att stjärntidstimmarerna är lite kortare än soltidstimmarerna.

Jordens rotationstid är inte helt konstant utan varierar lite grand på ett oförutsägbart sätt. Avvikelsen är inte stor men med några års mellanrum brukar skillnaden mellan tiden mätt utifrån jordens rotation och tiden mätt med atomklockor närma sig en sekund. Man lägger då till en skottsekund till atomklockornas tid för att få dem att stämma överens med jorden igen.

Tid på teleskopet —

vems tur är det att observera?

Som astronom är det inte bara att säga ”Ikväll vill jag ha teleskopet”. De flesta stora observatorier har ett ansökningssystem för att bedöma vem som ska få använda teleskopet. Astronomerna får skicka in ansökningar där de beskriver

vad de vill göra och de astronomer som skickat in de intressantaste ansökningarna ”vinner”.

Det kan ta lång tid för en astronom att komma till ett teleskop. Först måste astronomen skriva en ansökan som beskriver vad han eller hon vill observera och som förklarar varför de planerade observationerna är viktiga för att föra astronomin framåt. Sådana ansökningar behandlas normalt vid ett par, tre tillfällen per år. En expertgrupp går då igenom alla inkomna ansökningar och betygsätter dem. Ansökningarna med de högsta betygen ”vinner” och dessa observationer schemaläggs för de kommande månaderna. Från det att en astronom får en idé till dess att han eller hon kan sätta sig vid teleskopet för att observera tar det oftast ett antal månader och ibland uppemot ett år.

Ett problem med det här systemet uppstår när man vill observera någonting som man inte kan förutse månader i förväg, t.ex. om en supernova exploderar eller om en ny komet dyker upp på himlen. I sådana speciella lägen kan en astronom begära förtur till teleskopen. Om begäran godkänns får de astronomer som väntat flera månader på sin tur och som egentligen skulle använt teleskopen vackert vänta vidare.

Det finns också teleskop som är specialbyggda för vissa forskningsprojekt och som enbart används till dessa. Ett exempel är teleskop som varje natt används för att leta efter asteroider som kommer nära jorden.

Amatörastronomens roll —

kan jag hjälpa till med något?

Inom många vetenskaper krävs det att man har studerat vid ett universitet i många år innan man själv kan börja forska. Så är det inte inom astronomin. Vem som helst som är intresserad kan bli en amatörforskare som hjälper till att avslöja universums mysterier.

Det finns forskningsprojekt som varken kräver några djupare astronomiska kunskaper eller några dyrbara instrument, men som ändå hjälper till att driva forskningen

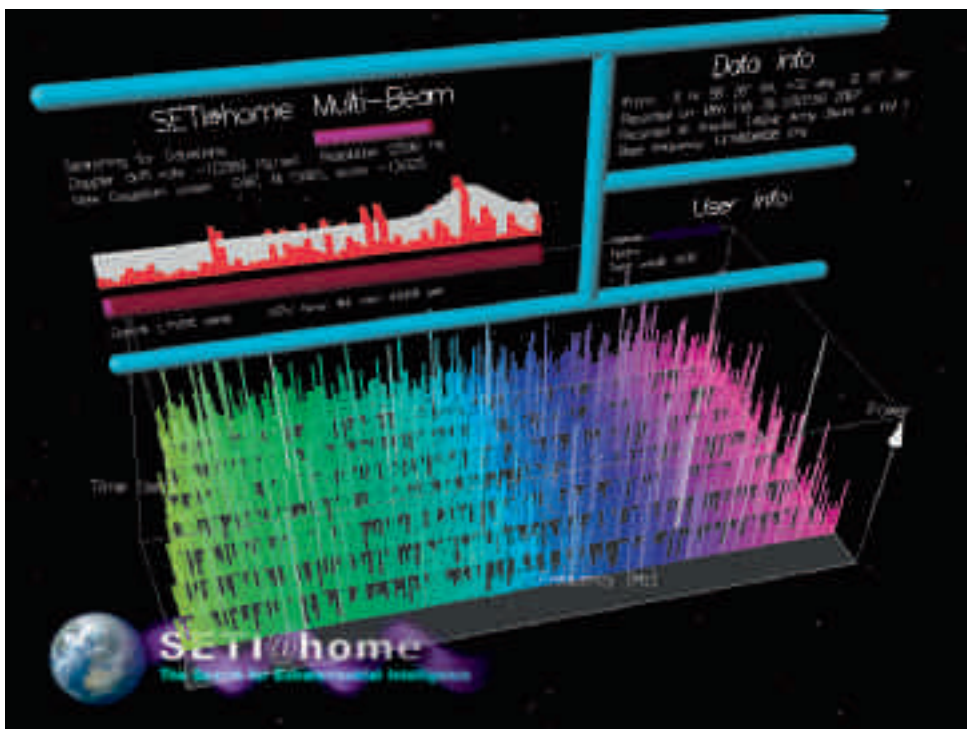
framåt. Ett sådant projekt är att räkna meteoror när jorden passerar genom meteor-svärmar. Allt man behöver veta är hur man ska räkna och hur man sedan ska skriva en räknerapport så att forskarna kan använda sig av den för att analysera hur meteor-svärmarna varierar med tiden.

Amatörer som har tillgång till teleskop kan mäta hur ljusstyrkan varierar hos variabla stjärnor. Det finns många stjärnor vars ljusstyrka varierar på ett oregelbundet och oförutsägbart sätt. Professionella astronomer har inte tid och resurser att följa alla dessa stjärnor utan behöver hjälp från amatörer som vill hjälpa till.

Ett område som traditionellt har dominerats av amatörastronomer är att upptäcka saker som plötsligt dyker upp på himlen, t.ex. novor, supernovor och nya kometer. Professionella astronomer har inte haft möjlighet att ständigt bevaka himlen ifall det skulle råka dyka upp något nytt intressant fenomen. Många kometer har exempelvis upptäckts av amatörastronomer som regelbundet gått ut och tittat efter om det dykt upp något nytt på himlavalvet. Sedan slutet av 90-talet har dock automatiska robotteleskop som styrs av datorer som direkt slår larm om något händer börjat konkurrera med amatörastronomerna.

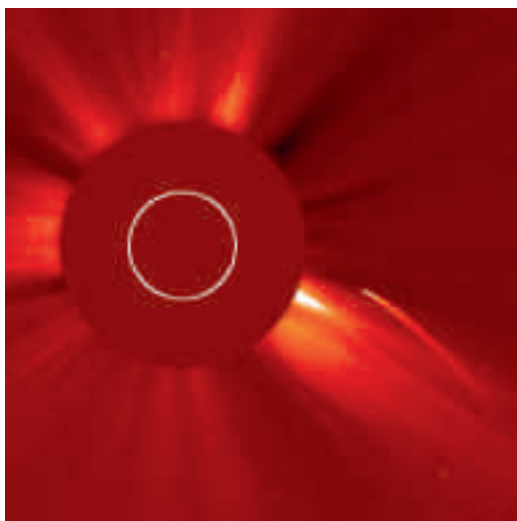
Det finns också forskningsprojekt för den som hellre sitter vid datorn än går ut under natthimlen. Det handlar ofta om projekt där stora mängder data från teleskop eller rymdsonder behöver analyseras. Åtskilliga kometer har t.ex. hittats av amatörer som sitter och granskar bilder tagna av rymdteleskopet SOHO. Det finns också projekt där allmänheten kan hjälpa till att räkna kratrar på månen, klassificera galaxer och leta efter planeter runt andra stjärnor.

För den som inte själv vill anstränga sig utan hellre låter sin dator göra jobbet finns det också forskninguppgifter. "SETI@home" är ett projekt som letar efter radio-signaler från utomjordingar. Så stora mängder data samlas in från världens största radioteleskop, Arecibo-teleskopet, att projektets forskare själva inte klarar av att analysera alla data. Därför har de tagit hjälp av allmänheten. Runt hela jorden har miljoner människor installerat projektets skärmläckare på sina datorer. Medan skärmläckaren ritar upp något som mest liknar färgglad abstrakt konst på skärmen, är datorn i själva verket fullt sysselsatt med att analysera radiostrålning från rymden.



När du inte använder din dator, kan skärmläckaren SETI@home ta över och analysera observationer från Arecibo-teleskopet, världens största radioteleskop, på jakt efter signaler från utomjordingar. (Källa: SETI@home)

En komet (den böjda linjen till höger) kommer för nära solen i juli 2011. Bilder från solteleskopet SOHO läggs ut direkt på internet, och vem som helst kan hjälpa till och upptäcka nya kometer. Hitills har man med SOHOs hjälp hittat mer än 2000 kometer. De allra flesta kometerna är dock inte alls så stora och iögonfallande som denna komet. Den mörkröda skivan blockerar det starka ljuset från solen (vit cirkel) så att teleskopet kan studera solens yttre atmosfär (de ljusa och mörka fälten som strålar ut från cirkeln). (Källa: SOHO, ESA, NASA)



Astronomiska nobelpris —

till framstående astronomer

Det finns visserligen inget nobelpris i astronomi, men eftersom astronomin är en gren av fysiken, så har det ändå delats ut ett antal nobelpris för astronomiska upptäckter. Hittills har 18 personer fått nobelpriset för astronomiska arbeten.

För att vara en av många grenar inom fysiken har astronomin lyckats väl när det gäller att vinna nobelpriset. Sedan 1960-talet har astronomer och astrofysiker lyckats knipa åtminstone ett nobelpris per decennium. Flera av prisen har delats ut för viktiga upptäckter som den kosmiska bakgrundsstrålningen och pulsarerna, medan andra pris har delats ut ”för lång och trogen tjänst” till astronomer som arbetat hårt för att utveckla nya grenar av astronomin.

Nedan följer en lista på alla ”astronomiska” nobelpris som hittills delats ut. Ett viktigt namn saknas på listan: Jocelyn Bell, som var student hos Antony Hewish. Hon var den person som egentligen upptäckte den första pulsaren. När hon visade sin upptäckt för sin handledare avfärdade han först hennes arbete, men sedan tog han åt sig hela äran. Många astronomer anser därför att Jocelyn Bell borde ha fått nobelpriset istället för Antony Hewish.

Victor Franz Hess	1936	för upptäckten av den kosmiska strålningen
Hans Albrecht Bethe	1967	för studier av energiproduktionen i stjärnor
Sir Martin Ryle	1974	för utvecklandet av radioastronomiska observations-tekniker
Antony Hewish	1974	för upptäckten av pulsarerna
Arno Penzias	1978	för upptäckten av den kosmiska bakgrundsstrålningen
Robert Wilson	1978	för upptäckten av den kosmiska bakgrundsstrålningen
Subrahmanyan Chan-drasekhar	1983	för studier av stjärnornas uppbyggnad och utveckling
William Alfred Fowler	1983	för studier av hur grundämnen har skapats i universum
Russell Hulse	1993	för upptäckten av den första dubbelpulsaren
Joseph Taylor Jr.	1993	för upptäckten av den första dubbelpulsaren
Riccardo Giacconi	2002	för utvecklandet av röntgenstrålningsastronomi
Raymond Davis Jr.	2002	för upptäckten av neutrinostrålning från rymden
Masatoshi Koshiba	2002	för upptäckten av neutrinostrålning från rymden

John Mather	2006	för upptäckten av den kosmiska bakgrundsstrålningens svartkroppsform och anisotropi
George Smoot	2006	för upptäckten av den kosmiska bakgrundsstrålningens svartkroppsform och anisotropi
Saul Perlmutter	2011	för upptäckten av universums accelererande expansion
Brian Schmidt	2011	för upptäckten av universums accelererande expansion
Adam Riess	2011	för upptäckten av universums accelererande expansion

Kommande upptäckter —

en titt i astronomernas kristallkula

Vilka upptäckter kommer vi att ha gjort om 10 år? Att sia om framtiden är naturligtvis vanskligt, men inom vissa forskningsfält finns det upptäckter som vi kan förvänta oss därför att astronomer arbetar målmedvetet för att kunna göra dem. Men som alltid är fallet med all forskning: de viktigaste upptäckterna kommer att vara de som ingen förväntar sig!

Vi kommer att ha upptäckt många fler planeter runt andra stjärnor; också små stenplaneter av jordens storlek. Dagens observationstekniker gör det bara möjligt att upptäcka planetsystem som är väldigt annorlunda än vårt eget. När vi kan upptäcka också små planeter kommer vi att kunna besvara en viktig fråga: är vårt solsystem ett unikum eller en alldeles vanlig dussinvara? En besläktad fråga är: finns det fler jordklot, d.v.s. planeter som skulle kunna hysa jordliknande liv där ute?

Ett annat viktigt forskningsområde är att försöka förstå hur de första stjärnorna och de första galaxerna bildades. Flera av de nya teleskop som planeras kommer att ägna mycket tid åt att försöka lösa dessa problem och avslöja mer om vad som hände i universums barndom.

Kanske har vi lyckats lösa några av mysterierna kring universums viktigaste beståndsdelar: den mörka materian och den mörka energin. Den som kan avslöja vad de är för något är en god kandidat för ett nobelpris.

Det är också möjligt att ett nytt fönster mot universum kan ha öppnats: gravitationsvågor. Gravitationsvågor kan beskrivas som ett slags störningar av själva rymdens form. Ingen har hittills lyckats detektera en gravitationsvåg, men vi vet att de måste

finnas. Supernovor och kompakta kolliderande objekt som neutronstjärnor och svarta hål sänder ut gravitationsvågor. Det kan också tänkas att vi kan lära oss mer om universums skapelse om vi kan detektera gravitationsvågor som härstammar från universums skapelse.

En sak som vi kan vara säkra på är att det också kommer att göras upptäckter som är helt oväntade. Några av dem kommer säkert att vara väldigt betydelsefulla; kanske till och med så betydelsefulla att de kommer att förändra vår syn på universum.



ALMA är ett gigantiskt internationellt projekt där man ska bygga 66 teleskop för mikrovågs-astronomi på över 5 000 meters höjd i de chilenska Anderna. De första observationerna med en del av teleskopen kom igång hösten 2011. ALMA kommer fullt utbyggt att bli 10 gånger bättre än något idag existerande teleskop för mikrovågor och förväntas leda till många nya upptäckter. Sverige deltar aktivt i det här projektet och forskare vid Chalmers tekniska högskola har fått det prestigefulla uppdraget att leda bygget av en uppsättning specialdesignade radiomottagare som ska sitta i alla de 66 teleskopen. (Källa: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), W. Garnier (ALMA))

SOLSYSTEMET

Solsystemet — astronomisk hembygdskunskap

*Jorden kretsar tillsammans med sju andra planeter runt vår närmaste stjärna: solen. Planeterna har sällskap av fem stycken dvärgplaneter samt ett otal antal småplaneter, isdvärgar, kometer och rymdgrus. Tillsammans utgör alla dessa himlakroppar det vi kallar **solsystemet**.*

Ända fram till 1600-talet hade människan trott att jorden utgjorde solsystemets och universums medelpunkt. Nicolaus Copernicus publicerade visserligen 1543 en *heliocentrisk* världsbild med solen i centrum och jorden kretsande runt solen tillsammans med de andra planeterna, men denna världsbild slog inte igenom på allvar förrän ett sekel senare. Copernicus antog att planeterna kretsade i perfekta cirklar. Att planetbanorna i själva verket är ellipser upptäcktes av Johannes Kepler 1609.

Sedan antiken kände man till planeterna Merkurius, Venus, Mars, Jupiter och Saturnus. Man visste också att det finns kometer, även om man inte förstod att de också tillhör solsystemet. Den första nya planet som upptäcktes var Uranus som hittades 1781. Nästa viktiga upptäckt kom 1801 i och med att Ceres, den första asteroiden, hittades. Redan året därpå upptäcktes den andra asteroiden, Pallas, och i mitten av 1800-talet insåg man att det finns ett bälte av asteroider mellan Mars och Jupiter. Solsystemet fortsatte att "växa" i storlek när Neptunus upptäcktes 1846 och Pluto 1930. 1992 upptäcktes 1992QB₁ utanför Pluto och ganska snart visade det sig att Pluto och 1992QB₁ tillhör ett yttre asteroidbälte som nu kallas Kuiper-bältet och som består av isdvärgar.

2006 beslutade världens astronomer att införa en ny kategori himlakroppar kallad *dvärgplaneter*. Ceres, Pluto och tre av de största isdvärgarna i solsystemets utkant är de första fem dvärgplaneterna, men man räknar med att många fler isdvärgar kommer att klassas som dvärgplaneter när vi väl har lärt oss mer om dem.

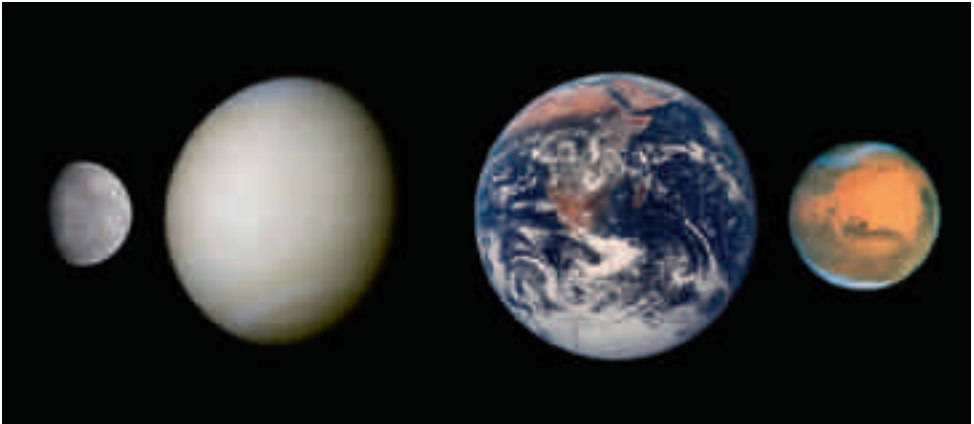
Solsystemet innehåller också stora mängder sand, grus och stenar. När ett sandkorn kommer in i jordens atmosfär brinner det upp. Vi ser det som ett stjärnfall. Större stenar kan nå marken och kallas för meteoriter.

Solsystemets innevånare:

- **Planeter:** stora himlakroppar som kretsar kring solen.
- **Dvärgplaneter:** miniplaneter som kretsar runt solen i samma område som liknande himlakroppar.
- **Asteroider (eller småplaneter):** miljontals stenbumlingar från 1 000 kilometers storlek ner till meterstora klippblock. Den största asteroiden Ceres räknas också som en dvärgplanet.
- **Kuiper-bältobjekt (eller isdvärgar):** miljontals is- och stenbumlingar från 2 500 kilometers storlek ner till meterstora is- och stenblock. De fyra största isdvärgarna Eris, Pluto, Makemake och Haumea klassas också som dvärgplaneter.
- **Månar:** himlakroppar av sten eller av sten och is som kretsar runt en planet, dvärgplanet, asteroid eller isdvärg.
- **Kometer:** smutsiga ”snöbollar” som får enorma lysande svansar när solen förångar en del av snön.
- **Interplanetariskt grus:** rester av asteroider och kometer som ger upphov till stjärnfall.
- **Solvinden:** ett utflöde från solen av het men mycket tunn gas, s.k. *plasma*, som bland annat ger upphov till norrsken.

Fantastiska fakta:

Att planeten Saturnus var solsystemets yttersta utpost hade man trott ända sedan förhistorisk tid, men 1781 upptäckte William Herschel Uranus. Upptäckten kom som en chock för samtidens människor. Plötsligt hade vårt solsystem blivit dubbelt så stort!



Den här bilden visar en storleksjämförelse mellan de fyra jordlika planeterna: Merkurius, Venus, jorden och Mars. Man kan aldrig se ytan på Venus, eftersom planeten alltid är insvept i ett tjockt molntäcke. På en typisk bild av jorden tagen från rymden ser man hälften av ytan medan den andra halvan täcks av moln. Den tunna atmosfären på Mars är ofta genomskinlig, men ibland täcks Mars av sandstormar eller, som på den här bilden, av tunna molnslöjor (de vita banden vid polerna). (Källa: NASA)



Solsystemets åtta planeter plus dvärgplaneten Pluto visas här dels i en storleksjämförelse (överst), dels i sina banor (nederst). I tur och ordning kommer Merkurius, Venus, jorden, Mars, asteroidbältet, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus och dvärgplaneten Pluto. Notera att planeternas storlek är kraftigt överdriven i bilden med banorna — i själva verket borde de vara så små att man skulle behöva ett mikroskop för att se dem! (Källa: NASA/JPL)

Solsystemets regioner —

en orienteringstavla

Det är skillnad på himlakroppar beroende på avståndet till solen. Himlakroppar nära solen består enbart av sten medan himlakroppar längre ut är uppbyggda av en blandning av is och sten. Stora och små himlakroppar kan inte heller i längden samsas i samma område, och solsystemet består därför av olika regioner.

Planeterna kretsar inte runt solen hur som helst. Solsystemet föddes ur en skiva av gas och stoft som snurrade runt den nyfödda solen. Alla planeter och asteroiderna i asteroidbältet kretsar därför runt solen i samma riktning och i ungefär samma plan. Det plan som jorden rör sig i kallas för *ekliptikan*. Isdvärgarna i *Kuiper-bältet* längre ut från solen kretsar också i samma riktning men de är mer utspridda och avviker mer från ekliptikan.

Oorts moln som omger hela solsystemet är däremot inte lika hårt bundet till något plan, utan dess innevanare kan kretsa runt solen i alla möjliga riktningar. Oorts moln är därför inte skivformat utan mer sfäriskt. Eftersom de flesta kometer som dyker upp i de inre delarna av solsystemet ursprungligen kommer från Oorts moln är de inte heller bundna till ekliptikan.

Solsystemets regioner:

- **Solen:** Solen befinner sig i vårt solsystems mitt.
- **De jordlika planeterna:** De jordlika planeterna Merkurius, Venus, jorden och Mars kretsar närmast solen.
- **Asteroidbältet:** Mellan de jordlika planeterna och jätteplaneterna ligger den region som kallas asteroidbältet och som befolkas av miljontals stenklumpar och småplaneter. De flesta asteroider håller till i asteroidbältet, men man kan hitta asteroider överallt i solsystemet. Den största asteroiden Ceres räknas också som en dvärgplanet.
- **Jätteplaneterna:** Utanför asteroidbältet kretsar jätteplaneterna Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus.

- **Kuiper-bältet:** Utanför jätteplaneterna ligger ett vidsträckt yttre asteroidbälte som kallas för Kuiper-bältet. Asteroiderna i Kuiper-bältet kallas för isdvärgar eftersom de består både av is och sten. Pluto är en av de största isdvärgarna och räknas liksom tre andra stora isdvärgar som dvärgplaneter.
- **Oorts moln:** Långt bortom Kuiper-bältet finns ett enormt moln av små isdvärgar och sovande kometer. Det kallas Oorts moln och omsluter hela solsystemet.
- **Kometerna:** Kometer kretsar normalt i extremt avlånga banor tvärs igenom solsystemet. De kommer ursprungligen från Oorts moln eller i vissa fall från Kuiper-bältet.

Solen —

vår närmaste stjärna

Solen är den centrala himlakroppen i solsystemet som ger ljus och värme. Den får all energi från kärnreaktioner som pågår djupt i dess inre.

Solen är en stjärna som alla andra; en bland flera hundra miljarder i vår egen galax, Vintergatan. Den enda skillnaden är att den är så väldigt mycket närmare oss än alla andra stjärnor.

Solen är ett stort gasklot som består av ungefär $\frac{3}{4}$ väte och $\frac{1}{4}$ helium. Den är stor nog att rymma mer än en miljon jordklot. Om man tar den sammanlagda massan av alla planeter, månar, asteroider och kometer i solsystemet, väger solen ändå mer än 500 gånger så mycket.

Solen får all sin energi från kärnreaktioner som omvandlar väte till helium. Man kan alltså se solen som en stor kärnreaktor, fast inte av den typen vi har på jorden, där vi klyver uran och andra tunga atomkärnor, s.k. *fission*. Solen använder en annan typ av kärnreaktioner där lätta atomkärnor istället slås samman till tyngre, s.k. *fusion*. Den typen av kärnreaktioner ger 1 000 gånger mer energi än vid klyvning av uran, men hittills har vi inte lyckats få den att fungera på jorden annat än i vätebomber.

Temperaturen på solens yta ligger runt $5\,800^{\circ}\text{C}$, men djupt nere i dess inre där kärnreaktionerna pågår är det cirka 15 miljoner grader varmt. Temperaturen är också hög i solens atmosfär som kallas för *koronan*. Gasen i koronan är tunn men temperaturen uppgår till flera miljoner grader.

Ibland finns det grupper av mörka fläckar på solens yta. De kallas för *solfläckar* och är områden som är ungefär 1 500 grader svalare än resten av ytan. Därför strålar

de inte ut lika mycket solljus, och vi tycker att de ser mörka ut. Solfläckarna ökar och minskar i antal under en 11 år lång period.

Man får aldrig titta rakt mot solen!!! Det kan skada ögonen för resten av livet! Vill man studera solen ska man istället projicera bilden på en skärm!

Solen och resten av solsystemet bildades för knappt 4,6 miljarder år sedan, och solen kommer att lysa i minst 5 miljarder år till innan den drabbas av bränslebrist. Hur solsystemet bildades och vad som kommer att hända när solen dör kan du läsa om i den avdelning som handlar om stjärnor.

Fantastiska fakta:

Solen är så tät att det tar ljuset 10 miljoner år att leta sig från solens inre upp till dess yta! Sedan tar det bara 8 minuter för ljuset att ta sig vidare till jorden!

Planeterna — solens följeslagare

Det finns åtta stycken planeter som kretsar runt solen. Jorden är den tredje av dem räknat inifrån solen.

De fyra innersta planeterna (Merkurius, Venus, jorden och Mars) kallas för de *jordlika planeterna*. De är alla fyra rätt små och består av sten. Utanför dem kommer de fyra *jätteplaneterna* Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus. De två största planeterna (Jupiter och Saturnus) består huvudsakligen av gas, medan de båda mindre (Uranus och Neptunus) är uppbyggda av sten, vatten, ammoniak och metan under en tjock atmosfär.

Pluto betraktades tidigare som en liten udda planet långt ut. Det har förändrats under de senaste åren i och med upptäckten av hundratals himlakroppar i Kuiper-bältet utanför Neptunus av vilka flera är av ungefär samma storlek som Pluto. Pluto är helt enkelt en av de största himlakropparna i Kuiper-bältet och kallas därför inte längre för en planet. Den räknas däremot till kategorin *dvärgplaneter*. Liksom de andra isdvärgarna i Kuiper-bältet består Pluto av en blandning av sten och olika slags is.

Att vi bor på jorden är ingen slump. Jorden är den enda planet där vatten kan existera i flytande form på ytan. Planeterna innanför jordens bana (Merkurius och Venus) är alltför heta, och längre ut i solsystemet är det alltför kallt.

Planeterna räknade från solen och utåt är:

Namn	Storlek	Avstånd	Omloppstid	Månar
Merkurius	4 879 km	58 miljoner km	88 dygn	0
Venus	12 104 km	108 miljoner km	225 dygn	0
Jorden	12 756 km	150 miljoner km	1,0 år	1
Mars	6 792 km	228 miljoner km	1,9 år	2
Jupiter	142 984 km	779 miljoner km	11,9 år	67
Saturnus	120 536 km	1 434 miljoner km	29,5 år	62
Uranus	51 118 km	2 872 miljoner km	84,1 år	27
Neptunus	49 528 km	4 495 miljoner km	164,8 år	13

Merkurius — planeten närmast solen

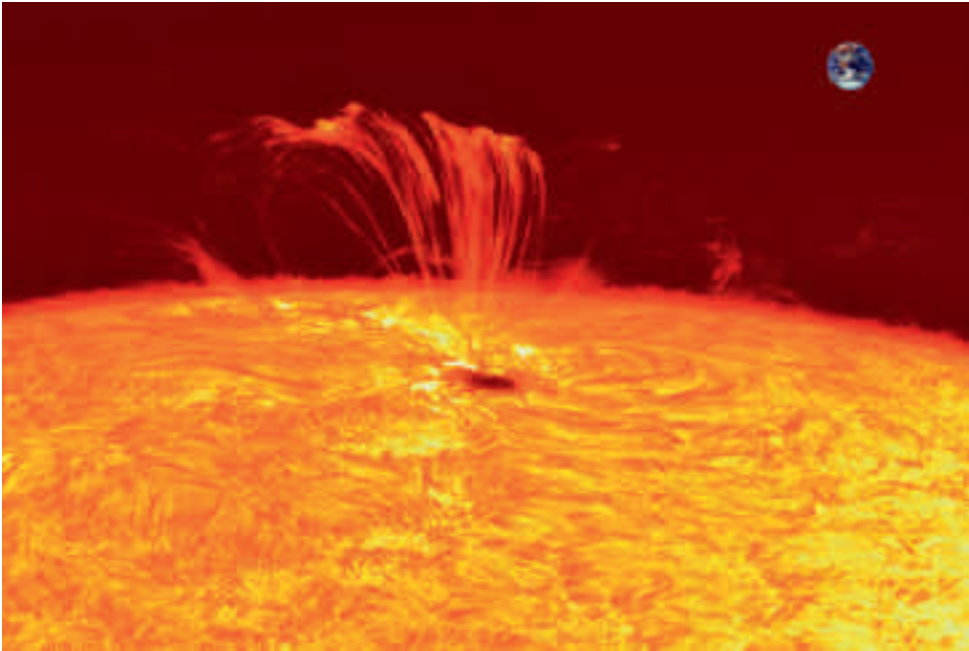
Merkurius är den innersta av planeterna. Den är mindre än hälften så stor som jorden, och med alla sina kratrar liknar den vår egen måne. Merkurius har ingen atmosfär och på dagen kan det bli nästan 400°C på ytan.

Eftersom Merkurius ligger nära solen är ett Merkurius-år kort: bara 88 jorddygn. En dag på Merkurius är dock lång — på två Merkurius-år går det bara tre Merkurius-dagar. På den solbelysta sidan kan därför temperaturen stiga till 400°C, medan den på nattsidan kan falla till -180°C.

Ytan är helt översållad med kratrar och påminner därför rätt mycket om månens. Radarmätningar från jorden tyder på att det finns vattenis vid Merkurius' båda poler. Förmodligen ligger den i djupa kratrar dit solens strålar aldrig når.

Det är inte helt lätt att se Merkurius på himlen eftersom den ligger så nära solen. Det gäller att passa på vid de tillfällen under året när planeten befinner sig som längst ifrån solen, och även då måste man spana mot en ljus grynings- eller skymningshimmel.

Utforskningen av Merkurius har gått långsamt. Planeten fick visserligen besök 1974-75 av rymdsonden *Mariner 10*, men sonden kunde bara fotografera halva ytan. Sedan har det dröjt till nästa rymdsond, *Messenger*, som gick in i omloppsbana 2011, innan man kunde göra en kartläggning av hela planeten.



En stor solfläck har kastat upp bågar av glödande gas högt över solens yta. En bild av jorden är inlagd för att ge en uppfattning om storleken. (Källa: NASA)



Landskapet på Merkurius är liksom på månen översållat med kratrar. (Källa: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)

<i>Avstånd från solen:</i>	39% av jordens (58 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	38% av jordens (4 879 km)
<i>Massa:</i>	5,5% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	88,0 dygn
<i>Dygnets längd:</i>	58,6 dygn
<i>Utseende:</i>	gammalt sprucket kraterlandskap
<i>Atmosfär:</i>	ingen
<i>Månar:</i>	inga

Venus —

ett hett inferno

Venus är den planet som kommer närmast jorden och som vi därför ser bäst. På morgonen och kvällen kan vi ibland se den som den klart lysande morgon- eller aftonstjärnan. Venus har en tjock atmosfär av koldioxid vars växthuseffekt gör planeten till ett hett inferno.

Venus är den planet som är mest lik jorden storleksmässigt sett, men där slutar också de flesta likheterna. Den omges av en atmosfär som är mer än 90 gånger så tät som jordens, och som nästan uteslutande består av drivhusgasen koldioxid. Detta gör att temperaturen på ytan nästan når upp till 500°C, d.v.s. den är högre än på Merkurius som ju ligger betydligt närmare solen. Atmosfären bidrar också till att temperaturen är nästan lika hög oavsett om man befinner sig på ekvatorn eller på polerna, på dagsidan eller på nattsidan.

Ytan är alltid skymd av tjocka svavelsyremoln. Rymdsonder som har landat på Venus har bara kunnat stå emot hettan i några timmar.

Venus är den enda planet där dygnet är längre än året (243 jorddygn mot 225 dygn). Dessutom vrider sig planeten baklänges runt sin egen axel jämfört med jorden.

All kartläggning av Venus har fått göras med hjälp av radar som kan se igenom molntäcket. Det finns inte så många kratrar; däremot finns det gott om vulkaner och lavafält, och det finns tecken som tyder på att det pågick ett stort vulkanutbrott på 70-talet. Ytan verkar vara ung ("bara" några hundra miljoner år gammal), vilket betyder att den omskapats under årmiljarderna precis som jordens yta, och därför har också de flesta gamla kratrar raderats ut.

Precis som Merkurius håller sig Venus nära solen på himlen, fast inte lika nära. Därför kan man omväxlande se Venus som den ljusstarka morgon- eller aftonstjärnan. Venus är den starkast lysande himlakroppen bortsett från solen och månen.

<i>Avstånd från solen:</i>	72% av jordens (108 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	95% av jordens (12 104 km)
<i>Massa:</i>	81% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	225 dygn
<i>Dygnets längd:</i>	243 dygn
<i>Utseende:</i>	helt täckt av tjocka svavelsyremoln, ytan ”ung” med få kratrar och många lavafält
<i>Atmosfär:</i>	93 gånger tätare än jordens, 96% koldioxid, 3% kväve
<i>Månar:</i>	inga

Jorden — vårt hem i rymden

Jorden är den tredje planeten från solen räknat, och är störst av de inre, jordlika planeterna. Jorden är den enda planet där människor kan leva utan att behöva ha skyddande rymddräkter på sig!

Meteoritkratrar är en ovanlig syn på jorden. Det beror dels på att spåren efter kratrar suddas ut av väder och vind, men också på att jordskorpan hela tiden omskapas. Kontinenterna ligger inte stilla utan flyter långsamt runt på jordens glödande inre, ungefär som isflak på havet. Detta kallas för *kontinentaldrift*. Jordbävningar och vulkanutbrott uppstår som en effekt av dessa rörelser. Till exempel glider Nordamerika bort från Europa med en hastighet av ett par centimeter om året. Samtidigt skapar vulkanutbrott på Atlantens botten ny jordskorpa. Island är ett exempel på nytt land som uppstår p.g.a. kontinentaldriften.

Att det finns aktiva vulkaner på jorden (och kanske på Venus) men inte på t.ex. månen eller Merkurius är ingen slump. Eftersom jorden är den största himlakroppen i det inre av solsystemet har vårt klot lyckats behålla värmen från planetsystemets skapelse för 4,6 miljarder år sedan. Månens inre svalnade däremot av mycket fortare och de sista vulkanutbrotten på månens yta upphörde för över 3 miljarder år sedan. Jämför med vad som fortast blir kallt på tallriken — en stor eller en liten potatis?

Jorden är den enda planeten i solsystemet som har sjöar och hav på sin yta. Jupiters måne Europa är förmodligen täckt av en djup ocean, men på grund av kylan längre ut i solsystemet är den oceanen gömd under en många kilometer tjock iskorpa. Saturnus' måne Titan har i och för sig sjöar på sin yta, men ute vid Saturnus är det så kallt att vatten bara kan existera som is. Titans sjöar består istället av kall, flytande naturgas.

Jorden är också den enda himlakropp som har en stor andel syre i sin atmosfär. Syret i luften kommer från alla jordens växter, och skulle alltså inte ha funnits om det inte hade funnits liv på jorden.

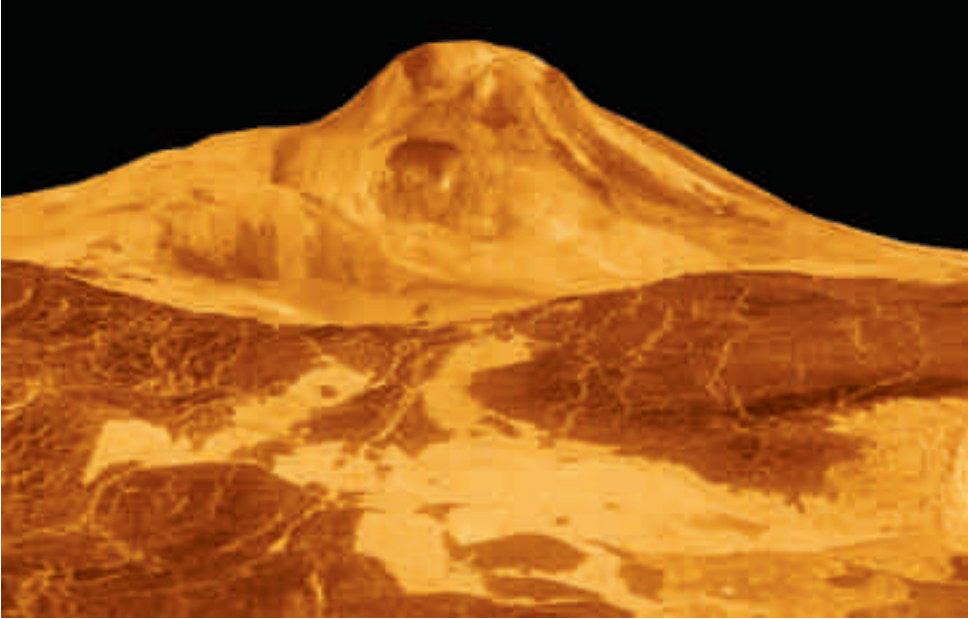
<i>Avstånd från solen:</i>	149,6 miljoner km
<i>Diameter:</i>	12 756 km
<i>Massa:</i>	5 974 miljarder miljarder ton
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	1 år
<i>Dygnets längd:</i>	1 dygn
<i>Utseende:</i>	71% täckt av blåa hav, resten av gulgrönbruna kontinenter och vita polarkalotter; vita vattenmoln täcker vanligen betydande områden av ytan
<i>Atmosfär:</i>	78% kväve, 21% syre, 1% argon
<i>Månar:</i>	1: månen

Fantastiska fakta:

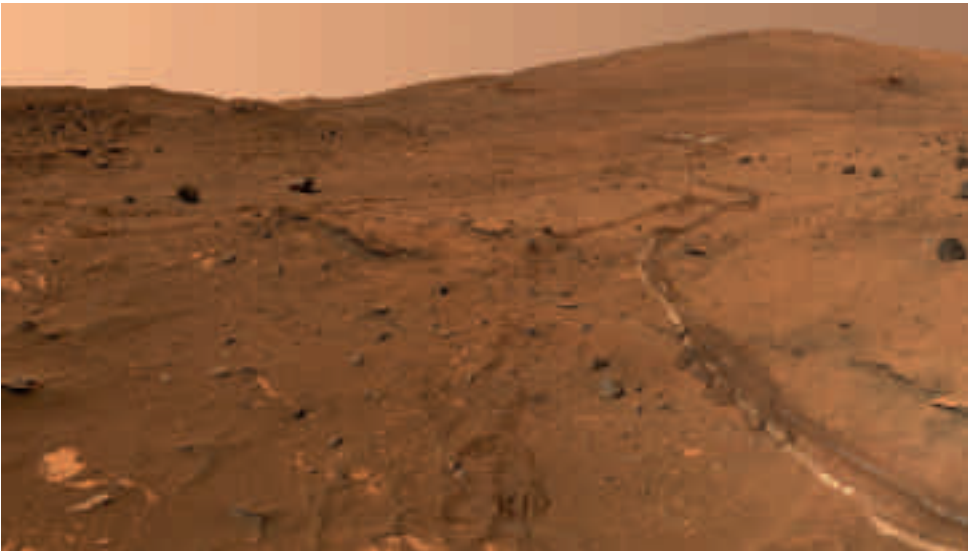
Tycker du att du står stadigt på jordklotet? Tänk då på att jorden rusar fram i sin bana runt solen med 30 kilometer i sekunden!

Mars — den röda planeten

Mars är den planet som kittlat människans fantasi mest. Några marsianer som byggt kanaler finns det inte, men väl uttorkade flodfåror. En gång i tiden måste det därför ha flutit vatten på Mars, även om planeten nu är en torr och kall



En perspektivbild av Maat Mons, en 8 km hög vulkan på Venus. Det här är en radarbild från den amerikanska Magellan-sonden som färglagts med de orangea färger som sovjetiska landare har fotograferat på ytan. (Källa: NASA/JPL)



Vy från Mars tagen av robotbilen Spirit. Marsbilens egna hjulspår syns tydligt. Himlen på Mars är rosafärgad av finkornigt stoft. (Källa: NASA/JPL/Cornell)

öken. I augusti 1996 tillkännagav amerikanska forskare att de tror sig ha hittat spår av förhistoriskt liv på Mars!

Mars är visserligen bara hälften så stor som jorden, men det är ändå den planet som liknar vårt jordklot mest. En dag på Mars är bara aningen längre än en dag på jorden. Mars' polaxel lutar något mer än jordens, vilket betyder att Mars har årstider precis som jorden. Mars har dessutom en atmosfär, om än väldigt tunn, och två vita polarkalotter.

Landskapet på Mars är omväxlande och mycket spännande. Det finns områden som liknar månen med många kratrar. Solsystemets högsta berg finns på Mars och heter *Olympus Mons*. Det är en utslocknad vulkan som är 26 km hög, mer än tre gånger högre än Mount Everest! *Valles Marineris* är en jättelik sprickdal som är mer än 5000 km lång och upp till 7 km djup. Sanden på Mars är röd därför att den innehåller järn som rostat!

Intressantast är kanske att det finns en massa uttorkade flodbäddar och spår av uttorkade sjöar på Mars. Idag är atmosfären på Mars alldeles för tunn för att det ska kunna finnas vatten i flytande form, men det måste alltså ha funnits en period i Mars' historia när atmosfären var tjockare, så att vatten kunde forsa fram i dessa flodfåror!

Många rymdsonder har skickats till Mars för att avslöja mer av planetens hemligheter. Två av de viktigaste är de båda Viking-landarna som kom fram 1976. Deras huvuduppdrag var att försöka ge svar på den urgamla frågan om det finns liv på Mars. Tyvärr hittade de inga spår av liv, och många forskare drog besviket slutsatsen att Mars är lika livlös som månen.

1996 gjordes emellertid en helt annan upptäckt. En grupp forskare som mycket noggrant studerat en meteorit som kommit från Mars avslöjade då att de hade hittat något som de tror är fossil efter förhistoriska bakterier! Om de har rätt betyder det att **det har funnits liv på Mars!!!** Dessa bakterier levde i så fall för flera miljarder år sedan när klimatet var mycket gynnsammare på Mars.

De båda robotbilarna *Spirit* och *Opportunity* landade 2004 och rullade runt och gjorde undersökningar i flera års tid. De avslöjade att vatten har spelat en viktig roll i Mars' historia. 2012 landsattes en mer avancerad robotbil kallad *Curiosity*.

Mars har två miniatyrmånar som heter Phobos och Deimos. De är knappt ett par mil stora. Förmodligen är de infångade asteroider. Phobos kretsar så nära Mars att den hinner göra drygt tre varv runt planeten varje dag.

<i>Avstånd från solen:</i>	1,52 gånger jordens (228 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	53% av jordens (6 792 km)
<i>Massa:</i>	11% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	1,88 år
<i>Dygnets längd:</i>	24 timmar och 37 minuter
<i>Utseende:</i>	roströd yta med kratrar, utslocknade vulkaner, klyftor, uttorkade flodfåror och vita polarkalotter; tunna vita moln syns ibland

Atmosfär: 0,6% av jordens tryck: 95% koldioxid, 3% kväve, 2% argon

Månar (i storleksordning): 2 mycket små månar: Phobos och Deimos

Fantastiska fakta:

På grund av bromsande tidvattenkrafter från Mars tappar Phobos långsamt farten. Om cirka 40 miljoner år kommer Phobos därför att störta ner på Mars' yta!

Jupiter — en gasfylld jätte

Jupiter är den största planeten i solsystemet. Den är ett jättelikt gasklot med en atmosfär fylld av olikfärgade band och fläckar. Mest känd är den röda fläcken. Det är en jättelik storm som rasat i minst 300 år!

Jupiter är den verkliga tungviktaren bland planeterna. Ensam väger den mer än dubbelt så mycket som alla andra planeter tillsammans. Den är så stor att det skulle rymmas mer än 1 000 jordklot i dess inre. Trots det har Jupiter det kortaste dygnet av alla planeterna: 9,9 timmar.

Jupiter är ett gasklot som huvudsakligen består av väte ($\frac{3}{4}$) och helium ($\frac{1}{4}$), d.v.s. planeten har samma sammansättning som solen. Längre in blir trycket så högt att gasen gradvis övergår i ett flytande tillstånd. Det finns alltså ingen yta som man kan landa på.

Allra längst in finns det en liten kärna av sten som också innehåller vatten, metan och ammoniak. Även om kärnan är liten i förhållande till Jupiters storlek, så väger den lika mycket som 10–20 jordklot. Temperaturen är minst 20 000°C i kärnan, d.v.s. mer än tre gånger högre än på solens yta.

Atmosfären är indelad i en mängd ljusa och mörka band, som man kan se från jorden med ett teleskop. Den mest kända formationen i atmosfären är den röda fläcken, som är stor nog att rymma tre jordklot. Det är en gigantisk storm som har observerats från jorden så länge som man har haft tillräckligt bra teleskop för att kunna se den, så

den är minst 300 år gammal. Det finns också ett antal vita fläckar som också är stora stormar.

Jupiter har 67 månar, varav 4 tillhör solsystemets största och är lätta att se i små teleskop. De allra flesta månarna är små och har upptäckts under de senaste åren. Så sent som 1999 kände man bara till 16 månar och hittills har bara 50 fått namn. Planeten har också några ringar, som är så väldigt ljussvaga att de inte upptäcktes förrän rymdsonden Voyager 1 flög förbi Jupiter 1979. Mycket av det som vi vet om Jupiter och dess stora månar har vi lärt oss från rymdsonden Galileo som kretsade runt planeten mellan 1995 och 2003. Rymdsonden Juno sköts upp 2011 och ska fortsätta utforskandet när den kommer fram 2016.

<i>Avstånd från solen:</i>	5,2 gånger jordens (779 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	11,2 gånger jordens (142 984 km)
<i>Massa:</i>	318 gånger jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	11,9 år
<i>Dygnets längd:</i>	9 timmar 55 minuter
<i>Utseende:</i>	stort gasklot med gula, vita, bruna och röda band plus en stor röd fläck; en fast yta saknas
<i>Atmosfär:</i>	huvudsakligen väte och helium
<i>Månar (i storleksordning):</i>	67 (varav 50 namngivna) plus några ljussvaga ringar — månar större än 10 km: Ganymedes, Callisto, Io, Europa, Amalthea, Himalia, Thebe, Elara, Pasiphae, Metis, Carme, Sinope, Lysithea, Ananke, Adrastea och Leda

Saturnus —

ringarnas konung

Saturnus är den näst största planeten i solsystemet. Med sina magnifika ringar utgör den ett vackert blickfång. Ringarna består av myriader små isbitar och stenar.

Saturnus är, liksom Jupiter, en gasplanet som huvudsakligen består av väte och helium. Atmosfären består av ljusa och mörka band precis som på Jupiter, men skillnaderna i färg är inte alls lika stora.

Saturnus har 62 månar av vilka 53 blivit namngivna. Den största av månarna heter Titan och är den enda månen i hela solsystemet som har en betydande atmosfär.



Jupiters röda fläck är en storm som rasat i minst 300 år. Nedanför den röda fläcken kan vi också se flera mindre vita fläckar, som också är stormar. (Källa: NASA/JPL)



Med sitt magnifika ringsystem är Saturnus kanske solsystemets vackraste planet. Ringarna består av tusentals mindre ringar. (Källa: NASA/JPL/Space Science Institute)

Alla fyra jätteplaneterna har ringar, men Saturnus är den enda som har ett stort system av ringar, som dessutom är väldigt ljusa. Det gör att de lätt syns från jorden även i små teleskop. På närbilder tagna av rymdsonder ser man att de egentligen består av tusentals smalare ringar. Ringarna är extremt tunna. De flesta ringarna är inte mer än ett 10-tal meter tjocka.

Ringarna består huvudsakligen av isbitar och stenar täckta av is. De minsta ringpartiklarna är i centimeterstorlek och de största är förmodligen några meter i storlek.

Rymdsonden Cassini gick in i bana runt Saturnus 2004 för att kunna detaljstudera Saturnus-systemet. Cassini har tagit många häpnadsväckande bilder av Saturnus' månar och ringar. Den släppte också ner en atmosfärssond som landade på Titan. Man hoppas att Cassini ska kunna fortsätta utforskandet fram till 2017.

<i>Avstånd från solen:</i>	9,6 gånger jordens (1 434 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	9,45 gånger jordens (120 536 km)
<i>Massa:</i>	95 gånger jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	29,5 år
<i>Dygnet längd:</i>	10 timmar 34 minuter
<i>Utseende:</i>	stort gult gasklot omgivet av vackra ringar
<i>Atmosfär:</i>	huvudsakligen väte och helium
<i>Månar (i storleksordning):</i>	62 (varav 53 namngivna) plus ett magnifikt ringsystem — månar större än 10 km: Titan, Rhea, Iapetus, Dione, Tethys, Enceladus, Mimas, Hyperion, Phoebe, Janus, Epimetheus, Prometheus, Pandora, Siarnaq, Helene, Atlas, Albiorix, Telesto, Pan, Paaliaq, Calypso, Ymir, Kiviuq, Tarvos, Ijiraq och Erriapus

Uranus —

ett jämnblått klot

Uranus är den tredje största jätteplaneten. Den är nätt och jämnt synlig för blotta ögat. Om man vet precis vart man ska titta kan man se Uranus som en mycket ljussvag stjärna.

Uranus hittades 1781 av William Herschel. Till skillnad från gasjättarna Jupiter och Saturnus består Uranus huvudsakligen av vatten, ammoniak och metan blandat med sten. Ungefär 15% av planetens massa utgörs av väte och helium, men det räcker gott och väl för att ge den en tät atmosfär som är flera tusen kilometer tjock.

Planetens polaxel lutar ungefär 90° mot banplanet, vilket gör att solstrålningen träffar Uranus på ett ovanligt sätt. Under ett 84 år långt Uranus-år står solen först över nordpolen, för att sedan under 21 års tid långsamt förflytta sig ned till ekvatorn och därifrån vidare ner till sydpolen, innan den vänder tillbaka upp till nordpolen. År 2007 passerade solen över ekvatorn på Uranus.

När Voyager 2 flög förbi Uranus i januari 1986 visade det sig att Uranus kunde tävla med Venus om det "tråkigaste" utseendet bland planeterna. Hela atmosfären hade en jämn ljusblå färgton nästan helt utan synliga molnformationer eller band som hos de andra jätteplaneterna. Nyare foton tagna med rymdteleskopet Hubble har dock avslöjat att det ibland finns tydliga moln och band också på Uranus.

Planeteten har 27 månar och ett tiotal smala och rätt mörka ringar. 2005 upptäcktes två nya ringar, varav den ena ligger ungefär dubbelt så långt ifrån planeten som de andra ringarna. Närbilder på månen Miranda avslöjar ett säreget landskap. Bland annat finns det ett bergsstup som är hela 20 km högt! Det ser ut som om månen slagits i bitar av en kollision och sedan pusslats ihop igen.

<i>Avstånd från solen:</i>	19,2 gånger jordens (2 872 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	4,0 gånger jordens (51 118 km)
<i>Massa:</i>	14,5 gånger jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	84,1 år
<i>Dygnetts längd:</i>	17 timmar 14 minuter
<i>Utseende:</i>	ett ljusblått gasklot som ibland har synliga molnformationer
<i>Atmosfär:</i>	83% väte, 15% helium och 2% metan som ger den blå färgen
<i>Månar (i storleksordning):</i>	27 plus ett antal smala ringar: Titania, Oberon, Umbriel, Ariel, Miranda, Puck, Sycorax, Portia, Juliet, Belinda, Cressida, Caliban, Rosalind, Desdemona, Bianca, Ophelia, Prospero, Setebos, Cordelia, Stephano, Perdita, Mab, Francisco, Ferdinand, Margaret, Cupid och Trinculo

Fantastiska fakta:

På Uranusmånen Miranda finns ett 20 km högt bergsstup som kallas *Verona Rupes*. Tyngdkraften är mindre än en hundra del av jordens, så om man skulle råka trilla utför det stupet, skulle man falla i mer än 10 minuter innan man slog i marken!

Neptunus —

en blå jätte

Neptunus är den yttersta av de fyra jätteplaneterna. Trots att det är en jätteplanet kan man inte se den utan hjälp av ett teleskop, eftersom den ligger så långt bort. Den upptäcktes 1846 och är vackert klarblå.

En bit in på 1800-talet visade det sig att Uranus inte riktigt rörde sig i den bana som den borde göra! Astronomerna John Couch Adams och Urbain Le Verrier gissade att det kunde bero på att det fanns ytterligare en okänd planet som störde Uranus. Man räknade ut var på himlen den okända planeten borde vara och 1846 upptäcktes så Neptunus av Johann Galle och Heinrich Ludwig d'Arrest.

Uranus och Neptunus tävlar om vilken som är den tredje största planeten i solsystemet. Neptunus är den tredje tyngsta planeten, men Uranus håller tredjeplatsen i fråga om storlek. Skillnaderna mellan planeterna är dock ganska små.

Det mesta vi vet om Neptunus har vi fått veta genom rymdsonden Voyager 2 som flög förbi planeten i augusti 1989. Planeten består precis som Uranus av en blandning av gas, vatten, ammoniak, metan och sten.

Neptunus är vackert blå, vilket beror på att det finns metan i atmosfären som absorberar alla andra färger. Det finns också svarta och vita fläckar i atmosfären. Voyager 2 fotograferade bland annat en svart fläck som var stor som halva jorden, och som påminde om den stora röda fläcken på Jupiter. Jupiters röda fläck har man kunnat se från jorden i flera århundraden, men när rymdteleskopet Hubble skulle fotografera Neptunus 1994 visade det sig att den stora svarta fläcken hade försvunnit!

Neptunus har 13 månar och några smala, mörka ringar. En av månarna är betydligt större än de andra och den heter Triton. Den har en mycket tunn atmosfär av kväve och metan. En del av kvävet har sprutat ut från underjordiska kvävekällor, precis som gejsrar kastar upp vatten och ånga här på jorden.

<i>Avstånd från solen:</i>	30 gånger jordens (4 495 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	3,9 gånger jordens (49 528 km)
<i>Massa:</i>	17,1 gånger jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	164,8 år
<i>Dygnets längd:</i>	15 timmar 58 minuter
<i>Utseende:</i>	ett klarblått gasklot med vita molnslingor och svarta och vita fläckar
<i>Atmosfär:</i>	80% väte, 19% helium och 1% metan som ger den blå färgen

Månar (i storleksordning): 13 plus några smala ringar: Triton, Proteus, Nereid, Larissa, Galatea, Despina, Thalassa, Naiad, Halimede, Neso, Sao, Laomedeia och Psamathe

Fantastiska fakta:

Två små månar som upptäcktes 2002 (Neso) och 2003 (Psamathe) kretsar runt Neptunus på ett så stort avstånd att det tar dem cirka 25 år att gå ett varv runt planeten.

Asteroiderna — överblivna planetdelar

Mellan Mars och Jupiter kretsar miljontals småplaneter, allt från meterstora klippblock upp till den 950 km stora Ceres. Man tror att asteroiderna är ”byggmaterial” som blev över när de andra planeterna bildades.

Även om de flesta asteroiderna håller sig mellan Mars och Jupiter finns det enstaka asteroider som beger sig ända in till Merkurius och andra som rör sig ut till solsystemets ytterkanter. I mitten av 2011 kände man till mer än 560 000 asteroider och varje månad upptäcks ungefär 5 000 nya asteroider.

En nyupptäckt asteroid får ett namn som består av ett katalognummer och en kod som talar om ungefär när den upptäcktes. Koden byts senare ut mot ett riktigt namn som upptäckaren får föreslå. Alla asteroider har också ett nummer som talar om ungefärligen i vilken ordning de blivit upptäckta.

Tidigare trodde man att asteroiderna kunde vara resterna efter en planet som på något sätt sprängts sönder, men nu vet vi att det snarare är fråga om byggmaterial som blev över när de andra planeterna bildades. Skulle man samla ihop alla asteroiderna till en klump, skulle de inte ens räkna till att bilda en himlakropp som vore hälften så stor som vår egen måne. Den största asteroiden Ceres är den enda asteroid som är stor nog att kvalificera sig för att få kallas *dvärgplanet*.

En handfull asteroider har blivit fotograferade av rymdsonder. Tre asteroider har blivit specialstuderade: rymdsonden NEAR Shoemaker kretsade runt Eros i ett års tid 2000–01 och rymdsonden Hayabusa formationsflög i flera månader med asteroiden Itokawa under hösten 2005 och lyckades efter många strapatser återvända till jorden med några mikroskopiskt små prover från asteroidens yta. Rymdsonden Dawn gick 2011 in i omloppsbanan runt den tredje största asteroiden Vesta och ska senare fortsätta till Ceres.

Precis som planeter kan asteroider också ha månar. Den första asteroidmånen upptäcktes 1993 av rymdsonden Galileo som då flög förbi asteroiden Ida och fotograferade en liten minimåne som har fått namnet Dactyl. Ibland kommer asteroider så pass nära jorden att man kan undersöka dem med radar. Flera av dessa har också visat sig ha månar. Radarstudier har också visat att vissa asteroider egentligen är dubbelasteroider bestående av två mindre asteroider som kretsar runt varandra, ibland så nära att de har stött ihop. Ett exempel på en sådan dubbelasteroid är Kleopatra som dessutom har två små månar.

Asteroider består nästan helt av sten. Det betyder dock inte att alla asteroider är stora klippblock. Man tror att många asteroider mer är att likna vid flygande sandhögar eller stenrösen, d.v.s. de består av många småbitar som bara hålls ihop löst av asteroidens svaga dragningskraft. Även om asteroiderna är överblivet byggmaterial från solsystemets barndom, så betyder det inte att de har varit oförändrade sedan dess. Åtskilliga asteroider visar tecken på att de en gång i tiden har varit delar av större asteroider som splittrats vid kollisioner med varandra.

<i>Avstånd från solen:</i>	2–3,5 gånger jordens (300–525 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	från 7,2% av jordens (950 km) för Ceres ner till några meter
<i>Massa:</i>	sammanlagt mindre än 0,04% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	3–6 år för de flesta
<i>Dygnets längd:</i>	från några timmar till flera dygn
<i>Utseende:</i>	mer eller mindre runda stenbumlingar översållade med kratrar
<i>Atmosfär:</i>	ingen
<i>Månar:</i>	inte helt ovanligt, ett 130-tal asteroider med var sin måne är kända; en del asteroider är dubbelasteroider; fem asteroider har två månar

Det finns 12 asteroider som är större än 250 km. Alla namngivna asteroider har också ett nummer som talar om i vilken ordning de blivit upptäckta.

<i>Namn</i>	<i>Storlek</i>	<i>Avstånd</i>	<i>Upptäckt</i>
1 Ceres	975×975×909 km	<i>2,77</i>	1801
2 Pallas	582×556×500 km	<i>2,77</i>	1802
4 Vesta	573×557×446 km	<i>2,36</i>	1807
10 Hygiea	530×407×370 km	<i>3,14</i>	1849
704 Interamnia	350×304 km	<i>3,06</i>	1910
52 Europa	360×315×240 km	<i>3,10</i>	1858
511 Davida	357×294×231 km	<i>3,17</i>	1903
87 Sylvia	385×265×230 km	<i>3,49</i>	1866
65 Cybele	302×290×232 km	<i>3,44</i>	1861
15 Eunomia	357×255×212 km	<i>2,65</i>	1851
3 Juno	320×267×200 km	<i>2,67</i>	1804
31 Euphrosyne	256 km	<i>3,15</i>	1854

Det angivna avståndet är medelavståndet till solen och det är angivet i enheter av avståndet mellan jorden och solen. Storleken på många asteroider är inte exakt känd och det är bara asteroider med ett medelvärde större än 250 km som är medtagna. Inte ens de största asteroiderna är runda som klot.

Fantastiska fakta:

I science fiction-filmer brukar rymdskeppskaptenerna kryssa fram ytterst försiktigt inne i ett asteroidbälte för att inte kollidera med något av klippblocken. I verkligheten är avstånden mellan stenbumlingarna så stora att man måste jaga ikapp en asteroid om man vill se någon. Hittills har tio rymdsonder passerat asteroidbältet utan en skråma.



Ovan: Vesta, den tredje största asteroiden, som är drygt 500 km stor har specialstudierats av rymdsonden Dawn. Åtskilliga meteoriter från Vesta har hittats på jorden och tros komma från en våldsamt kollision för 1 miljard år sedan som skapade en krater nästan lika stor som Vesta själv. (Källa: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA)

Höger: Asteroiden Ida syns här tillsammans med sin lilla måne Dactyl på ett foto taget av rymdsonden Galileo. Det här är en av bilderna som ledde till upptäckten av Dactyl, den första kända asteroidmånen. Ida är 54 kilometer lång och Dactyl har en diameter på 1,4 km. Ida är egentligen mer enfärgad, men här har man förstärkt de små färgvariationer som finns för att man lättare ska kunna se dem. (Källa: NASA/JPL)



Kuiper-bältet —

det yttre asteroidbältet

Utanför Neptunus' bana finns ett omfattande yttre asteroidbälte befolkat av miljontals isdvärgar som inte upptäcktes förrän 1992. Pluto är en av de största innevanarna i Kuiper-bältet.

Även om Pluto varit känd sedan 1930, så var det upptäckten 1992 av ytterligare en isdvärg, 1992QB₁, i solsystemets utkant som ledde till den egentliga upptäckten av *Kuiper-bältet*, som är ett yttre asteroidbälte som ligger utanför Neptunus. Kuiper-bältet skiljer sig på flera sätt från asteroidbältet som ligger mellan Mars och Jupiter: det är mycket mer vidsträckt, det innehåller många fler småplaneter, det innehåller större småplaneter och småplaneterna har en annan sammansättning. Medan asteroiderna i asteroidbältet består nästan uteslutande av sten är småplaneterna i Kuiper-bältet uppbyggda av en blandning av sten och olika slags is som vatten, metan och ammoniak. De kallas därför ofta för *isdvärgar*. Om en sådan himlakropp skulle bege sig in i solsystemets inre delar skulle en del av isen förångas och den skulle se ut som en komet.

Hittills har man upptäckt mer än 1 200 isdvärgar, men man tror att det finns hundratals miljoner himlakroppar i Kuiper-bältet. Man har uppskattat att det kan finnas uppemot 70 000 isdvärgar större än 100 km, vilket är mer än 100 gånger fler än de 220 asteroider som har en motsvarande storlek. De största isdvärgarna är också betydligt större än de största asteroiderna. Medan den största asteroiden Ceres har en diameter av ungefär 950 km, så har Pluto en diameter av 2 306 km. Till och med Plutos måne Charon är med sina 1 207 km betydligt större än Ceres.

Den hittills största kända isdvärgen är Eris som upptäcktes 2005. Dess diameter uppskattas till 2 326 km. En annan stor isdvärg som upptäcktes 2004 är Haumea som snurrar ett varv runt sin egen axel på mindre än fyra timmar. Haumea är inte rund utan avlång som en amerikansk fotboll. Den är nästan lika stor som Pluto längs med sin längsta axel, men bara hälften så stor längs med sin kortaste axel. Eris har en måne som kallas Dysnomia medan Haumea har två månar som kallas Hi'iaka och Namaka.

De flesta isdvärgarna i Kuiper-bältet kretsar på ett avstånd från solen som är mellan 30 och 55 gånger längre än avståndet mellan solen och jorden. Den inre gränsen sammanfaller med Neptunus' bana. Vad den yttre gränsen bestäms av vet man inte. Vissa astronomer har spekulerat i att den skulle kunna bero på att det finns en större planet där ute, kanske så stor som jorden.

Många isdvärgar, inklusive Pluto, har en rödaktig färgton. Spektralanalyser av ljuset från flera isdvärgar har visat att vattenis förekommer rikligt på deras ytor och att det också finns metanis.

Den enda isdvärg som fått besök av en rymdsond är Neptunus' måne Triton, som många astronomer tror är en infångad isdvärg från Kuiper-bältet. Det kan också finnas en del isdvärgar från Kuiper-bältet längre in i solsystemet eftersom många tror att en del kortperiodiska kometer, som t.ex. *Halleys komet*, härstammar därifrån.

<i>Avstånd från solen:</i>	30–55 gånger jordens (4,5–8,2 miljarder km)
<i>Diameter:</i>	från 18% av jordens (2 326 km) för 136199 Eris ner till några meter
<i>Massa:</i>	total massa okänd
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	150–500 år för de flesta
<i>Dygnets längd:</i>	från några timmar till flera dygn
<i>Utseende:</i>	mer eller mindre runda is- och stenbumlingar över-sållade med kratrar och täckta av olika slags is, många med en rödaktig färgton
<i>Atmosfär:</i>	Pluto har en tunn atmosfär när den är som närmast solen — man tror att detsamma gäller för flera av de största Kuiper-bältobjekten
<i>Månar:</i>	inte helt ovanligt, flera av de största isdvärgarna har en eller flera månar

Fantastiska fakta:

När beslutet togs 2006 att inte längre betrakta Pluto som en planet var det inte första gången som antalet planeter i solsystemet minskat. Under första hälften av 1800-talet räknades de fyra då kända asteroiderna 1 Ceres, 2 Pallas, 3 Juno och 4 Vesta som planeter. När man sedan började upptäcka fler asteroider beslöt man att inte längre klassa dem som planeter.

Planet X —

en oupptäckt planet?

Finns det en okänd nionde planet någonstans i mörkret bortom Neptunus? Svaret verkar vara nej, men ingen vet riktigt säkert ...

Ända sedan Pluto upptäcktes 1930 är det många som har letat efter ytterligare planeter i solsystemets utmarker. Sökandet har dock inte givit något resultat, trots att den tekniska utrustningen utvecklats oerhört mycket sedan 1930. Från och med 1992 började man hitta isdvärgar i banor utanför Plutos, det s.k. *Kuiper-bältet*. Det är ganska osannolikt att det skulle kunna finnas en okänd planet i Kuiper-bältet, eftersom dess tyngdkraft skulle störa isdvärgarna och tvinga in dem i andra banor.

Däremot finns det idag ingen bra förklaring till varför Kuiper-bältet slutar på ett avstånd av ungefär 55 gånger avståndet mellan solen och jorden. En möjlig förklaring skulle kunna vara att det beror på att det finns en okänd planet där ute. Det finns dock flera andra tänkbara förklaringar till varför Kuiper-bältet slutar på det avståndet. En sådan förklaring är att en annan stjärna någon gång passerade ganska nära solen och kastade iväg isdvärgarna, som kretsade längre ut, i nya banor. En annan möjlighet är att det blev så när solsystemet bildades. Flera unga stjärnor som håller på att bilda planetsystem har visat sig ha skivor av gas och stoft som slutar vid ett motsvarande avstånd.

Hur stor skulle en oupptäckt planet kunna vara? Om det finns en planet strax utanför Kuiper-bältet skulle den kanske kunna vara stor som jorden. Om den kretsar längre ut skulle den kunna vara betydligt större, till och med större än Jupiter, och ändå ha undgått upptäckt. Några astronomer har till och med föreslagit att det skulle kunna finnas en liten oupptäckt dvärgstjärna som kretsar runt solen någonstans 50 000–100 000 gånger länge bort än jorden. Den har fått namnet *Nemesis*, men väldigt få astronomer tror att den faktiskt existerar.

Oorts moln —

halvvägs till nästa stjärna

Långt utanför den yttersta planeten och Kuiper-bältet ligger Oorts moln. Det sträcker sig kanske ett ljusår ut i rymden och är befolkat av miljontals små isklumpar som blev över när solsystemet bildades. När sådana isklumpar kommer in i de innersta delarna av solsystemet ser vi dem som kometer.

Oorts moln är ett stort sfäriskt moln som omger solsystemet med material som blev över när solsystemet bildades. Man tror att himlakropparna i Oorts moln består av mycket is blandat med sten och grus. De flesta isklumparna har aldrig varit i solens närhet, men en del av dem har fått sina banor ändrade av stjärnor som passerat nära solen och kommer då och då in i solsystemets inre delar. De klassas då som långperiodiska kometer. Oorts moln är alltså en gigantisk reservoar av frusna kometer. Man tror att det kan finnas så många som 1 000 miljarder kometer i Oorts moln.

Den exakta storleken på Oorts moln är okänd. Det yttersta delarna kan sträcka sig flera ljusår från solen. Man vet inte heller hur mycket materia som finns där, olika uppskattningar talar om mellan 5 och 100 gånger jordens massa.

Ingen har ännu lyckats observera Oorts moln, men de flesta astronomer är ändå övertygade om att det existerar, eftersom det är svårt att hitta någon alternativ förklaring till varifrån alla långperiodiska kometer kommer ifrån.

Det finns dock ett par himlakroppar som en del astronomer tror tillhör Oorts moln. Den största upptäcktes 2003 och kallas för Sedna. Det är ingen komet utan en relativt stor isdvärg som man tror har en diameter någonstans mellan 1 200 och 1 600 kilometer. Just nu befinner sig Sedna 90 gånger längre bort från solen än vad jorden gör, men banan är väldigt avlång. När Sedna är som längst från solen är avståndet mer än 900 gånger avståndet mellan solen och jorden, vilket gör att en del astronomer anser att Sedna tillhör Oorts moln istället för Kuiper-bältet. Sedna är en av de rödaste himlakropparna i solsystemet och behöver hela 11 500 år på sig för att avverka ett varv runt solen.

Dvärgplaneter —

en ny sorts planet

År 2006 bestämdes det att man skulle införa en ny kategori för små, planetliknande himlakroppar: **dvärgplaneter**. Det finns fem dvärgplaneter i vårt solsystem: den största asteroiden Ceres, Pluto och de tre Kuiper-bältobjekten Eris, Makemake och Haumea.

Fram till 1992 var solsystemets uppbyggnad ganska enkel: det fanns nio stycken planeter uppdelade i två grupper med ett bälte av asteroider emellan sig, och utanför planeterna fanns en stor region där kometerna härskade. De fyra innersta planeterna var små stenplaneter och de fem yttersta planeterna var alla stora gasplaneter — med ett undantag: Pluto var ett litet udda klot av sten och is längst ut i planetsystemets utkant.

År 1992 ändrades bilden när en ny liten himlakropp, isdvärgen 1992QB₁, upptäcktes utanför Plutos bana. Inom loppet av några år hade man hittat mängder med isdvärgar i solsystemets ytterkant och det började stå klart att det där ute finns ett slags asteroidbälte som är mycket större än det vi känner till från solsystemets inre delar. Upptäckten förklarade vad Pluto egentligen är: det är ingen liten udda planet utan en av de största asteroiderna i detta yttre asteroidbälte, som fått namnet *Kuiper-bältet*.

Av historiska skäl fortsatte man att kalla Pluto för en planet, men 2005 blev situationen ohållbar när man hittade en ny himlakropp, Eris, som verkade vara större än Pluto. Det blev dags att besluta vad som ska räknas som en planet eller inte, och i augusti 2006 kom den Internationella Astronomiska Unionen till skott och beslöt att himlakroppar som inte härskar i ensamt majestät utan som delar ett område med andra liknande himlakroppar inte längre får kallas planeter. Samtidigt tyckte man att det ändå kunde vara bra att göra skillnad på en liten oformlig stenbumling och en stor rund himlakropp som mer liknar en planet i miniatyr, och man beslöt därför att också införa en ny kategori: *dvärgplaneterna*.

I dagsläget finns det fem himlakroppar i solsystemet som klassas som dvärgplaneter: Ceres, den största asteroiden, samt Pluto och tre av dess största grannar i Kuiper-bältet: Eris, Makemake och Haumea. Man räknar med att de snart kommer att få mer sällskap, eftersom det finns dussintals, ja, kanske till och med hundratals andra isdvärgar i solsystemets yttre regioner som man tror uppfyller kriterierna för att få kallas dvärgplaneter. Det är också möjligt att den tredje största asteroiden Vesta kan komma att klassas som en dvärgplanet.

I ett tilläggsbeslut som fattades av den Internationella Astronomiska Unionen 2008 bestämdes det också att dvärgplaneter i solsystemets utkant också kan kallas för *plutoider*.

Tabellen visar de fem dvärgplaneterna i solsystemet samt några av kandidaterna som förmodligen också kommer att klassas som dvärgplaneter i framtiden:

<i>Namn</i>	<i>Storlek</i>	<i>Avstånd</i>	<i>Omloppstid</i>	<i>Månar</i>	<i>Upp-täckt</i>
136199 Eris	2 326 km	<i>37,8–97,6</i>	557 år	1	2005
134340 Pluto	2 306 km	<i>29,7–49,3</i>	248 år	5	1930
136472 Makemake	1 350–1 500 km	<i>38,5–53,1</i>	310 år	0	2005
136108 Haumea	2 000×1 500×1 000 km	<i>34,7–51,5</i>	283 år	2	2004
1 Ceres	975×975×909 km	<i>2,5–3,0</i>	4,6 år	0	1801
90377 Sedna	1 200–1 600 km	<i>76,4–937</i>	~11 400 år	0	2003
225088 2007OR₁₀	900–1 400 km	<i>33,6–100,8</i>	551 år	0	2007
84522 2002TC₃₀₂	850–1 300 km	<i>39,2–71,9</i>	414 år	0	2002
50000 Quaoar	800–1 000 km	<i>41,7–45,1</i>	286 år	1	2002
90482 Orcus	800–1 000 km	<i>30,3–48,1</i>	245 år	1	2004

Det angivna avståndet är medelavståndet till solen och det är angivet i enheter av avståndet mellan jorden och solen. Storleken för många isdvärgar är inte speciellt väl känd. Alla asteroider och isdvärgar har också ett nummer som identifierar dem och som ofta anges ihop med namnet.

Eris — dvärgplaneternas kung

När man hittade Eris 2005 verkade det som om man hittat en himlakropp som var större än Pluto, och under en kort tid kallades Eris för den tionde planeten. Ett år senare

bestämde man dock att istället klassa båda himlakropparna som dvärgplaneter.

Idag är man inte längre lika säker på att Eris är större än Pluto. Nyare mätningar har visat att de båda dvärgplaneterna är ungefär lika stora. Däremot vet man att Eris är 27% tyngre än Pluto, så viktmässigt är Eris den tyngsta dvärgplaneten. Det innebär att Eris måste bestå av mer sten och mindre is än Pluto.

Eris' bana är liksom Plutos väldigt elliptisk och den ligger längre ut i solsystemet vilket gör att Eris behöver hela 557 år på sig för att gå ett varv runt solen. Utforskningen av Eris försvåras dock av att dvärgplaneten nu befinner sig nästan så långt ifrån solen den kan komma på ett avstånd som är drygt 96 gånger avståndet mellan jorden och solen. Det är tre gånger längre bort än Pluto, så det lär dröja mycket länge innan man kan skicka dit någon rymdsond för att undersöka dvärgplaneten närmare. Eris är för tillfället den mest avlägsna himlakroppen i solsystemet som inte är en komet, och temperaturen på dess yta uppskattas till -250°C .

Eris är en av de himlakroppar i solsystemet som reflekterar ljus bäst — hela 96% av det infallande ljuset reflekteras, vilket gör att man tror att det finns ett lager med relativt nybildad frost på ytan. Det kan vara så att den här frosten smälter när Eris kommer närmare solen och bildar en tunn atmosfär som sedan fryser till frost igen när Eris rör sig längre bort från solen.

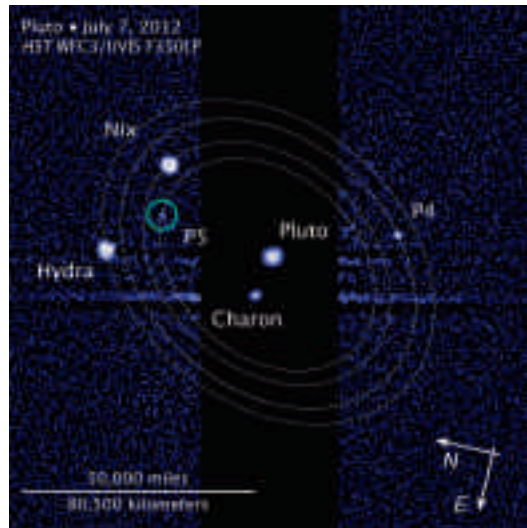
Eris har en känd måne som fått namnet Dysnomia och tros vara mellan 100 och 250 kilometer stor. Den kretsar runt Eris på ett avstånd av 37 350 km och behöver 15,77 dygn för att göra ett omlopp.

<i>Avstånd från solen:</i>	37,8–97,6 gånger jordens (5,6–14,6 miljarder km)
<i>Diameter:</i>	18% av jordens (2 326 km)
<i>Massa:</i>	0,28% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	557 år
<i>Dygnets längd:</i>	25,9 timmar (troligen)
<i>Utseende:</i>	okänd, men ytan är skinande vit
<i>Atmosfär:</i>	kan ha en mycket tunn atmosfär när den kommer som närmast solen; fruset metan finns på ytan
<i>Månar:</i>	1 måne: Dysnomia
<i>Upptäckt:</i>	2005 av Michael Brown, Chad Trujillo och David Rabinowitz



En storleksjämförelse mellan tre av de fem dvärgplaneterna samt jorden och månen. De tre dvärgplaneterna Ceres, Eris och Pluto samt Plutos största måne Charon visas med illustrationer gjorda av en konstnär. Storlekarna och färgerna stämmer dock med observationer. 2015 är det meningen att rymdsonder ska ta de första närbilderna av både Ceres och Pluto. (Källa: NASA, text tillagd av M. Lerner)

En femte måne (inringad) upptäcktes 2012 runt Pluto på bilder tagna med rymdteleskopet Hubble. Banorna från de fyra mindre månarna har ritats in i bilden. Den centrala delen av bilden (den avlånga svarta rutan) har avsiktligt gjorts mörkare för att det betydligt kraftigare ljuset från Pluto och månen Charon inte ska överexponera bilden. De vågräta strecken inne i bilden beror på ljus från Pluto och Charon som bländar kameran. (Källa: NASA, ESA och M. Showalter (SETI Institute))



Pluto —

en före detta planet

År 2006 degraderades Pluto från att kallas för en planet till att kallas en **dvärgplanet**. Pluto är nämligen betydligt mindre än någon av de åtta huvudplaneterna — den är till och med mindre än vår måne! Trots det har den en stor måne som kallas Charon.

Pluto upptäcktes 1930 av Clyde Tombaugh vid Lowell-observatoriet i USA. Den ligger ungefär 40 gånger längre ifrån solen än vad jorden gör. Det tar hela 248 år för Pluto att ta sig ett varv runt solen. Banan är dock inte rund som en cirkel utan en avlång ellips, vilket gör att Pluto när den kommer som närmast solen faktiskt befinner sig närmare än Neptunus, nu senast mellan 1979 och 1999.

Pluto har länge betraktats som solsystemets nionde planet, trots att den är betydligt mindre och har en mer avvikande bana än de andra planeterna. Efter upptäckten av *Kuiper-bältet* 1992 har det framstått allt tydligare att Pluto är ett Kuiper-bältojekt som råkade bli upptäckt långt tidigare. Det är därför mer korrekt att kalla Pluto för en av de största isvärgarna i Kuiper-bältet än att kalla Pluto för en planet. 2005 upptäcktes dessutom *Eris*, en annan isvärg som är tyngre och förmodligen en aning större än Pluto. I augusti 2006 tog därför den Internationella Astronomiska Unionen beslutet att Pluto inte längre ska kallas för en planet utan istället ska klassas som en *dvärgplanet*. Pluto har också blivit tilldelad ett nummer precis som alla andra asteroider och isvärgar, och dess nya namn är ”134340 Pluto”.

Plutos största måne Charon upptäcktes 1978 och den kretsar ett varv runt Pluto på 6,4 dygn. Både Pluto och Charon har så kallad *bunden rotation*, vilket betyder att de alltid vänder samma sida mot varandra. En dag på Pluto är därför också 6,4 dygn lång, och Charon ser ut att hänga orörlig på Plutos himmel. Charon är så stor i jämförelse med Pluto (53%) att en del astronomer inte anser att man ska kalla Charon för en måne utan att man istället bör kalla Pluto och Charon för en dubbelisvärg. 2005 gjordes upptäckten att Pluto också har två mindre månar som döpts till Hydra och Nix. 2011 upptäcktes en fjärde måne och 2012 en femte måne; dessa båda månar har ännu inte fått några namn.

Det är väldigt kallt på Pluto, runt -230°C . Ingen rymdfarkost har ännu besökt Pluto, men New Horizons som sköts upp 2006 kommer förhoppningsvis att nå fram 2015. Mycket är okänt om Pluto. Man vet dock att det finns ljusa och mörka områden på dess yta. Dessutom har dvärgplaneten en mycket tunn atmosfär som förmodligen kommer att frysa till snö när Pluto kommer längre bort från solen i sin bana. Pluto och Charon består antagligen av en blandning av sten och olika slags is (t.ex. vatten,

ammoniak och metan). Pluto har dock en rödbrun färgton medan Charon är grå, så de båda himlakropparna är inte lika varandra.

<i>Avstånd från solen:</i>	29,7–49,3 gånger jordens (4,4–7,4 miljarder km)
<i>Diameter:</i>	18% av jordens (2 306 km)
<i>Massa:</i>	0,21% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	248,1 år
<i>Dygnets längd:</i>	6,39 dygn
<i>Utseende:</i>	okänd, men det finns ljusa och mörka områden med en rödbrun färgton
<i>Atmosfär:</i>	tunn atmosfär (0,0003% av jordens) när Pluto är som närmast solen, som fryser till snö längre bort (kväve, metan, kolmonoxid)
<i>Månar (i storleksordning):</i>	5 månar: Charon, Hydra, Nix och två namnlösa

Fantastiska fakta:

Pluto ligger så långt ifrån solen att det tar solljuset 5,5 timmar att nå dit ut! Fast till den närmaste stjärnan (*Proxima Centauri*) är det ändå ofantligt mycket längre — dit tar det hela 4,2 år för ljuset att gå!

Makemake — en okänd värld

Makemake är den tredje största dvärgplaneten i solsystemet och upptäcktes 2005. Det är den näst ljusstarkaste isdvärgen efter Pluto, men man behöver ett ganska stort teleskop om man vill se den. Mycket är därför okänt om Makemake.

Liksom de flesta andra isdvärgar i Kuiper-bältet rör sig Makemake långsamt runt solen i en avlång bana. Ett varv tar 310 år och just nu befinner sig dvärgplaneten nästan så långt från solen som den kan komma med ett avstånd som är mer än 52 gånger längre än avståndet mellan jorden och solen. Dess exakta storlek är okänd men man tror att

den har en diameter någonstans mellan 1 350 och 1 500 km. Temperaturen på dess yta ligger mellan -245°C och -240°C .

Namnet Makemake har hämtats från urbefolkningen på Påskön. I deras mytologi är Makemake en fruktbarhetsgud som skapade mänskligheten. Anledningen till att man valde en gudomlighet från Påskön var att Makemake upptäcktes strax efter påsk 2005.

<i>Avstånd från solen:</i>	38,5–53,1 gånger jordens (5,8–7,9 miljarder km)
<i>Diameter:</i>	11–12% av jordens (1 350–1 500 km)
<i>Massa:</i>	cirka 0,05% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	310 år
<i>Dygnetts längd:</i>	7 timmar 46 minuter
<i>Utseende:</i>	okänd, men ytan är rödaktig med några mörkare fläckar
<i>Atmosfär:</i>	kan ha en mycket tunn atmosfär när den kommer som närmast solen; fruset metan finns på ytan
<i>Månar:</i>	inga
<i>Upptäckt:</i>	2005 av Michael Brown, Chad Trujillo och David Rabinowitz

Haumea —

en dramatisk dvärgplanet

Dvärgplaneten Haumea är omgiven av dramatik: dels slåss två forskargrupper om vem det var som egentligen upptäckte isdvärgen, dels verkar den märkligt formade himlakroppen vara återstoden av en större himlakropp som slogs sönder i en dramatisk kollision.

En spansk forskargrupp ledd av José Ortiz och en amerikansk grupp ledd av Mike Brown gör båda anspråk på att vara Haumeas upptäckare. Browns grupp har bland annat upptäckt två av de andra dvärgplaneterna: Eris och Makemake, och de höll 2005 på att förbereda ett tillkännagivande av Haumeas existens, när det spanska teamet kungjorde att de hade upptäckt isdvärgen. Den amerikanska gruppen upptäckte dock att någon hade varit inne och snokat på deras datorer bara några dagar tidigare — och det visade sig att de som hade snokat var just den spanska gruppen. Amerikanerna har anklagat spanjorerna för att ha stulit upptäckten från dem, men spanjorerna hävdar att de redan hade upptäckt Haumea i sina observationsdata och bara ville kolla om de

båda grupperna jobbade med samma himlakropp. Den Internationella Astronomiska Unionen har inte kunnat avgöra vad som är sanning, men valde att låta den amerikanska gruppens namnförslag vinna.

Dygnet på Haumea är ovanligt kort; dvärgplaneten snurrar ett varv runt sin egen axel på mindre än 4 timmar och den höga rotationshastigheten har gjort att Haumea inte är rund som ett klot utan utdragen som en amerikansk fotboll. Den längsta axeln är ungefär dubbelt så stor som den kortaste. Dvärgplaneten verkar också bestå av betydligt mer sten och betydligt mindre is än andra isdvärgar. Man tror därför att Haumea en gång i tiden var en större himlakropp med en liten kärna av sten omgiven av tjocka islager. En våldsam kollision med en annan isdvärg kastade ut det mesta av isen i rymden och satte ordentligt snurr på den återstående stenkärnan. Haumeas båda månar Hi'iaka och Namaka verkar bestå av utkastat material från Haumea och man har också hittat andra isdvärgar som också verkar ha bildats av material som kastats ut vid kollisionen.

<i>Avstånd från solen:</i>	34,7–51,5 gånger jordens (5,2–7,7 miljarder km)
<i>Diameter:</i>	16%×12%×8% av jordens (2 000×1 500×1 000 km)
<i>Massa:</i>	0,07% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	283 år
<i>Dygnets längd:</i>	3 timmar 55 minuter
<i>Utseende:</i>	okänd, men ytan verkar vara vit bestående av vattenis
<i>Atmosfär:</i>	kan ha en mycket tunn atmosfär när den kommer som närmast solen
<i>Månar (i storleksordning):</i>	2 månar: Hi'iaka och Namaka
<i>Upptäckt:</i>	2004 av Michael Browns grupp eller av José Luis Ortiz Morenos grupp — båda gjorde 2005 anspråk på upptäckten

Ceres —

kung i asteroidbältet

Ceres är nästan dubbelt så stor som den andra största asteroiden Pallas och är den enda asteroid som är stor nog att klassas som en dvärgplanet. Om man skulle lägga ihop alla miljontals asteroider i asteroidbältet så skulle Ceres ensam stå för mer än en tredjedel av den sammanlagda massan.

Ceres är inte bara den största utan också den första asteroid som upptäcktes. Upptäckten gjordes den 1 januari 1801 av en italiensk präst vid namn Giuseppe Piazzi, vilket ledde till att man började leta efter fler planeter mellan Mars och Jupiter. Under de följande åren hittades tre asteroider till: Pallas, Juno och Vesta. Dessa fyra räknades som planeter fram till mitten på 1800-talet när man började hitta ännu fler asteroider, och man förstod att de fyra egentligen var medlemmar i ett brett bälte av små himlakroppar.

Ceres är ungefär 950 km stor och inte helt rund. Under Ceres' yta tror man nu att det kan finnas ett tjockt lager vattenis, kanske 100 km tjockt som täcker en inre kärna av sten. Det är också möjligt att en del av isen finns i smält form som en underjordisk ocean. Hur ytan ser ut vet vi inte mycket om, eftersom det är svårt att observera detaljer på en så liten himlakropp ens med stora teleskop. Ceres är alltför ljussvag för att kunna ses med blotta ögat, men det räcker med en fältkikare för att man ska kunna se den.

Ingen rymdfarkost har ännu passerat Ceres, men 2015 är det meningen att vi ska få lära oss betydligt mer om Ceres när rymdsonden Dawn ska lägga sig i omloppsbana runt asteroiden för att kunna kartlägga den i detalj under ett års tid.

<i>Avstånd från solen:</i>	2,55–2,99 gånger jordens (381–447 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	7,6% av jordens (975×975×909 km)
<i>Massa:</i>	0,015% av jordens
<i>Omloppstid (=årets längd):</i>	4,6 år
<i>Dygnets längd:</i>	9 timmar 4 minuter
<i>Utseende:</i>	okänd, men är med all sannolikhet ett stenigt kraterlandskap
<i>Atmosfär:</i>	ingen
<i>Månar:</i>	inga
<i>Upptäckt:</i>	1801 av Giuseppe Piazzi

Kometer — snöbollar i rymden

En komet hör till det mest fantastiska man kan få se på himlavalvet. Själva kometen är egentligen väldigt liten i jämförelse med jorden. Den innehåller mycket snö och is, och när en del



Kometen Lovejoy sträcker sig över himlen med Vintergatan i bakgrunden och ljusen från Santiago de Chile i förgrunden. Kometen upptäcktes i november 2011 och passerade så nära solen att man förväntade sig att den skulle förstöras, men den överlevde och väntas komma tillbaka om drygt 600 år. (Källa: ESO/Y. Beletsky)

En närbild av kärnan hos kometen Hartley 2. Kärnan är 2 km lång och formad som en oskalad jordnöt. Den är ungefär 400 meter bred i den smälare mittdelen. Solen skiner från höger och vi kan se strålar av förgasade ämnen (huvudsakligen vatten) som lämnar kometen för att forma ett lysande huvud och svans. Bilden är tagen av rymdsonden Deep Impact på ett avstånd av 700 km. Hartley 2 är en liten kortperiodisk komet som kommer tillbaka vart 6,5 år, men den blir aldrig speciellt ljusstark och upptäcktes därför först 1986. (Källa: NASA/JPL-Caltech/UMD)



av isen smälter av solens värme bildas ett jättelikt gasmoln, och det är det molnet som vi kan se.

Kometer är mycket små himlakroppar, oftast inte större än några få kilometer. De består huvudsakligen av is blandat med sten och grus. Det mesta av isen är vanlig vattenis, men det finns också andra frysta gaser som ammoniak, metan och koldioxid. Därför kallar astronomerna ofta kometerna för ”smutsiga snöbollar”.

Medan planeter och asteroider kretsar runt solen i nära nog cirkelrunda banor, rör sig kometerna oftast i extremt avlånga banor. De tillbringar det mesta av sin tid långt ute i solsystemets ytterkanter, men då kan vi inte alls se dem. Det är först när de kommer så pass nära solen att isen börjar förångas, som vi kan få syn på dem. Vattenånga rusar då ut i rymden tillsammans med dammpartiklar och bildar ett stort men tunt gasmoln, som solen lyser på. En ström av het, tunn gas (plasma) från solen kallad *solvinden* blåser sedan ut gasen i molnet till en lång svans som kan bli flera hundra miljoner km lång. Dammet förs iväg av strålningstrycket från solljuset och bildar en annan svans som ofta, men inte alltid, sammanfaller med gassvansen.

En komet förlorar lite av sin massa varje gång den passerar nära solen, och kometerna har därför en begränsad livslängd. Man tror att det finns två ”förråd” av kometer: *Kuiper-bältet* och *Oorts moln*. Kometer i förråden kan komma ur kurs så att de rusar in i solsystemets inre delar. De flesta kometerna försvinner sedan snabbt ut igen, men ibland händer det att dragningskraften från Jupiter eller någon annan av jätteplaneterna tvingar in kometen i en ny och betydligt mindre bana runt solen.

Många av de så kallade *kortperiodiska kometerna*, d.v.s. kometer med omloppstider på upp till ett par hundra år, kommer förmodligen från Kuiper-bältet, som breder ut sig utanför Neptunus’ bana. Oorts moln är betydligt större, och består av kometer som ligger mer än tusen gånger längre bort från solen än vad Neptunus gör. Kometer som kommer på besök från Oorts moln kallas för *långperiodiska* eftersom de kan ha omloppstider på flera miljoner år.

Den mest kända av alla kometer är *Halleys komet*. Den har varit känd i flera tusen år och återkommer till våra trakter av solsystemet ungefär vart 76:e år. Sist den passerade var 1986 och då skickades inte mindre än fem rymdsonder iväg för att ta en närmare titt på kometen. Den europeiska rymdsonden Giotto fick de bästa bilderna. På dem ser man att kometens kärna är en oformlig klump som är svart som sot. Vattenånga sprutar som fontäner ur sprickor på kometens yta.

Varje år upptäcks dussintals nya kometer, men nästan alla är så pass ljussvaga att man behöver ett teleskop för att kunna se dem. Två riktigt ljusstarka kometer som varit synliga på senare år var Hyakutake 1996 och Hale-Bopp 1997. En komet uppkallas efter den eller de som upptäcker den. Många kometer upptäcks av amatörastronomer som därmed får sina namn förevigade.

Sommaren 1994 kolliderade kometen *Shoemaker-Levy 9* med Jupiter. Kometen hade redan ett par år före kraschen splittrats upp i ett tjugotal fragment, som ett efter ett störtade ner i Jupiters atmosfär under en veckas tid. Där kometdelarna hade träffat syntes stora gråa fläckar. Dessa var synliga i flera månader och några av dem var större

än jordklotet. Ännu ett år efter kollisionerna kunde man från jorden se störningar i Jupiters atmosfär. Förmodligen var det ett liknande kometnedslag för 65 miljoner år sedan som störde jordens klimat och därigenom ledde till att dinosaurierna dog ut.

En annan kollision inträffade i juli 2005 när rymdsonden *Deep Impact* kolliderade med kometen *Tempel-1* och sprängde upp en stor krater. Deep Impacts moderfarkost filmade hela kollisionen som gav forskarna många nya kunskaper om hur kometer är uppbyggda. Ett viktigt resultat var att kometer består av mindre is och betydligt mer sten och grus än man tidigare trott.

År 2014 är det meningen att den europeiska rymdsonden *Rosetta* ska gå in i omloppsbana runt kometen *Churyumov-Gerasimenko* för att man för första gången på nära håll ska kunna följa vad som händer på en komet. Rosetta ska också släppa av en landare kallad *Philae*.

Månar — planeternas följeslagare

Alla planeter förutom Merkurius och Venus har en eller flera månar som kretsar runt dem. En del asteroider och isdvärgar har också månar. Jupiter, Saturnus och Uranus har alla minst 27 var! De allra flesta månarna är dock ganska små. Vi kan vara stolta — vår egen måne är faktiskt den femte största i hela solsystemet!

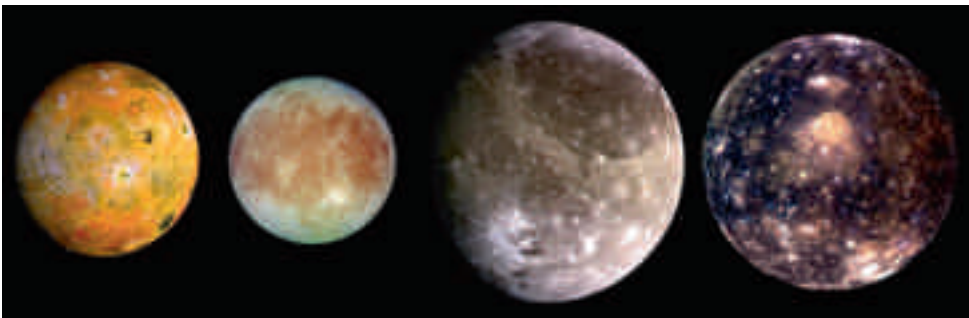
De första månarna kring en annan planet upptäcktes av Galileo Galilei när han 1610 för första gången riktade ett teleskop mot Jupiter och då fick syn på fyra små ljusprickar vid sidan av planeten. Dessa *galileiska* månar heter Io, Europa, Ganymedes och Callisto, och de hör till de största månarna i solsystemet.

På jupitermånen Io pågår det ständigt vulkanutbrott. Smälta svavelföreningar sprutar hundratals kilometer upp i rymden innan de regnar ner och lägger sig på Ios yta, som mest ser ut som en rutten apelsin.

På Europa finns det en djup underjordisk ocean täckt av ett många kilometer tjockt istäcke, och en del forskare tror att det skulle kunna finnas någon form av liv där! Det finns även indikationer på att Ganymedes och Callisto också kan tänkas ha ett lager av flytande vatten, men betydligt djupare ner, förmodligen 100–200 km under ytan.



Månen är den enda främmande himlakropp som fått besök av människor. Här ser vi James Irwin göra iordning Apollo 15s månbil i juli 1971. (Källa: NASA)



Av de sex största månarna i solsystemet kretsar fyra kring Jupiter. De visas här i skalenliga storlekar, med Io som kretsar närmast Jupiter längst till vänster, följd av Europa, Ganymedes och slutligen Callisto som kretsar längst ut. Io täcks av gulaktiga svavelföreningar från otaliga vulkanutbrott, Europa har ett slätt istäcke som döljer en underjordisk ocean, medan Ganymedes och Callisto täcks av landskap med kratrar. (Källa: NASA/JPL/DLR)

Eftersom de flesta månar är små har de inte tillräckligt stor dragningskraft för att kunna hålla kvar en atmosfär. Det är bara de allra största månarna som har atmosfärer om än mycket tunna. Enda undantaget är Titan som har en atmosfär som till och med är tjockare än jordens. Liksom vår egen atmosfär består den till största delen av kväve.

Enceladus är en mellanstor måne som kretsar runt Saturnus. Små ispartiklar sprutar upp från sprickor vid månens sydpol och bidrar med material till en av ringarna runt Saturnus. Upptäckten gjordes 2005 och det är ännu ett mysterium hur en så liten himlakropp kan uppvisa vulkanisk aktivitet.

En annan av Saturnus' månar, Iapetus, har en sida som är extremt mörk och en sida som är ljus. 2004 upptäckte rymdsonden Cassini att Iapetus också har en bisarr 1 300 kilometer lång bergskedja som löper längs med månens ekvator och på sina ställen är 20 kilometer hög.

Mars har två pyttemånar som inte är större än ett par mil. De heter Phobos och Deimos. Förmodligen är de asteroider som fångats in av Mars.

Av solsystemets fem dvärgplaneter är det tre som har månar: Eris har en, Pluto har fem och Haumea har två.

Även asteroider och isdvärgar i Kuiper-bältet har månar. Den första asteroid-månen upptäcktes 1993 och man känner nu till ett 130-tal asteroider som har var sin måne. 2005 upptäcktes det första av fem kända asteroidsystemet med två månar: Sylvia. Man har också hittat månar runt ett 60-tal isdvärgar i Kuiper-bältet. Den isdvärg som har det största kända antalet månar är Pluto som har fem stycken.

Totalt finns det 17 månar som har diametrar över 500 km:

<i>Namn</i>	<i>Diameter</i>	<i>Kretsar runt</i>	<i>Avstånd</i>	<i>Omloppstid</i>
Ganymedes	5 262 km	<i>Jupiter</i>	1 070 400 km	7,15 dygn
Titan	5 149 km	<i>Saturnus</i>	1 221 900 km	15,95 dygn
Callisto	4 821 km	<i>Jupiter</i>	1 882 700 km	16,69 dygn
Io	3 643 km	<i>Jupiter</i>	421 800 km	1,77 dygn
Månen	3 476 km	<i>Jorden</i>	384 400 km	27,32 dygn
Europa	3 122 km	<i>Jupiter</i>	671 100 km	3,55 dygn
Triton	2 707 km	<i>Neptunus</i>	354 800 km	−5,88 dygn
Titania	1 578 km	<i>Uranus</i>	436 300 km	8,71 dygn
Rhea	1 529 km	<i>Saturnus</i>	527 100 km	4,52 dygn
Oberon	1 523 km	<i>Uranus</i>	583 500 km	13,46 dygn
Iapetus	1 471 km	<i>Saturnus</i>	3 560 900 km	79,33 dygn
Charon	1 207 km	<i>Pluto</i>	17 500 km	6,39 dygn
Umbriel	1 169 km	<i>Uranus</i>	266 000 km	4,14 dygn
Ariel	1 158 km	<i>Uranus</i>	190 900 km	2,52 dygn
Dione	1 123 km	<i>Saturnus</i>	377 400 km	2,74 dygn
Tethys	1 066 km	<i>Saturnus</i>	294 700 km	1,89 dygn
Enceladus	504 km	<i>Saturnus</i>	238 000 km	1,37 dygn

Io, månen, Europa och Triton är större än Eris och Pluto medan Ganymedes, Titan och Callisto dessutom är större än Merkurius. Omloppstiden för Triton är angiven med ett minustecken för att indikera att Triton rör sig i en *retrograd* bana, d.v.s. i en bana som går i motsatt riktning jämfört med hur Neptunus roterar runt sin egen axel.

Månen —

vår närmaste granne

Månen är vår närmaste granne i rymden. Det är en karg och ogästvänlig himlakropp täckt av kratrar efter otaliga meteoritnedslag. Det finns ingen luft på månen och temperaturen växlar därför mellan 100°C på dagen och -200°C på natten.

Månytan är översållad av kratrar från alla meteoriter som slagit ned under årmiljardernas lopp. Från jorden ser vi tydligt mörkare områden som kallas *hav*. För länge sedan trodde man nämligen att det fanns vatten där, men nu vet vi att haven egentligen är stora slätter av stelnad lava.

Månen har så kallad *bunden rotation*. Det betyder att den alltid vänder samma sida mot jorden. Månens baksida visste vi därför ingenting om innan de första rymdsonderna kunde fotografera den 1959. Det visade sig då att den liknar framsidan med en viktig skillnad: det finns nästan inga "hav" där.

Månen kretsar ett varv runt jorden på lite mindre än en månad. Månens olika faser beror på att den sida av månen som vi kan se blir olika mycket belyst av solen under varvet runt jorden. När det är fullmåne är alltså framsidan belyst av solen, och när det är nymåne är det månens baksida som är vänd mot solen.

Några gånger per år skymmer månen solen och vi ser en solförmörkelse. Om det istället är jorden som skymmer bort solen för månen blir det en månförmörkelse.

Månens dragningskraft har flera viktiga effekter på vårt eget jordklot: den skapar tidvattnet, den stabiliserar jordaxelns riktning vilket ger ett jämnare klimat och den hjälper till att driva jordens magnetfält som skapar en skyddande kokong som hindrar mycket av den farliga partikelstrålningen från solen från att nå jorden.

Alla stora månar i solsystemet kretsar kring jätteplaneterna utom jordens måne, som faktiskt är den femte största. Varför vår lilla planet har begåvats med en så stor måne har förbryllat astronomerna i många år. Nu tror man att den bildades av material som kastades ut från jorden, när det unga jordklotet i solsystemets begynnelse kolliderade med en himlakropp som kan ha varit stor som planeten Mars.

Månen är den enda främmande himlakropp som besökts av människor. Sex bemannade månlandningar genomfördes under åren 1969–1972, och månastronauterna tog med sig hundratals kilo prover från månen, som fortfarande sysselsätter forskare över hela världen.

<i>Avstånd från jorden:</i>	384 400 km
<i>Diameter:</i>	27% av jordens (3 476 km)
<i>Massa:</i>	1,2% av jordens (73,5 miljarder miljarder ton)
<i>Omloppstid:</i>	27,32 dagar
<i>Utseende:</i>	gammalt kargt kraterlandskap med mörkare lavafält (s.k. ”hav”) på den sida som alltid är vänd mot jorden
<i>Atmosfär:</i>	ingen
<i>Upptäckt:</i>	har alltid varit känd

Io — ett vulkanparadis

Io är en måne som mest liknar en rutten apelsin. Mängder med aktiva vulkaner sprutar ut gas och stoft hundratals kilometer ut i rymden. Vulkanutbrott och lavaflooder skulpterar hela tiden om månens utseende.

Io är den innersta av de fyra stora månarna som kretsar kring Jupiter. Io är också den mest vulkaniska himlakroppen i solsystemet. Ytan är översållad med vulkaner och dussintals av dem kan vara aktiva samtidigt. Material från de kraftigaste vulkanutbrotten kan kastas upp 500 kilometer innan det regnar ner. Rymdsonden Galileo flög i augusti 2001 rakt igenom ett sådant utbrott och kunde analysera partiklarna som kastats ut. De visade sig vara mycket små flingor av frusen svaveldioxid.

Ytan är mycket ung och förändras ständigt av vulkanutbrott och utströmmande lavaflooder. Landskapet är osedvanligt färgglatt och uppvisar olika nyanser av rött, gult, orange, brunt, vitt och svart. Många av färgtonerna är typiska för olika svavelföreningar och man trodde därför tidigare att lavan huvudsakligen bestod av sådana ämnen. Mätningar gjorda av rymdsonden Galileo visar dock att lavan från de flesta vulkanerna är för het, och man tror nu att lavan är mer lik jordisk lava som huvudsakligen består av kiselföreningar.

Den våldsamma vulkaniska aktiviteten på Io beror på att månen hettas upp när den knådas av starka tidvattenkrafter från Jupiter och dess andra stora månar. Tidvattenkrafterna gör att ytan lyfts och sänks 100 meter. Den här hårdhänta knådningen håller Ios inre i ett smält tillstånd och förser det stora antalet aktiva vulkaner med lava. Io är den enda månen i den yttre delen av solsystemet som saknar vatten och andra flyktiga ämnen.

Avstånd från Jupiter: 1,10 gånger avståndet jorden-månen (421 800 km)

Diameter: 1,05 gånger månens (3 643 km)

Massa: 1,22 gånger månens

Omloppstid: 1,77 dagar

Utseende: extremt ung yta med många aktiva vulkaner som förändrar landskapet; omfattande lavafält i olika nyanser av rött, gult, orange, brunt, vitt och svart

Atmosfär: extremt tunn bestående av svaveldioxid och gaser från vulkanutbrott

Upptäckt: 1610 av Galileo Galilei

Europa — en vattinig måne

Jupitermånen Europa är täckt av ett tjockt istäcke. Under isen finns en enorm ocean av saltvatten där en del forskare tror att det kan finnas levande varelser!

Europa är något mindre än vår egen måne och dess yta är en av solsystemets slätaste. Det finns inga berg eller dalar och knappt några kratrar; de högsta kullarna är inte högre än några hundra meter. Hela månen är täckt av ett tjockt vitt istäcke som genomkorsas av mörkare sprickor.

Ingen vet hur tjockt istäcket är; men det är förmodligen upp till flera mil tjockt. Under istäcket tror man att det finns en ocean av saltvatten som kan vara upp till 100 kilometer djup. Liksom grannmånen Io utsätts Europa för tidvattenkrafter som skapar värme nog för att förhindra att den underjordiska oceanen fryser. Man har också sett tecken på att det kan finnas stora sjöar infrusna i isskorpan och att de kanske bara ligger några få kilometer under ytan.

Det faktum att Europa har en ocean av flytande vatten har gjort att en del forskare har spekulerat i att det skulle kunna finnas liv på Europa. Förekomsten av flytande

vatten gör det till och med troligare att det finns liv där än på Mars. Här på jorden vet vi att det finns avancerade ekosystem runt heta källor nere på havsbotten. Liknande ekosystem skulle kunna existera på Europa, och teoretiskt sett skulle det kunna finnas djur och stora organismer långt mycket mer avancerade än de bakterier som möjligen skulle kunna existera på Mars.

Europa har en extremt tunn atmosfär av syre. Man tror att energirik strålning som träffar ytan slår sönder vattenmolekyler som finns i isen i dess beståndsdelar väte och syre. Vätet försvinner ut i rymden medan det tyngre syret kan stanna kvar ett tag och bilda en tunn atmosfär.

Avstånd från Jupiter: 1,75 gånger avståndet jorden–månen (671 100 km)

Diameter: 90% av månens (3 122 km)

Massa: 65% av månens

Omloppstid: 3,55 dagar

Utseende: en slät isboll med stora mängder mörkare sprickor, berg och dalar saknas helt, väldigt få kratrar synliga

Atmosfär: 0,01 miljarddelar av jordens tryck; 100% syre

Upptäckt: 1610 av Galileo Galilei

Titan —

en måne med atmosfär

Titan är den näst största månen i solsystemet och kretsar runt Saturnus. Den har en tjock atmosfär som alltid är fylld med dis. Det är den enda kända himlakroppen förutom jorden där det regnar — fast regndropparna består inte av vatten utan av metan.

Titan är den enda måne som har en tjock atmosfär; den är ungefär 50% tätare än jordens. Det är dessutom den enda himlakroppen i solsystemet som i likhet med jorden har en atmosfär som huvudsakligen består av kväve. Atmosfären innehåller också metan och en del av metanet har under inverkan från solstrålningen bildat olika kolföreningar som fyller atmosfären med ett ogenomskinligt dis. Kameror som använder infrarött ljus kan dock se igenom diset och rymdsonden Cassini har sedan ankomsten till Saturnus 2004 påbörjat en kartläggning av Titans yta.



Ovan: På Jupiters måne Io pågår det ständigt vulkanutbrott. Här ser vi lavaflöden från en av de aktiva vulkanerna. Landskapet är gulffärgat på grund av förekomsten av olika svavelföreningar. Rymdsonden Galileo tog bilden i februari 2000. (Källa: NASA/JPL)



Vänster: Den första bilden tagen från en måne som kretsar runt en annan planet. Den europeiska rymdsonden Huygens fotograferade det här landskapet på Saturnus' måne Titan efter att ha landat där i januari 2005. Stenarna i förgrunden består av vattenis och är runt 5 cm stora. Sanden består av vattenis och kolväten, och det verkar som om flytande metan och etan har runnit fram över landningsplatsen och gjort isklumparna rundare, precis som rinnande vatten gör stenar på jorden rundare. (Källa: ESA/NASA/JPL/University of Arizona)

De bästa bilderna togs av den europeiska rymdsonden Huygens som landade på Titan i januari 2005. Bilderna visar ljusa områden med mörka fåror som ser ut att vara skapade av flytande vätska och som mynnar ut i mörkare områden. Metan och etan kan existera i flytande form på Titan, och man tror att det kan falla regn bestående av dessa ämnen. Huygens landade i en torr flodfåra. Det visade sig dock finnas flytande metan i marken under sonden. På bilderna från landningsplatsen syns rundade ”stenar” av vattenis som förmodligen slipats av rinnande metan.

Man tror att stora delar av landskapet består av vattenis. Olika kolföreningar som fallit ner från atmosfären bildar ett mörkt lager som spolas ner i dalgångar och låglänt terräng av metanregn. Det har spekulerats i att det också skulle kunna finnas sjöar av flytande metan och etan på Titan och 2006 upptäckte Cassini ett antal små sjöar nära Titans poler.

En del forskare anser att Titan är den himlakropp som mest liknar den tidiga jorden. Genom att studera Titan kan vi kanske lära oss mer om hur det var på jorden när jorden var ung.

<i>Avstånd från Saturnus:</i>	3,18 gånger avståndet jorden-månen (1,22 miljoner km)
<i>Diameter:</i>	1,48 gånger månens (5 149 km)
<i>Massa:</i>	1,83 gånger månens
<i>Omloppstid:</i>	15,95 dagar
<i>Utseende:</i>	helt täckt av orangeaktigt dis; isyta med ljusa och mörka områden formad av metanregn med talrika flodfåror och små metansjöar
<i>Atmosfär:</i>	1,5 gånger tätare än jordens; 95% kväve, 5% metan
<i>Upptäckt:</i>	1655 av Christiaan Huygens

Fantastiska fakta:

Titan är den enda månen som har en riktig atmosfär. Det tog 2,5 timmar för den fallskärmsförsedda rymdsonden Huygens att nå ytan på Titan i januari 2005. Det gav instrumenten ombord ordentligt med tid för att detaljstudera Titans unika atmosfär.

Enceladus —

en aktiv liten krabat

Enceladus är en liten Saturnusmåne som likt Europa har en underjordisk ocean. Sprickor vid sydpolen leder ner till oceanen och fontäner av iskristaller sprutar ut i rymden.

Enceladus är den sjätte största månen som kretsar runt Saturnus. Den har en diameter på ungefär 500 km, är täckt av vattenis och antogs länge vara en vanlig mellanstor, djupfryst ismåne, som det finns ganska många av i den yttre delen av solsystemet. Det förändrades helt 2005 när rymdsonden Cassini flög förbi och skickade tillbaka bilder som ingen hade förväntat sig: vid Enceladus' sydpol finns ett säreget landskap med långa sprickor ur vilka det sprutar fontäner av iskristaller.

Fortsatta undersökningar har visat att dessa fontäner också innehåller salt, vilket betyder att iskristallerna kommer från en underjordisk ocean. Man har också hittat spår av kolföreningar, vilket gör att Enceladus har seglat upp som en het kandidat för utomjordiskt liv. Hur en så liten måne kan producera tillräckligt med värme för att hålla en ocean flytande är fortfarande oklart, men man gissar att det kan vara en kombination av värme från radioaktiva mineraler som sönderfaller i månens inre tillsammans med tidvattenkrafter från andra månar som kretsar runt Saturnus.

Det mesta av iskristallerna som kastas ut försvinner ut i rymden och hamnar i en av Saturnus' ringar, den s.k. E-ringen. En liten del faller tillbaka och lägger sig som extremt finkornig pudersnö. Det är en ganska långsam process — man uppskattar att det tar mer än 1000 år innan det har kommit en millimeter snö på Enceladus. Den här nysnön gör att Enceladus är den himlakropp i solsystemet som reflekterar ljus bäst. Hela 99% av det infallande ljuset reflekteras, vilket är betydligt mer än vad snö på jorden klarar av att reflektera. Vår egen måne reflekterar inte mer än 12% av det infallande ljuset, ungefär lika mycket som grå asfalt.

<i>Avstånd från Saturnus:</i>	62% av avståndet jorden-månen (238 000 km)
<i>Diameter:</i>	15% av månens (513×503×497 km)
<i>Massa:</i>	0,15% av månens
<i>Omloppstid:</i>	1,37 dagar
<i>Utseende:</i>	ungt islanskap med kratrar, sprickor och färör täckt av skinande blank nysnö
<i>Atmosfär:</i>	ingen stabil atmosfär — vatteniskristaller sprutar ut i rymden från sprickor vid sydpolen — atmosfären består

till 90% av vatten, men man har också hittat kväve,
koldioxid och metan
Upptäckt: 1789 av William Herschel

Triton —

en måne med gejsrar

Triton är den enda stora månen som kretsar runt Neptunus. Dess bana runt planeten är en perfekt cirkel. Flytande kväve under månens yta sprutar upp som gejsrar.

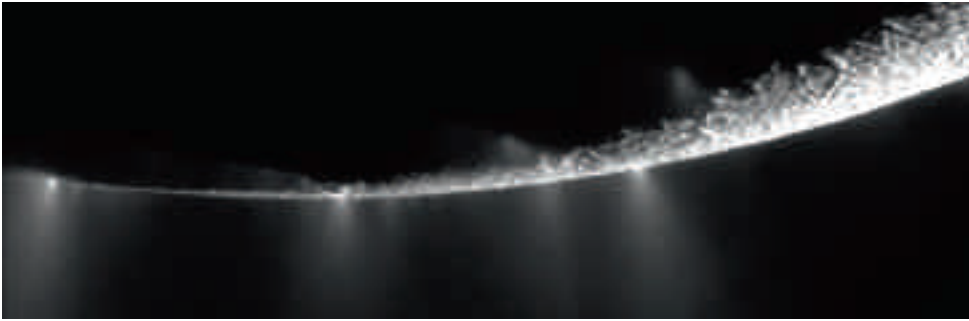
Triton är den enda större måne i hela solsystemet som kretsar i en *retrograd* bana, d.v.s. i en bana som går i motsatt riktning jämfört med hur Neptunus roterar runt sin egen axel. Många astronomer tror därför att Triton bildats någon annanstans i solsystem, förmodligen i Kuiper-bältet, och sedan fångats in av Neptunus. Det skulle också kunna förklara varför Neptunus har färre månar än de andra jätteplaneterna. När Triton infångades kastades troligen ett antal mindre månar iväg.

En retrograd bana som Tritons är inte stabil, utan månen kryper sakta närmare Neptunus. Det är en långsam process, men om ett par miljarder år kommer Triton att ha kommit så nära Neptunus att tidvattenkrafter från jätteplaneterna kommer att bryta sönder Triton i småbitar. Neptunus kommer då att få ett fantastiskt ringsystem.

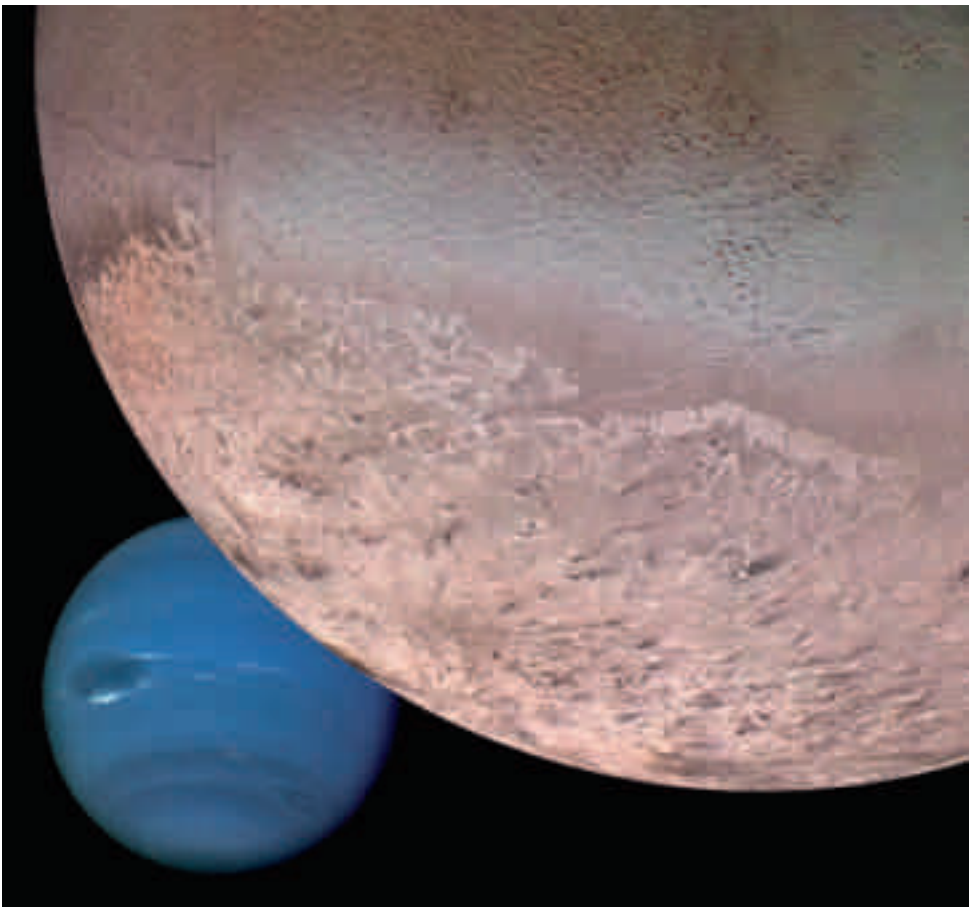
Mycket av det vi vet om Triton kommer från rymdsonden Voyager 2 som flög förbi Neptunus och Triton 1989. Triton består av ungefär 75% sten och 25% is. Månen har en tunn atmosfär som nästan uteslutande består av kväve tillsammans med små mängder metan. Ytan förefaller vara tämligen ung med få kratrar och är täckt av fruset kväve och metan. Det finns långa åsar och dalgångar. Stora delar av ytan har en rosaaktig färgton, som kommer från kemiska föreningar som bildats av metanet.

En stor överraskning var upptäckten att Triton har många gejsrar. Kväve, metan och stoftpartiklar sprutar flera km upp i atmosfären och förs sedan i väg hundratals kilometer av vindarna innan stoftet faller ner på ytan igen. Man tror att gejsrar på Triton kan vara aktiva i upp till ett år.

Avstånd från Neptunus: 92% av avståndet jorden-månen (354 800 km)
Diameter: 78% av månens (2 707 km)
Massa: 29% av månens
Omloppstid: 5,88 dagar



Iskristaller sprutar ut ur sprickor i istäcket vid den lilla Saturnusmånen Enceladus' sydpol. Iskristallerna tros komma från en underjordisk ocean. (Källa: NASA/JPL/SSI)



Neptunus' största måne Triton har ett säreget rosafärgat landskap. I det här fotomontaget ser vi Neptunus med den stora mörka fläcken i bakgrunden. (Källa: NASA/JPL-Caltech)

Utseende: ung yta med kväve-gejsrar och få kratrar; rosa, vita och svarta ytformationer
Atmosfär: 0,02 tusendelar av jordens tryck; 100% kväve
Upptäckt: 1846 av William Lassell

Stjärnfall —

himmelskt grus

Rymden mellan planeterna är inte tom, utan där finns en massa stenar, gruskorn och dammpartiklar. Ibland kolliderar ett gruskorn med jorden. Gruskornet brinner upp när det störtar in i jordens atmosfär — vi ser det som ett stjärnfall.

Rymdgruset har flera olika ursprung. Det består dels av överblivet material från solsystemets skapelse, dels av splitter från kollisioner mellan olika himlakroppar, och dels av material som kastats ut från kometer. När jorden passerar nära en kometbana kan man därför se extra många stjärnfall. Det händer exempelvis omkring den 12:e augusti varje år.

Meteor är det astronomiska namnet för stjärnfall. Ovanligt ljusstarka stjärnfall kallas ibland för *bolider*.

Om en större sten kommer i jordens väg kanske den överlever färden genom atmosfären och slår ner på marken. En sådan sten kallas för en *meteorit*. Man har hittat meteoriter som väger många ton.

Meteoriter är värdefulla för astronomin, eftersom de är *gratisprover* som kommer från olika delar av solsystemet. Man har hittat meteoriter som kommer från månen, Mars och åtskilliga asteroider. Genom att analysera meteoriter har vi lärt oss mycket mer om framförallt asteroidernas sammansättning. Exempelvis har man hittat livets byggstenar, aminosyror, i flera meteoriter vilket visar att dessa ämnen fanns i rymden redan när asteroiderna och planeterna bildades.

Även enorma klippblock kan kollidera med jorden, men lyckligtvis är rymden så stor att det händer extremt sällan. Exempelvis tror man att dinosaurierna dog ut för 65 miljoner år sedan som en följd av att en flera mil stor himlakropp störtade i Mexico och bildade en 180 km stor krater. Vid nedslaget kastades så mycket damm och stoft upp i jordens atmosfär att solljuset inte kunde nå ner till marken på många månader. Över hela jordklotet visnade växterna och alla stora djur svalt ihjäl.

Ett mindre klippblock störtade i Sibirien den 30:e juni 1908. Klippblocket exploderade på några kilometers höjd över floden Steniga Tunguska. Explosionen var

1 000 gånger kraftigare än atombomben som föll över Hiroshima! Över 3 000 kvadratkilometer skog jämnades med marken, och tryckvågen gick flera varv runt jordklotet! Turligt nog kom inte så många människor till skada eftersom området var nästan helt obebott.

Fantastiska fakta:

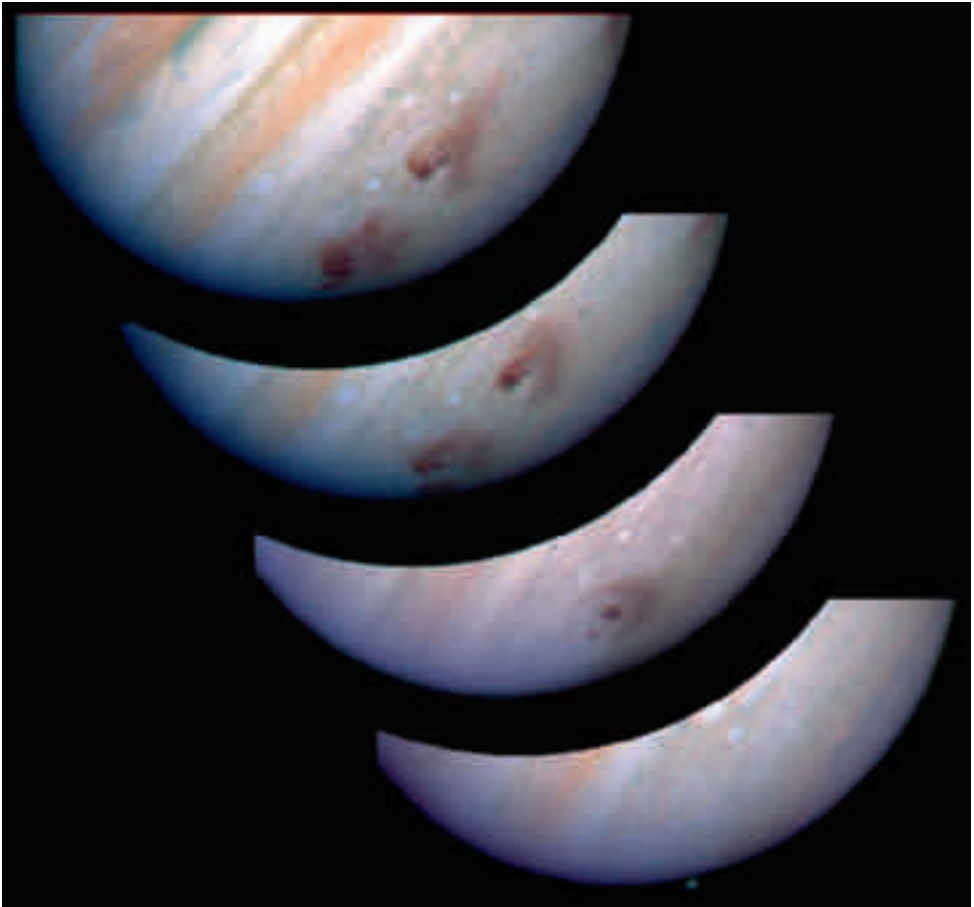
Varje dygn störtar 100 ton sten och grus från rymden in i jordens atmosfär! Hastigheten är hög: mellan 15 och 70 kilometer i sekunden! Det mesta brinner därför upp i atmosfären, men ibland når stenar marken. Sådana stenar från rymden kallas *meteoriter*.

Solvinden — blåser genom solsystemet

Solen kastar hela tiden ut tunn, het gas i rymden. Denna gas kallas för "solvinden". Solvinden sveper fram mellan planeterna med hastigheter på många hundra kilometer i sekunden! När den träffar jordens atmosfär uppstår norrsken.

Solvinden är ett så kallat *plasma*, d.v.s. det är en gas som består av elektriskt laddade partiklar: elektroner och atomkärnor. Den kommer inte i en jämn ström, utan ibland sker det våldsamma utbrott på solen som sänder iväg kraftiga skurar av partiklar. Vid ett sådant utbrott kan solvinden nå en hastighet på över 1 000 km/s. Den typiska hastigheten är dock cirka 450 km/s. Varje sekund lämnar ungefär en miljon ton materia solen i form av solvinden.

Solvinden "blåser" genom solsystemet och skapar en bubbla av gas som omsluter hela solsystemet. Denna bubbla sträcker sig ut till ett avstånd av ungefär 100 gånger avståndet mellan solen och jorden. På det avståndet bromsas solvinden upp när den kolliderar med den interstellära gasen som finns mellan stjärnorna. Gränszonen mellan solvinden och den interstellära gasen kallas för *heliopausen*. Man tror att de båda *Voyager*-sonderna som sköts upp 1977 ska komma att passera heliopausen någon gång under 10-talet. Om de gör det kommer vi för första gången att kunna göra direkta



Ovan: Jupiter fick flera kosmiska "blått-ror" 1994 när resterna av kometen Shoemaker–Levy 9 kolliderade med planeten. Ljusskenet från en av kollisionerna syns utanför planetens kant på den nedersta bilden, medan de andra tre bilderna visar störda områden med en rödbrun färgton i atmosfären. (Källa: NASA/HST)

Höger: Järnmeteoriter är den vanligaste typen av meteoriter. Den här järnmeteoriten är dock lite speciell — den ligger nämligen på Mars, där den upptäcktes och undersöktes av robotbilen Opportunity. (Källa: NASA/JPL/Cornell)



mätningar av förhållandena i rymden mellan stjärnorna. Mätningar från Voyager 1 2012 tyder på att sonden är mycket nära heliopausen.

Norrskén —

ett verk av solvinden

Norrskenet kan få hela himlen att glöda i grönt och rött under mörka nätter. Detta fantastiska skådespel orsakas av partiklar som kommer från solen, den s.k. solvinden.

Jordens magnetfält tvingar de flesta solvindspartiklarna att styra åt sidan så att de inte träffar jordklotet, men en del slinker ändå igenom vid jordens poler och ger upphov till *norrskén*. Solvinden och jordens magnetfält får laddade partiklar att kollidera med molekyler högt uppe i de översta luftlagren. Norrskenet kommer från de träffade partiklarna; man kan göra en lös jämförelse med hur bildskärmen på en gammal tjock-TV lysas upp när den träffas av elektronerna från bildrörets elektronkanon.

Norrskenet kan uppträda i många olika skepnader; bågar, fläckar, strålar och draperier av ljus är några typiska former. Den vanligaste färgen är grönt, även om rött också är en vanlig färg. Dessa båda färger kommer från syre, medan kväve producerar blått och violett ljus.

Vid de allra våldsammaste utbrotten kan solvinden bli så stark att den stör jordens magnetfält. Man talar då om att jorden drabbats av en *magnetstorm*, något som vårt moderna samhälle är sårbart för. Vid en magnetstorm störs viktig radiokommunikation, tågtrafik kan lamslås, satelliter kan skadas och el- och telenäten kan slås ut. Exempelvis förorsakade en magnetstorm ett stort strömavbrott i Malmö den 30 oktober 2003.

Norrskenet hänger ihop med solfläckscykeln på solen. Under en 11-årsperiod ökar och minskar antalet solfläckar på solytan, och ju fler solfläckar det finns, desto större är sannolikheten att det inträffar våldsamma explosioner och utbrott som slungar iväg en extra kraftig solvind. När denna når jorden blir norrskenet extra praktfullt och kan ses längre söderut än normalt. Nästa solfläcksmaximum inträffar 2013.

Sverige bedriver norrskensforskning i Kiruna. Vi har också skickat upp flera satelliter för att studera norrskenet från rymden: Viking (1986), Freja (1992), Astrid-1 (1995) och Astrid-2 (1998).

EXOPLANETER

Exoplaneter — planeter runt andra stjärnor

*Fram till 1992 var planeterna i vårt eget solsystem de enda planeter vi kände till. Då upptäcktes de allra första **exoplaneterna**, d.v.s. planeter som kretsar runt en annan stjärna. Idag har utforskningen av exoplaneter blivit en viktig gren av astronomin.*

År 1992 hittades de första planeterna kring en död stjärna, en *pulsar* kallad PSR B1257+12, och 1995 upptäcktes den första planeten runt en vanlig stjärna (51 Pegasi). Sedan dess har antalet upptäckta exoplaneter ökat rejält, och i oktober 2012 kände man till nästan 850 säkra planeter. Samtidigt har man en växande lista med mer än 2300 möjliga kandidater som man håller på att undersöka.

Vi vet fortfarande inte hur vanligt det är att en stjärna har planeter. Utgående från de exoplaneter som hittills upptäckts, kan vi dra slutsatsen att minst 5% av alla stjärnor har planeter, men det här är bara en undre gräns, och det är förmodligen så att en betydligt större andel stjärnor har planeter. En gissning baserad på data tagna med planetsökarteleskopet *Kepler* är att det finns minst 50 miljarder exoplaneter bara i vår egen galax Vintergatan. En statistisk studie publicerad 2012 kom fram till att varje stjärna i vår galax har i medeltal 1,6 planeter, d.v.s. att nästan alla stjärnor har planeter.

Exoplaneter får inga speciella namn. Istället tar man stjärnans namn (som ofta är ett nummer i en stjärnkatalog) och lägger till en liten bokstav. Man börjar dock inte på "a" utan på "b". Den första planeten som upptäcktes runt stjärnan *55 Cancri* kallas därför för *55 Cancri b* och den nästföljande *55 Cancri c*.

Det fanns astronomer som redan långt före 1992 trodde sig ha hittat planeter runt några av de närmaste stjärnorna; *Barnards stjärna*, *alfa Centauri* och *Lalande 21185* är några exempel på stjärnor där man trott sig ha upptäckt exoplaneter. Inga av

de här planeterna har dock överlevt en närmare granskning, med ett undantag: 1989 publicerades en rapport som sa att stjärnan HD 114762 har en liten följeslagare. Dess existens har senare blivit bekräftad, men man vet fortfarande inte om det är en stor planet eller en *brun dvärg*, d.v.s. en liten misslyckad dvärgstjärna.

Det finns faktiskt (åtminstone) en planet som kretsar runt alfa Centauri, men den upptäcktes inte förrän i oktober 2012. Planeten kallas ”*alfa Centauri Bb*” och är den närmaste exoplaneten. Den är lite större än jorden men kretsar så nära sin stjärna att ett år bara varar 3,2 dagar och temperaturen på ytan uppskattas till cirka 1 200°C.

Runt en del nyfödda stjärnor har man hittat skivor av gas och stoft. Man tror att planetsystem föds ur en sådana skivor genom att gasen och stoftet med tiden klumpas ihop sig till planeter. Infrarödteleskopet Spitzer har funnit skivor med hål i, hål som man tror har skapats av nybildade planeter.

Fantastiska fakta:

I *Orionnebulosan* har astronomerna fotograferat nyfödda stjärnor omgivna av mörka skivor bestående av gas och stoft. I sådana skivor tror man att det skapas nya planeter!

Planeter runt andra stjärnor —

svåra att upptäcka

Planeter är så små och ljussvaga att det är näst intill omöjligt att se om det finns några planeter ens runt vår närmaste stjärngranne. Därför är astronomerna tvungna att ta till andra knep för att avslöja om det finns planeter runt andra stjärnor.

Man har länge trott att det är naturligt att planeter bildas runt en nyfödd stjärna, men det har inte gått att bevisa det, eftersom det är extremt svårt att se planeter

runt andra stjärnor ens i världens största teleskop. (Från jorden kan vi ju inte ens se jätteplaneten Neptunus utan hjälp av teleskop trots att den ligger i vårt eget solsystem!) Den första bilden av en främmande planet togs därför inte förrän 2004 och fram till mitten av 2012 var det bara ett par dussin planeter som blivit fotograferade.

Lyckligtvis finns det ett annat sätt som kan avslöja en planet — dess dragningskraft stör nämligen stjärnan den kretsar kring en aning. Med modern teknik kan man mäta sådana störningar.

Än så länge kan man bara upptäcka tunga planeter som har ganska korta omloppstider med denna metod. Nästan alla planeter man hittills hittat är därför jätteplaneter. Sådana planeter är förmodligen inte speciellt lämpade för liv, men finns det stora planeter, så finns det antagligen små också. Det kan också tänkas att jätteplaneter kan ha månar som kan vara lämpliga för liv (som månen *Pandora* i filmen *Avatar*).

Planeter runt pulsarer är ett undantag. Runt pulsaren PSR B1257+12 har man till och med hittat en planet som inte är större än vår måne. Man tror att pulsarplaneterna bildats av resterna efter den supernovaexplosion som skapade pulsaren. Eftersom en pulsar är en död stjärnrest är det så gott som uteslutet att det skulle kunna finnas liv på en pulsarplanet.

Man har också utvecklat andra metoder för att hitta planeter. En metod är att leta efter små förmörkelser när en planet passerar framför stjärnan den kretsar runt. Ett specialbyggt teleskop för den typen av observationer kallat *Kepler* sköts upp 2009, och man hoppas att det ska kunna hitta planeter som inte är större än jorden.

Nya teleskop som kan "släcka ut" det starka ljuset från en stjärna så att det blir lättare att se en planet i dess närhet är också på väg att utvecklas.

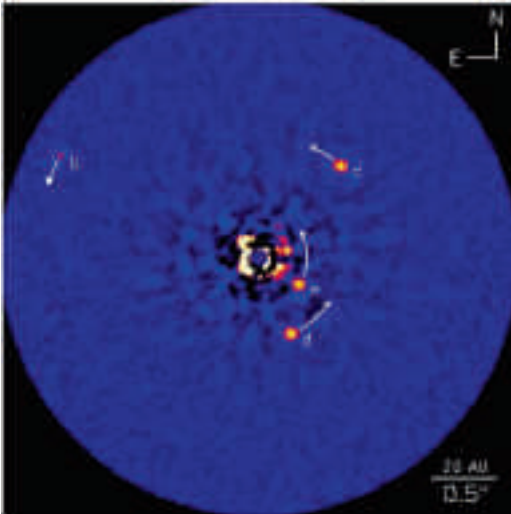
För de flesta exoplaneter känner vi inte till så mycket mer än omloppstiden och avståndet från stjärnan. Massan är ofta en minimummassa, som är det minsta planeten kan väga, men i själva verket kan den vara mycket tyngre än så. Planeternas diameter och yttemperatur är oftast kvalificerade gissningar. För en hel del planeter känner vi också till omloppsbanans ellipticitet, och det har visat sig att det finns planeter som rör sig i allt från fina cirkelbanor till extremt avlånga ellipser.

Vi känner också till en del om atmosfären på ett par dussin planeter, vilket kanske kan tyckas lite märkligt med tanke på att vi knappt har lyckats ta bilder på så många planeter. Det är dock inte alltid nödvändigt att se planeten för att kunna analysera ljuset från den. Om planeten passerar bakom sin stjärna kan man ta skillnaden mellan ljuset vi mäter upp när vi ser både stjärnan och planeten tillsammans, och ljuset som enbart kommer från stjärnan när planeten är dold bakom den. Man har bland annat hittat vattenånga, metan, koloxid, koldioxid och natriumånga i atmosfären hos vissa exoplaneter.

Man hoppas att studier av atmosfären hos exoplaneter med framtida teleskop ska göra det möjligt att tala om hurvida en planet kan tänkas vara lämpad för liv eller inte. I förlängningen skulle man till och med kunna tänka sig att det kan bli möjligt att hitta planeter som hyser liv, om livet har förändrat planetens atmosfär på ett karaktäristiskt vis, på samma sätt som livet på jorden har förändrat jordens atmosfär.



Många av de planeter vi hittills upptäckt kretsar mycket nära sina stjärnor. Temperaturen på många av dessa glödande världar ligger mellan 500°C och 2000°C . Här försöker en konstnär föreställa sig hur planeten COROT-7b kan tänkas se ut. COROT-7 är en stjärna som är något mindre än solen och ligger ungefär 500 ljusår bort i stjärnbilden Enhörningen. COROT-7b upptäcktes 2009 och är 60% större än jorden, men den kretsar så nära sin stjärna att ett år bara varar i 20,5 timmar. (Källa: ESO/L. Calçada)



Stjärnan HR 8799 i stjärnbilden Pegasus har fyra kända planeter. Det här är en av de få bilder som man har lyckats ta av exoplaneter. Genom att blockera det bländande ljuset från stjärnan i mitten på bilden har man lyckats fånga de fyra planeterna. Alla fyra är jätteplaneter som är betydligt större än Jupiter. Den innersta planeten, HR 8799e, befinner sig ungefär 15 gånger längre bort från sin stjärna än avståndet mellan solen och jorden. Planetsystemet ligger 130 ljusår bort. (Källa: W.M. Keck Observatory, Ben Zuckerman)

Planetjägartekniker —

hur man hittar exoplaneter

Av de många hundra exoplaneter som upptäckts har man bara kunnat få bilder av en handfull. Hur gör man då för att leta efter planeter utan att se dem?

De två viktigaste metoderna för att spåra exoplaneter är *Dopplermätningar* och *passageobservationer*, men det finns andra metoder också. Dopplermätningar har varit den vanligaste metoden för att spåra exoplaneter fram till 2010, när rymdteleskopet *Kepler*, som använder sig av passageobservationer, började konkurrera på allvar.

Kepler sköts upp 2009 och har till uppgift att under minst 3,5 års tid stirra på samma fläck av himlen och mäta ljusstyrkan hos ungefär 150 000 stjärnor. För att klara det har Kepler den mest högupplösta kamera som någonsin skjutits ut i rymden: en kamera med mer än 95 miljoner bildpunkter.

Dopplermätningar fungerar bäst ju tyngre planeten är och ju närmare stjärnan den kretsar. Många av de först upptäckta planeterna är därför jätteplaneter som är åtskilliga gånger tyngre än Jupiter och som kretsar extremt nära sina stjärnor med omloppstider på bara några dagar.

Kepler är byggd för att hitta mindre planeter, ända ner till jordens storlek. Kepler har också lättast för att hitta planeter som kretsar nära sina stjärnor med korta omloppstider. Målet är dock att försöka hitta en jordlik planet, d.v.s. en planet av jordens storlek som kretsar kring sin stjärna på ett motsvarande avstånd som jorden. Ju längre omloppstiden är, desto längre tid tar det innan man har hunnit se planeten gå flera varv runt sin stjärna.

Här följer de viktigaste metoderna som astronomerna använder sig av för att hitta planeter runt andra stjärnor:

- **Dopplermätningar:** bygger på det faktum att det är ganska lätt att mäta en stjärnas rörelse i riktningen *från oss—mot oss* genom att studera spektrallinjer i ljuset från stjärnan. Dessa linjer flyttar sig beroende på stjärnans hastighet (s.k. *Dopplerförskjutning*). Om stjärnan har en tung planet kommer båda två att kretsa kring det gemensamma tyngdkraftscentrat, och stjärnans hastighet kommer att ändras på ett regelbundet sätt.
- **Passageobservationer:** fungerar bara för planeter som kretsar i banor som vi ser från sidan så att planeten passerar framför sin stjärna. Den skymmer då

bort en del av stjärnans ljus och om vi ser sådana förmörkelser som upprepar sig regelbundet, kan vi dra slutsatsen att de orsakas av en planet.

- **Passagetidsvariationer:** fungerar för att hitta fler planeter runt en stjärna där man redan har hittat (minst) en planet med passagemetoden. Om förmörkelsen orsakade av den redan kända planeten inte kommer med exakt regelbundenhet, så är det ett tecken på att planeten störs i sin bana av en annan planet.
- **Tidsvariationer hos förmörkelsevariabler:** fungerar som passagetidsvariationstekniken, men istället för att kontrollera regelbundenheten hos en passerande planet, kontrollerar man regelbundenheten hos förmörkelsen i ett dubbelstjärnesystem där stjärnorna passerar framför och förmörkar varandra.
- **Pulsartidsvariationer:** är också en teknik där man letar efter periodiska avvikelser i pulserna från en *pulsar*, vilket kan avslöja planeter som kretsar runt pulsaren. De första kända exoplaneterna upptäcktes runt en pulsar 1992. Bara en handfull pulsarplaneter är kända, och man tror att pulsarplaneter är väldigt ovanliga.
- **Mikrogravitationslinser:** bygger på det faktum att tunga himlakroppar fungerar som linser som förstärker ljuset från bakomvarande himlakroppar. Genom att studera hur ljuset från en mer avlägsen stjärna förändras när en mer närbelägen stjärna passerar framför den kan man analysera den mer närbelägna stjärnans tyngdkraftsfält. Om denna stjärna då har planeter kommer de att påverka hur ljuset förändras.

Några av de mest avlägsna planeterna har upptäckts med den här metoden, vilket gör att det är svårt att studera planeterna närmare. En fördel är dock att den här metoden fungerar bra för planeter som ligger långt från sina stjärnor. Om man kan studera tillräckligt många stjärnor kan man dra statistiska slutsatser om hur vanligt det är med planeter som inte kretsar jättenära sina stjärnor.
- **Fotografisk upptäckt:** är helt enkelt att man hittar en planet bredvid en stjärna på ett foto. Problemet är att planeter är extremt ljussvaga och drunknar i ljuset från sin stjärna. Hittills har man bara lyckats fotografera en handfull av alla exoplaneter som upptäckts, och de flesta var redan kända sedan tidigare. Man hoppas dock att framtida teleskop ska vara mer framgångsrika genom att använda olika metoder för att släcka ut ljuset från stjärnan.
- **Astrometriska mätningar:** är den äldsta metoden för att upptäcka planeter runt de mest närbelägna stjärnorna. Trots det har inte en enda planet ännu upptäckts med den här metoden. Däremot har astronomer genom historien flera gånger trott sig ha hittat planeter runt några av de närmaste stjärnorna som alfa Centauri, Barnards stjärna och Lalande 21185. Alla dessa upptäckter har visat sig vara falsklarm. Det beror inte på att metoden inte fungerar utan på att

astrometriska mätningar är väldigt svåra att göra. Metoden bygger på att en tung planet påverkar sin stjärna och får den att röra sig runt det gemensamma tyngdkraftscentrat. Om stjärnan är väldigt närbelägen kommer stjärnan då att flytta sig något på himlen i förhållande till andra mer avlägsna stjärnor.

Man räknar dock med att den astrometriska metoden snart kommer att leda till verkliga upptäckter; 2013 ska nämligen ett europeiskt teleskop kallat *Gaia* skickas upp i rymden för att mäta upp positioner och rörelser för en miljard stjärnor, och man räknar med att Gaia kommer att upptäcka tusentals nya planeter.

- **Infraröda analyser av stoftskivor runt stjärnor:** innebär att man letar efter luckor och hål i de skivor av stoft som kretsar runt en del stjärnor, och som man kan se med teleskop som tar emot infrarött ljus. Sådana luckor eller hål tror man orsakas av planeter. Flera planetkandidater har hittats på det här viset.

Udda exoplaneter —

mer regel än undantag

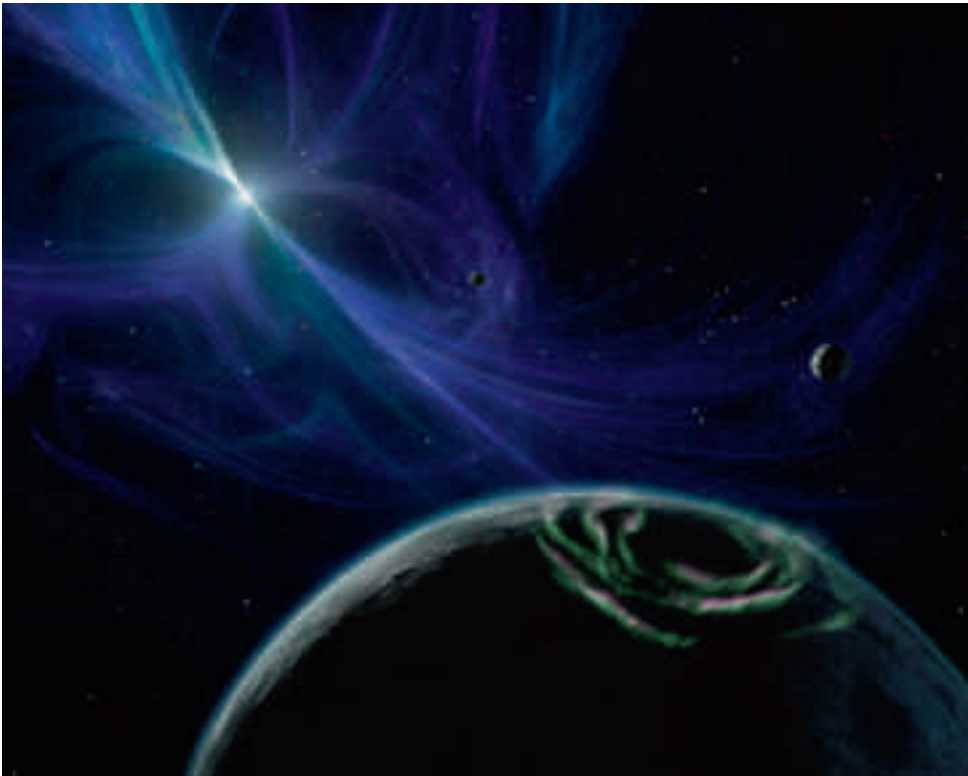
De flesta exoplaneter vi hittills hittat är märkliga bestar: de är stora jätteplaneter som kretsar runt sina stjärnor så nära de kan. På många av dem varar ett år inte mer än några dygn och atmosfären glöder med en temperatur på 1 000–2 000° C.

Många av exoplaneterna, ja, faktiskt en majoritet, är synnerligen udda planeter — det är jätteplaneter tyngre än Jupiter som kretsar runt sina stjärnor i banor mindre än Merkurius' bana. Betyder det att det är dessa planeter som är de "normala" och att planeterna i vårt solsystem är onormala? Nej, förmodligen inte. Anledningen till att vi hittills mest har hittat jätteplaneter i extremt små banor beror på att det är de som är lättast att hitta. Med bättre instrument och mer tid kommer vi att hitta fler planeter som är mindre och som befinner sig längre bort från sina stjärnor.

Den hittills mest jordlika planet som hittats är *Kepler-22b*, som kretsar runt en stjärna som liknar vår egen sol och befinner sig ungefär 600 ljusår bort i stjärnbilden Svanen. Ett år på Kepler-22b är 290 dagar långt och den ligger på ett avstånd från sin stjärna som gör det möjligt att vatten skulle kunna existera i flytande form på dess yta. Planeten är dock betydligt större än jorden med en diameter som är 2,4 gånger



De (i oktober 2012) fem minsta kända exoplaneterna visas här i en storleksjämförelse med Mars och jorden. Ingen av de fem kan hysa liv eftersom de alla har yttemperaturer på många hundra grader. Bilderna av de fem är gjorda av en konstnär. (Källa: NASA/JPL-Caltech)



En konstnär försöker föreställa sig hur de tre planeterna som kretsar runt pulsaren PSR B1257+12 kan tänkas se ut. När de upptäcktes 1992 blev de de första kända exoplaneterna. (Källa: NASA/JPL-Caltech)

jordens. Man vet ännu inte om planeten är en stor stenplanet eller mer liknar Uranus och Neptunus.

Den planet som kretsar närmast sin stjärna heter *KOI-55b* och befinner sig ungefär 900 000 km ifrån sin stjärna, vilket motsvarar drygt dubbla avståndet mellan jorden och månen. Det finns dock en planet runt en pulsar, *PSR1719-14b*, som har en mindre omloppsbana, med ett avstånd på bara 660 000 km. Den rusar ett varv runt pulsaren på 2 timmar och 11 minuter.

Planeten med den lägsta kända massan är också en pulsarplanet, *PSR B1257+12b*, som är knappt dubbelt så stor som månen. Den lättaste planeten runt en vanlig stjärna, *KOI-55c*, är ungefär två tredjedelar så tung som jorden.

När det gäller de mest massiva planeterna så finns det ingen väldefinierad övre gräns utan det finns himlakroppar i alla storlekar. En himlakropp som är mer än 13 gånger tyngre än Jupiter bygger upp tillräckligt höga tryck och temperaturer i sitt centrum så att vissa kärnreaktioner kan äga rum under en begränsad tid, och man brukar kalla sådana himlakroppar för *bruna dvärgar*. Alla astronomer är dock inte överens om var gränsen för en exoplanet ska dras.

Fantastiska fakta:

2011 hittade astronomerna en planet som är fem gånger större än jorden och som man tror består till största delen av diamant! Planeten snurrar runt en pulsar kallad *J1719-1438* och är vad som blev kvar av en stjärnkompanjon som p.g.a. pulsaren förlorat mer än 99,9% av sin massa.

Planeter på ovanliga ställen —

där man inte förväntar sig några

Planeter finns inte bara runt vanliga stjärnor. Man har både hittat planeter runt döda stjärnor och runt misslyckade stjär-

nor som aldrig tänt. Dessutom finns det planeter som flyger fritt utan att kretsa kring någon stjärna.

Den traditionella bilden av en planet är en himlakropp som kretsar runt en vanlig stjärna — men den bilden stämmer inte alltid.

En del planeter har hittats i dubbelstjärnesystem. Ofta handlar det då om system där de båda stjärnorna ligger en bra bit ifrån varandra och där planeten kretsar kring en av stjärnorna, men det finns också några fall där stjärnorna ligger nära varandra och planeten kretsar längre ut i en bana runt bägge två.

Det finns några få pulsarer som har planeter, men det är ganska ovanligt eftersom man tror att planeter, som kretsar runt en stjärna som efter sin död förvandlas till en pulsar, förintas under stjärnans dödskamp som slutar med en supernovaexplosion. I några fall verkar det som om nya små planeter bildats efter supernovaexplosionen. Det gäller exempelvis planeterna runt pulsaren *PSR B1257+12*, som var de första exoplaneterna som hittades 1992.

Man har också hittat planeter runt *bruna dvärgar*, som är ett slags misslyckade stjärnor. En brun dvärg är större än en planet, men mindre än en stjärna och de klarar därför inte av att hålla igång normala kärnreaktioner som en vanlig stjärna.

Man har också upptäckt friflygande planeter. I och med att de inte kretsar runt någon stjärna bör de nog inte kallas för planeter, men astronomerna har ännu inte enats om vad de ska kallas. Man tror att det kan finnas många fler friflygande planeter i Vintergatan än det finns stjärnor. Det finns två sätt på vilka friflygande planeter kan bildas: dels kan de bildas av kollapsande gasmoln precis som stjärnor bildas, dels kan de ha bildats i ett planetsystem runt en stjärna, men sedan kastats ut genom påverkan från andra tyngre planeter.

En ny teori om vårt eget solsystems bildande, som bygger på datorsimuleringar, föreslår att det i början fanns en femte jätteplanet stor som Uranus eller Neptunus, och att denna planet efter en närpassage av Jupiter blev utkastad ur solsystemet.

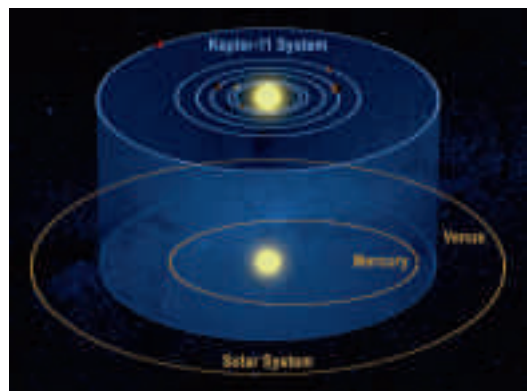
Exoplanetsystem — fjärran solsystem

*Under de senaste åren har astronomerna börjat hitta stjärnor som har familjer av exoplaneter, precis som vårt solsystem. Vår sol med sina åtta planeter leder inte längre, eftersom det verkar som om stjärnan **HD 10180** har inte mindre än nio.*



En konstnär försöker föreställa sig hur UX Tau A, ett planetsystem i bildande, kan tänkas se ut. I mitten finns en ung, 1 miljon år gammal solliknande stjärna omgiven av stor skiva med stoft och gas. Rymdteleskopet Spitzer har upptäckt att skivan består av en inre och en yttre del med en tom ring emellan där det förmodligen redan har bildats planeter. UX Tau A ligger ungefär 450 ljusår bort i Oxens stjärnbild. (Källa: NASA/JPL-Caltech)

Kepler-11 är ett kompakt exoplanetsystem med sex kända planeter, som kretsar runt en stjärna som är rätt lik vår sol och ligger 2000 ljusår bort. Trots att alla sex planeterna är betydligt större än jorden, så kretsar de betydligt närmare sin stjärna än vad Venus gör i vårt solsystem. Den här bilden visar Kepler-11-systemet jämfört med vårt solsystem. (Källa: NASA/JPL-Caltech)



Runt de flesta stjärnor som har exoplaneter känner vi bara till en enda planet. Det beror med största sannolikhet inte på att de här stjärnorna bara har en planet, utan snarare på att vi ännu bara lyckats hitta den största planeten. I oktober 2012 kände man till drygt 125 säkra exoplanetsystem som består av två eller fler planeter. Det största systemet, *HD 10180*, innehåller sju säkra planeter och ytterligare två planetkandidater. Om dessa kandidater också visar sig vara planeter, så är vårt eget solsystem inte längre störst. Det näst största exoplanetsystemet kallas *Kepler-11* och innehåller sex planeter.

Vi vet nu att det finns planetsystem som ser väldigt annorlunda ut än vårt eget, men vi har ännu inte tillräckligt med data för att kunna säga vad som är normalt, och om vårt planetsystem är typiskt eller inte. Fortsatt forskning under de närmaste åren kommer med stor sannolikhet att avslöja många nya exoplanetsystem.

En sak som vi har lärt oss av att studera exoplaneter är att ett planetsystems födelse och utveckling är en väldigt dynamisk process. Tidigare, när man bara hade vårt eget solsystem att studera, trodde de flesta att planeterna har befunnit sig i ungefär samma banor ända sedan de skapades. Upptäckten av jätteplaneter extremt nära sina stjärnor har visat att det inte kan vara så, eftersom det är omöjligt för jätteplaneter att bildas så nära stjärnor. I många exoplanetsystem är det istället så att planeterna har flyttats runt ordentligt efter att de bildats. Man tror nu också att det är vanligt att planeter kastas ut ur planetsystem medan den här processen pågår.

*Det hittills största exoplanetsystemet upptäcktes 2010 och innehåller sju säkra planeter och två kandidater som ännu inte är bekräftade (HD 10180 i och HD 10180 j). Systemet kretsar kring stjärnan HD 10180, som är aningen större än solen och ligger ungefär 127 ljusår bort i stjärnbilden **Lilla vattenormen**.*

Namn	Massa	Avstånd	Omloppstid
HD 10180 b	1,3	0,02	1,2 dygn
HD 10180 c	13,0	0,06	5,8 dygn
<i>HD 10180 i</i>	1,9	0,09	9,7 dygn
HD 10180 d	11,9	0,13	16,3 dygn
HD 10180 e	25,0	0,27	49,7 dygn
<i>HD 10180 j</i>	5,1	0,33	67,5 dygn
HD 10180 f	22,8	0,49	122,9 dygn
HD 10180 g	22,0	1,42	1,63 år
HD 10180 h	65,8	3,5	6,3 år

Massan och avståndet är angivna relativt motsvarande värden för jorden. Notera att alla massor är minimivärden — den verkliga massan kan vara betydligt större. Fem av

planeterna har massor som liknar Uranus och Neptunus. Den yttersta planeten är lite mindre än Saturnus, medan den innersta planeten och de två misstänkta planeterna är lite större än jorden. Notera att inte mindre än sex av exoplaneterna (med de båda kandidaterna inkluderade) kretsar i banor som är mindre än Merkurius' bana, och temperaturen hos de innersta måste uppgå till över 1000°C. Ingen av planeterna verkar därför vara lämplig för liv, men om HD 10180 g har stora månar, så skulle de kunna hysa liv.

Liv i rymden —

finns det någon därute?

*Är jorden den enda planeten i hela universum där det finns liv? Nej, det verkar ha funnits och kanske fortfarande finns bakterier på Mars! Bara i vår galax finns det hundratals miljarder stjärnor, så det borde finnas mängder av planeter som sjuder av liv. Men **intelligent** liv? Sökandet pågår, men än så länge har det inte gett något resultat.*

Det finns två saker som talar för att liv kanske uppstår ganska lätt på planeter med rätt förutsättningar. Det första är det faktum att liv tycks ha utvecklats både på jorden och på Mars, de två planeter i solsystemet som är lämpligast för liv. Det andra är att liv uppstod kort tid (några hundra miljoner år) efter båda planeternas tillblivelse.

Jorden och Mars är säkert inte unika i det avseendet, utan detsamma har förmodligen hänt på många andra ställen i universum. Alla typer av stjärnor erbjuder förmodligen inte planeter där förhållandena för liv är gynnsamma, men även om vi är försiktiga och antar att liv bara kan uppstå på planeter som kretsar kring stjärnor av solens typ, så finns det ändå miljarder tänkbara stjärnor bara i vår egen galax Vintergatan!

Intelligent liv däremot är en annan fråga. På Mars stannade utvecklingen uppenbarligen vid bakterier. På jorden tog det 4 miljarder år innan några högre stående djur dök upp och 4,6 miljarder år innan en intelligent djurart utvecklades. Att intelligent liv utvecklas på en planet är därför kanske långt ifrån någon självklarhet.

En annan fråga är också hur långlivad en intelligent art kan bli. Arten människa har bara funnits i några ögonblick av jordens historia, och redan har vi skaffat oss så avancerad teknik att vi kan utplåna oss själva många gånger om. Beter sig andra intelligenta varelser på samma sätt kan vi mycket väl vara ensamma i universum!

Finns det några tecken som tyder på att det finns andra intelligenta varelser i universum? Nej, ända sedan 60-talet har sökandet efter utomjordiska signaler pågått utan att ge något resultat, och trots alla UFO-rapporter så har man inte heller funnit några tecken på att vårt solsystem skulle ha fått besök av utomjordingar, varken nu eller i forntiden.

Att vi inte har tagit emot några utomjordiska signaler är naturligtvis inget bevis för att det inte skulle finnas andra intelligenser. Vi har ingen aning om var det kan finnas utomjordiska varelser eller vad för typ av signaler de skulle kunna tänkas skicka till oss, så det är egentligen inte speciellt konstigt att vi inte har hittat något ännu. Att leta efter en nål i en höstack är en barnlek jämfört med att hitta en utomjordisk civilisation!

Tekniken utvecklas dock och sökandet går vidare. Kanske får vi en dag in ett meddelande från någon därute!

Om utomjordingarna ringer —

vår checklista

Vad händer om vi får in radiosignaler från utomjordingar när vi sitter och observerar på Onsala rymdobservatorium? Astronomer runt hela världen har redan kommit överens om vad som ska göras i en sådan situation. Så här ser vår checklista ut:

- Ring något annat observatorium och be dem kolla att signalerna kommer från rymden och inte från någon jordisk radiosändare.
- Ring *Internationella Astronomiska Unionen* (IAU). De har en egen nyhetsbyrå för att snabbt få ut viktiga astronomiska nyheter till alla observatorier världen över. IAU kommer att uppmana alla radioobservatorier att omedelbart hjälpa till med att ta emot och spela in de utomjordiska signalerna.
- Ring FN:s generalsekreterare och ett antal internationella forskningsorganisationer.
- Kalla till presskonferens för att tillkännage nyheten.

FN och andra internationella organisationer kommer sedan att ansvara för att signalerna blir tillgängliga för alla och att de blir ordentligt analyserade. Det blir också en fråga för FN om vi ska skicka ett svarsmeddelande till utomjordingarna.

UFO_n —

besökare från andra planeter?

Varje år rapporteras tusentals UFO-fall över hela världen. Trots det har det hittills inte dykt upp ett enda konkret bevis på att UFO_n skulle vara farkoster på besök från andra världar. Att resa mellan stjärnorna är oerhört svårt — även för superintelligenta utomjordingar!

För en mycket stor andel (90–95%) av alla UFO-fall kan man hitta den naturliga förklaringen (t.ex. flygplan, ballonger, satelliter, stjärnfall, planeten Venus m.m.). Det betyder dock **INTE** att de återstående fallen är utomjordiska rymdfarkoster!

Många gånger kan man inte finna den exakta orsaken p.g.a. osäkra vittnesmål. Om någon säger sig ha sett ”ett mystiskt ljus på himlen någon gång sent på kvällen”, är det ju omöjligt att med säkerhet peka ut att det var just 23¹⁰-planet till Arlanda!

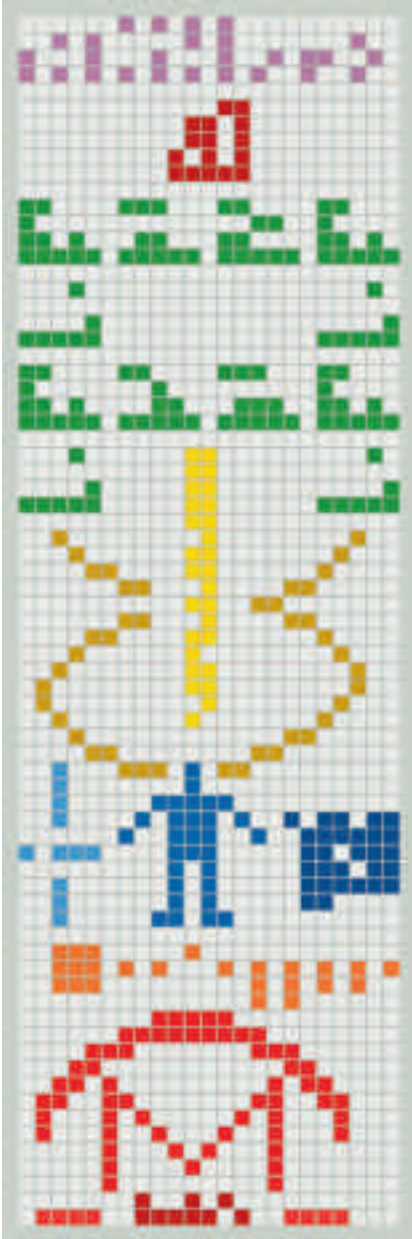
Dessutom finns det en hel del bluff i UFO-branschen, vilket försvårar för seriösa UFO-forskare. Många människor ljuger ihop historier och fejkar fotografier av olika anledning: för att roa sig, för att bli kända eller för att tjäna pengar på det.

Finns det någon anledning att tro att jorden har fått besök av andra varelser? Nej, det finns inte ett enda UFO-fall där det finns några som helst konkreta bevis för det. Avsaknaden av bevis utesluter i och för sig inte möjligheten, men det finns starka skäl till att tro att besök av utomjordingar bara är en önskedröm.

Den första viktiga frågan är om det överhuvudtaget finns andra intelligenta varelser i universum, men låt oss anta att det gör det. Jorden är säkert bara en av många hundra miljarder planeter i vår galax, så nästa fråga är hur utomjordingarna ska hitta just hit. Från en annan stjärna är det helt omöjligt att se att jorden är bebodd av intelligenta varelser. Det enda kännetecknet på att det finns intelligens på jorden är radio- och TV-sändningar och annan ”onaturlig” radiostrålning som läckt ut i rymden under 1900-talet. Den strålningen har hittills bara hunnit till stjärnor som ligger relativt nära solen, och inte ens med de mest optimistiska bedömningarna är det troligt att det skulle finnas en annan intelligent livsform så nära jorden.

Att åka till jorden är inte heller det lättaste. Avstånden mellan stjärnorna är hart när oöverkomliga. Även främmande varelser, hur intelligenta de än är, måste lyda

universums naturlagar. Det betyder att även om de bygger rymdfarkoster som tänjer tekniken till det yttersta kommer restiderna ändå att mätas i år och mängden bränsle som går åt blir enorm.



Det här meddelandet skickades den 16 november 1974 ut som en radiosignal från Areciboteleskopet i riktning mot den klotformiga stjärnhopen M13, som ligger i Herkules' stjärnbild. Denna stjärnhop innehåller flera hundra tusen stjärnor och ligger på ungefär 25 000 ljusårs avstånd. Det betyder att om det skulle finnas utomjordingar i M13 som snappar upp meddelandet och skickar ett svar, så kommer vi inte att få det svaret förrän om 50 000 år. Avsikten med meddelandet var därför inte att försöka få kontakt med utomjordingar utan att uppmärksamma att Areciboteleskopet utrustats med en ny, kraftfull planetradar.

Meddelandet skickades ut som en serie ettor och nollor — färgerna är tillagda i den här figuren för att det ska bli lättare att beskriva de olika delarna av meddelandet. Överst (i rosa) finns en enkel räkneövning från 1 till 10, för att visa hur vi anger siffror i det här meddelandet. Under det följer kemiska formler för byggstenarna som ingår i vår arvs massa, DNA, (i grönt) och en bild av en bit av en DNA-molekyl (i gult). En människa (i blått) visas tillsammans med två siffror: en som anger hur långa vi är och en som anger hur många människor det finns på jorden. Vårt solsystem (i orange) visas sedan med jorden speciellt markerad. (Pluto räknades vid den här tiden som en av planeterna.) Slutligen visas en bild av Areciboteleskopet (i rött) som sänt meddelandet och ett siffrvärde anger dess storlek. (Källa: Arne Nordmann)

STJÄRNOR

Stjärnhimlen —

vårt fönster till universum

*Går du ut på en mörk plats en stjärnklar natt kan du se flera tusen stjärnor. Varje stjärna är en sol liknande vår egen, men som ligger oerhört mycket längre bort. Stjärnorna är inte jämnt fördelade över himlen. Det är tätare med stjärnor längs ett ljusare band på himlen som kallas **Vintergatan**. Det ljusa bandet är det samlade ljuset av miljardtals andra stjärnor som ligger så långt bort att vi inte kan se dem var för sig. Galaxen Vintergatan består av vår sol, alla stjärnor du kan se och alla stjärnorna i Vintergatsbandet tillsammans.*

Stjärnornas namn —

ett arv från antiken

Många av de ljusaste stjärnorna fick sina namn under antiken. Nu för tiden får nyupptäckta stjärnor bara ett nummer i en katalog.

Många av de ljusaste stjärnorna på himlen har fantasieggande namn: Algol ("Demonen"), Mintaka ("Jättens bälte"), Altair ("Den flygande örnen"). Greker och romare har bidragit med en del av namnen, men de allra flesta har vi fått från araberna.

På 1600-talet försökte Johannes Bayer att katalogisera stjärnorna på ett mer systematiskt sätt. Han bestämde sig för att helt enkelt ge stjärnorna namn efter vilken stjärnbild de tillhörde och en grekisk bokstav beroende på hur ljusstarka de var i förhållande till varandra. Detta system används än idag. Vår närmaste stjärngranne, *alfa Centauri*, har fått det namnet därför att den är den ljusstarkaste stjärnan i stjärnbilden Kentauren och alfa är den första bokstaven i det grekiska alfabetet.

Med hjälp av teleskop kan vi nu se miljontals stjärnor som antikens människor aldrig ens kunde drömma om. Ingen sitter dock längre och hittar på namn till dem. Istället får de bara ett nummer i någon stjärnkatalog.

Det finns företag som "säljer stjärnor". För en summa pengar kan man döpa en stjärna och få en stjärnkarta som visar stjärnan man har "köpt". Det kan naturligtvis vara en kul present, men man ska komma ihåg att astronomerna naturligtvis inte kommer att använda sig av dessa namn.

Stjärnbilderna —

fantasifulla figurer på himlen

Sedan urminnes tid har människor försökt att se mönster på himlavalvet. Ljusstarka stjärnor bands samman med fantasins osynliga streck och blev till gudomliga väsen. Även för dagens astronomer är stjärnbilderna viktiga som ett praktiskt sätt att särskilja olika områden på himlavalvet.

Stjärnbilderna på norra halvklotet kommer via romarna från den grekiska mytologin. Det var gudar, hjältar och monster som bebodde den grekiska himlen: Perseus, Orion, Andromeda, Draken och Stora björnen för att nämna några.

Södra stjärnhimlen fick sina stjärnbilder av europeiska upptäcksresande under 1500-, 1600- och 1700-talen. De var inte intresserade av mytologi utan valde istället att placera sina mest moderna tekniska hjälpmedel på himlen tillsammans med några av de märkliga djur som de stötte på under sina resor. Därför har den södra stjärnhimlen mindre fantasieggande stjärnbilder som: Pendeluret, Luftpumpen, Kikaren, Mikroskopet, Indianen, Flygfisken, Kameleonten och Paradisfågeln.



Ovan: Denna stjärnkarta över norra stjärnhimlen med fantasifulla figurer utgavs 1661 av Andreas Cellarius. Stora björnen med Karlavagnen i kroppens bakdel och svansen syns lite till höger nedanför kartans mitt. Ormbäraren, den trettonde stjärnbilden i Zodiaken, syns högst upp mellan Skytten och Skorpionen (Källa: Wikipedia)

Höger: En bit av den södra stjärnhimlen med Vintergatsbandet bestående av tusentals ljussvaga stjärnor och mörka stoftmoln i bakgrunden. Södra korset syns uppe till vänster medan de två ljusstarkaste stjärnorna i Kentarens stjärnbild, alfa Centauri (solens närmaste stjärngranne) och beta Centauri, syns nere till höger. Kolsäcken kallas den mörka nebulosan till höger om Södra korset. (Källa: ESO, Yuri Beletsky)



Totalt finns det 88 stjärnbilder. Flera av dem innehåller inga ljusstarkare stjärnor utan har bara lagts dit för att fylla ut tomma områden på himlavalvet, t.ex. Giraffen, Lodjuret och Ödlan. Det finns en stjärnbild, Ormen, som består av två delar som inte hänger ihop. Mellan de båda delarna ligger stjärnbilden Ormbäraren.

Stjärnbilderna har inte varit desamma utan har förändrats genom tiderna. Vissa stjärnbilder har tagits bort och andra har lagts till. Vissa stjärnor har ibland ansetts höra till en viss stjärnbild men hör nu till en annan. Stjärnbilden Skeppet Argo som härstammar från antiken finns till exempel inte längre sedan den 1763 delades upp i tre mindre stjärnbilder: Akterskeppet, Kölen och Seglet. Den nuvarande listan med 88 stjärnbilder fastställdes 1922 av den *Internationella Astronomiska Unionen*.

Stjärnbilderna är olika stora på himlen. De största stjärnbilderna är Vattenormen, Jungfrun och Stora björnen, medan de tre minsta är Södra korset, Lilla hästen och Pilen.

Man ska också komma ihåg att våra stjärnbilder härstammar från den europeiska traditionen. Andra kulturer som exempelvis den kinesiska har en helt annan uppsättning stjärnbilder.

Precis som läkare och botanister fortfarande använder latinska namn på sjukdomar och blommor, har astronomerna också behållit de gamla latinska namnen på stjärnbilderna. En astronom säger därför oftast *Ursa Major* när han pratar om Stora björnen.

Djurkretsen eller *Zodiaken* är benämningen på den samling stjärnbilder som solen passerar igenom under ett års tid.

Stjärnbilderna —

hela listan

Här är den kompletta listan över stjärnhimlens alla 88 stjärnbilder. Många av stjärnbilderna på den södra himmelsfären kan man inte se från Sverige.

Norra himmelssfären

Andromeda
Berenikes hår
Björnvaktaren
Cassiopeja
Cepheus
Draken
Giraffen
Herkules
Jakthundarna
Kräftan
Kusken
Lilla björnen
Lilla lejonet
Lodjuret
Lyrn
Norra kronan
Pegasus
Perseus
Pilen
Räven
Stora björnen
Svanen
Triangeln
Tvillingarna
Väduren
Ödlan

Himmelsekvatorn

Delfinen
Enhörningen
Fiskarna
Jungfrun
Lejonet
Lilla hunden
Lilla hästen
Orion
Ormbäraren
Ormen
(huvud och svans)
Oxen
Sextanten
Sobieskis sköld
Valfisken
Vattenormen
Vattumannen
Örnen

Södra himmelssfären

Akterskeppet
Altaret
Bildhuggaren
Bägaren
Cirkelpassaren
Duvan
Fenix
Floden Eridanus
Flugan
Flygfisken
Gravstickeln
Haren
Indianen
Kameleonten
Kentauren
Kikaren
Kompassen
Korpen
Kölen
Lilla vattenormen
Luftpumpen
Mikroskopet
Målaren
Oktanten
Paradisfågeln
Pendeluret
Påfågeln
Rombiska nätet
Seglet
Skorpionen
Skytten
Stenbocken
Stora hunden
Svärdfisken
Södra fisken
Södra korset
Södra kronan
Södra triangeln
Taffelberget
Tranan
Tukanen
Ugnen
Vargen
Vinkelhaken
Vågen

Astrologi —

antik vidskepelse

Astrologin är en kvarleva från en tid då människan trodde att allt som hände styrdes av gudar och andra övernaturliga varelser. Det har gjorts många undersökningar genom årtusendena för att se efter om det ligger någon sanning i astrologin. Resultatet har gång på gång blivit detsamma:

astrologerna har aldrig lyckats bevisa att de kan förutsäga framtiden!

För att man ska kunna tro på något krävs det antingen att det finns bevis för att det är sant eller att det finns starka skäl som talar för att det är sant (Har meteorologen sagt att det är ett lågtryck på väg är det rimligt att tro att det blir regn!). Astrologerna har varken lyckats ge några bevis för att astrologin fungerar eller några starka skäl för varför den skulle fungera (Hur kan en avlägsen himlakropp påverka någon vid just själva födelseögonblicket?).

Enda återstående anledningen till att tro på astrologi är att det är en vacker idé — men är inte sagoféer och jultomten också vackra idéer som man lika gärna skulle kunna tro på?

Hur är det med karaktärshoroskop där dina personliga egenskaper ges av planeternas positioner? Det har gjorts experiment där försökspersoner har fått något som de tror är ett personligt horoskop, och uppmanats bedöma hur väl det stämmer in på dem själva. En överväldigande majoritet brukar då svara: "Mycket bra". Det är bara det att försökspersonerna inte alls har fått några personliga horoskop — istället har de allihop fått ett och samma standardhoroskop! Vi har lätt för att lura oss själva!

Och håll med om att det egentligen är rätt skönt **att astrologin INTE fungerar!** Inte tycker du väl att det skulle vara en tilltalande tanke att t.ex. Merkurius — ett sterilt, sprucket, kraterärgat stenklot — skulle bestämma över ditt kärleksliv?

Zodiaken —

astrologins stjärnbilder

I vilken stjärnbild är du född? Förmodligen inte i den du tror!

Under ett år färdas solen ett varv runt himlavalvet längs en bana som kallas för *ekliptikan*. Stjärnbilderna som ekliptikan löper igenom kallas för *Djurkretsen* eller *Zodiaken*, och det är dessa stjärnbilder som dyker upp i horoskopet. Vilken stjärnbild du är född i bestäms alltså av den stjärnbild som solen befinner sig i på din födelsedag. Kolla gärna vilken stjärnbild som är din i tabellen nedan!

1	18 december—18 januari:	Skytten
2	19 januari—15 februari:	Stenbocken
3	16 februari—11 mars:	Vattumannen
4	12 mars—18 april:	Fiskarna

5	19 april—13 maj:	Väduren
6	14 maj—20 juni:	Oxen
7	21 juni—20 juli:	Tvillingarna
8	21 juli—10 augusti:	Kräftan
9	11 augusti—15 september:	Lejonet
10	16 september—30 oktober:	Jungfrun
11	31 oktober—22 november:	Vågen
12	23 november—29 november:	Skorpionen
13	30 november—17 december:	Ormbäraren

Stämde det inte med det du trodde?

• Precessionen:

De datum som står i veckotidningarnas horoskop är samma datum som användes av grekerna för över 2000 år sedan. Problemet är att jordens rotationsaxel inte ligger helt stilla i rymden utan långsamt flyttar sig. Rörelsen kallas för *precessionen*. Resultatet är att solen idag befinner sig i en viss stjärnbild en månad senare än på grekernas tid. Österländsk astrologi tar hänsyn till precessionen medan vår västerländska astrologi struntar i den. De västerländska stjärntecknen har därför inte längre någonting med de verkliga stjärnbilderna att göra. Astrologerna vet om det och talar därför inte om *stjärnbilder* utan om *stjärntecken*.

• Stjärnbildernas varierande längd:

Stjärnbilderna är olika stora och därför tar det också olika lång tid för solen att passera genom dem. En och en halv månad stannar solen i *Jungfrun* medan *Skorpionen* passeras på sex dagar. Grekiska astrologer tyckte dock inte att olika längd på stjärntecknen var tilltalande och bestämde därför att deras stjärntecken skulle vara precis lika långa.

• Den 13:de stjärnbilden:

Antalet stjärnbilder i Zodiaken är inte 12 utan 13! Den trettonde stjärnbilden, Ormbäraren, placerades dit redan av grekerna för över 2000 år sedan, men inga astrologer har hittills brytt sig om den, förmodligen därför att de ogillar talet 13.

Vanliga stjärnor —

inte alltid så vanliga

Tro inte att stjärnorna du ser på himlavalvet är en samling vanliga stjärnor! Det är de största och ljusstarkaste stjärnorna som syns bäst.

De allra flesta stjärnorna är små och rätt ljussvaga, och därför kan vi bara se de allra närmaste av dem för blotta ögat. Till och med bland solens allra närmaste grannar är de flesta så svaga att det behövs teleskop för att man ska se dem.

Ljusstarka jättstjärnor däremot är sällsynta, men syns i gengäld lätt på många hundra ljusårs avstånd. Trots att de är få, är majoriteten av de stjärnor vi ser på stjärnhimlen därför huvudsakligen jättstjärnor. Stjärnorna på stjärnhimlen utgör alltså inte något representativt urval. "Vanliga" stjärnor är helt enkelt inte speciellt vanliga på stjärnhimlen!

Alla stjärnor du kan se på stjärnhimlen tillhör Vintergatan och de allra flesta ligger inom några tusen ljusårs avstånd från oss.

Dubbelstjärnor —

parförhållanden i rymden

Liksom människor lever de flesta stjärnor i par! De kretsar då runt varandra i rymden. Tre, fyra eller ännu fler stjärnor kan också hålla ihop i en grupp, som då kallas för en multipelstjärna.

Man skiljer mellan *optiska* och *fysiska* dubbelstjärnor. Optiska dubbelstjärnor är stjärnor som egentligen inte har någonting med varandra att göra, utan bara råkar se ut att ligga nära varandra på himlen. Fysiska dubbelstjärnor däremot är system där stjärnorna verkligen kretsar kring varandra.

Stjärnorna *Alcor* och *Mizar* i Karlavagnen utgör en vacker optisk dubbelstjärna.

En stjärnfamilj kan också bestå av fler än två medlemmar. Man talar då om *multipelstjärnor*. Om multipelstjärnan har tre medlemmar kallas den för en *trippelstjärna*.

Dubbelstjärnor är väldigt vanliga. En majoritet av stjärnorna lever sina liv som dubbelstjärnor. Multipelstjärnor förekommer också ganska ofta, men de är inte alls lika vanliga som dubbelstjärnor.

Sannolikheten för att två stjärnor som råkar komma nära varandra ska bilda ett dubbelstjärnesystem är mycket liten. Att dubbelstjärnor och multipelstjärnor ändå är så vanliga beror på att stjärnorna redan från början föddes ihop.

Solen som stjärna —

ensamstående och lite tungviktig

Vår sol är på inget sätt unik, utan den är en alldeles vanlig stjärna bland flera hundra miljarder stjärnor i vår egen galax Vintergatan. Därmed inte sagt att solen skulle vara en helt vanlig Medel-Svensson i Vintergatan. Den är lite större än de flesta andra stjärnor och den lever sitt liv ensam.

Vår sol är varken minst eller störst. Det finns röda dvärgstjärnor som bara har en tiondel av solens massa och gigantiska blå jättar som kan väga mer än 100 gånger så mycket som solen.

Vår sol är inte heller äldst eller yngst. Solen är ungefär 5 miljarder år gammal, medan de äldsta stjärnorna är mer än 10 miljarder år gamla. Samtidigt föds det just nu nya stjärnor i t.ex. *Orionnebulosan*.

De flesta stjärnorna i Vintergatan ingår i dubbel- eller multipelstjärnesystem, d.v.s. system där flera stjärnor kretsar kring varandra. Solen däremot färdas ensam genom rymden med sina planeter. Också när det gäller storleken avviker solen från vad som är typiskt. Väljer man en stjärna i rymden helt på måfå, är sannolikheten störst att man träffar på en röd dvärgstjärna. Hela 9 av 10 stjärnor är nämligen mindre än vad solen är.

Vår sol har en familj med åtta planeter, och det verkar vara högst normalt, eftersom undersökningar tyder på att de flesta stjärnor har planeter. Trots svårigheterna med att upptäcka exoplaneter, har vi redan upptäckt en stjärna, *HD 10180*, som har fler planeter än solen.

Det mest utmärkande för solen är naturligtvis att den har en planet som hyser intelligent liv. Kanske finns det intelligenta varelser på andra ställen i rymden också, men även om så skulle vara fallet, är det nog definitivt ingenting som varje stjärna kan skryta med.

De närmaste stjärnorna —

solens grannar

*De flesta av våra närmaste stjärngrannar är små röda dvärgstjärnor som man måste ha ett teleskop för att kunna se, men **Sirius**, himlens ljusstarkaste stjärna, hör också till vårt grannskap, liksom **WISE 1541–2250**, en liten misslyckad stjärna som inte upptäcktes förrän 2011.*

Solens närmaste granne i rymden, *alfa Centauri*, är en trippelstjärna som ligger 4,4 ljusår bort. Den består av två stjärnor av ungefär solens storlek som kretsar ett varv runt varandra på knappt 80 år. Avståndet mellan dem varierar mellan 11–36 gånger avståndet jorden—solen, vilket är detsamma som 1,5–5 ljustimmar. Den tredje stjärnan i systemet kallas för *Proxima Centauri* och är en liten röd dvärgstjärna. Den kretsar långsamt runt de andra två på ett avstånd av 0,2 ljusår och är den stjärna som ligger närmast oss (bortsett från solen).

Bland de tio närmaste stjärnsystemen finns det också två dubbelstjärnor. *Luyten 726–8* består av två små röda dvärgstjärnor som kretsar ett varv runt varandra på 26,5 år. Båda två har en massa som är ungefär 10% av solens massa. *Sirius* däremot är ett mer omaka par: huvudstjärnan är en ljusstark vit stjärna som väger ungefär dubbelt så mycket som solen, medan kompanjonen är en död stjärnrest, *en vit dvärg* som inte är större än jorden, men väger nästan lika mycket som solen. De kretsar runt varandra på 50 år.

Hittills har man hittat planeter runt två av de närmaste stjärnorna: *alfa Centauri* och *epsilon Eridani*. En planet något större än jorden snurrar runt en av de två större stjärnorna i *alfa Centauri*. Den kretsar så nära stjärnan att den hinner ett varv på 3,2 dagar och temperaturen på ytan uppskattas vara 1 200°C. Runt *epsilon Eridani* har man upptäckt flera bälten av asteroider och stoft, och man också har sett indikationer på att det skulle kunna finnas två planeter. Den mest troliga av de två planeterna är en planet av ungefär Jupiters storlek som skulle kretsa ett varv på 7 år.

En sak värd att notera är den stora skillnaden i ljusstyrka. Det kanske inte är så förvånande att vi hittar himlens ljusstarkaste stjärna (*Sirius*) liksom den tredje ljusstarkaste stjärnan (*alfa Centauri*) bland de tio närmaste stjärnsystemen. Men av de återstående åtta är det bara en till (*epsilon Eridani*) som är synlig för blotta ögat — resterande sju stjärnor är så ljussvaga att man bara kan se dem i teleskop trots att de ligger så nära oss.

En av stjärnorna, *WISE 1541–2250*, är en liten misslyckad stjärna, en s.k. *brun dvärg*. Den upptäcktes så sent som 2011 och avståndet till den är fortfarande osäkert, så det är troligt att den kommer att få byta plats i tabellen. Man uppskattar att den är ungefär lika stor som planeten Jupiter, men väger 12 gånger mer och har en yttemperatur runt 75°C.

De tio närmaste stjärnsystemen (bortsett från solen):

Namn	Typ	Avstånd	Stjärnbild	Ljusstyrka
1 alfa Centauri	trippelstjärna	4,37	<i>Kentauren</i>	0,0 + 1,3 + 11,1
2 Barnards stjärna	röd dvärg	5,96	<i>Ormbäraren</i>	9,5
3 Wolf 359	röd dvärg	7,78	<i>Lejonet</i>	13,4
4 Lalande 21185	röd dvärg	8,29	<i>Stora björnen</i>	7,5
5 Sirius	dubbelstjärna	8,58	<i>Stora hunden</i>	-1,5 + 8,4
6 Luyten 726–8	dubbel röd dvärg	8,73	<i>Valfisken</i>	12,5 + 13,0
7 WISE 1541–2250	brun dvärg	9,3?	<i>Vågen</i>	21,2
8 Ross 154	röd dvärg	9,68	<i>Skytten</i>	10,4
9 Ross 248	röd dvärg	10,32	<i>Andromeda</i>	12,3
10 epsilon Eridani	solliknande	10,52	<i>Floden Eridanus</i>	3,7

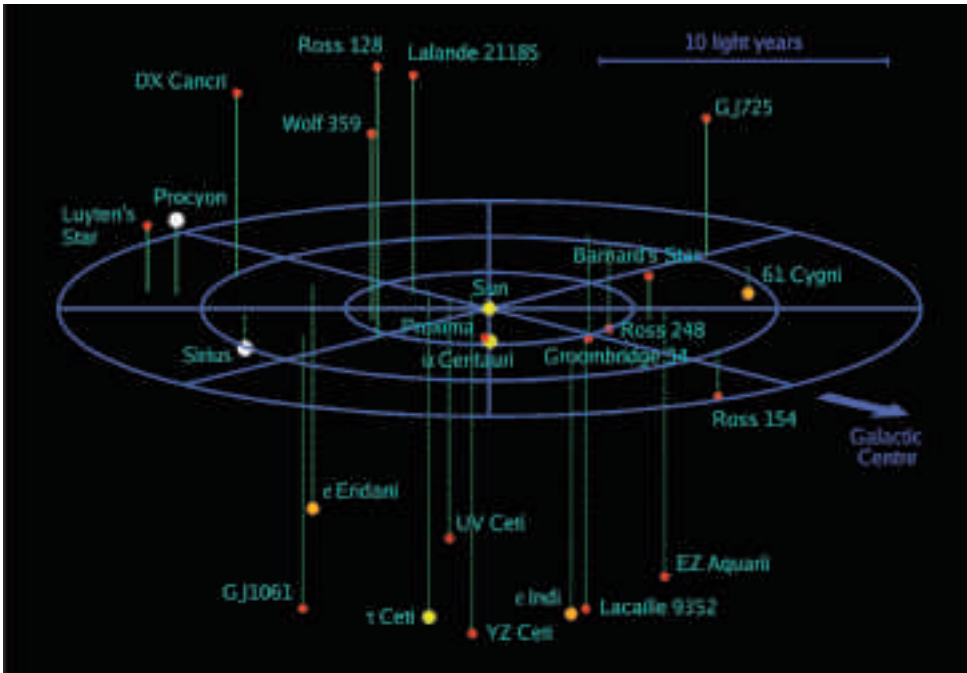
Det angivna avståndet är i ljusår. Ljusstyrkan anges i *magnituder*. Ju mindre värde, desto ljusstarkare är stjärnan. Sirius med magnituden -1,5 är himlens ljusaste stjärna. Stjärnor med en magnitud större än 6 kan inte ses med blotta ögat.

Magnituder —

ett knepigt sätt att ange ljusstyrka

*För att ange ljusstyrkan hos en himlakropp använder astronomerna ett märkligt mått som kallas för **magnitud**. Det är lite bakvänt, därför att ett lägre värde betyder större ljusstyrka. En stjärna med magnituden 2 är alltså mycket ljusstarkare än en stjärna med magnituden 5.*

Det finns en historisk anledning till varför magnituderna beräknas som de gör. Den grekiske astronomen Hipparchos som levde under det andra århundradet före Kristus införde ett system med sex magnitudklasser, där de ljusstarkaste stjärnorna



Ovan: En tredimensionell modell som visar var solens närmaste grannar är belägna. Alla stjärnor som ligger närmare än 12,5 ljusår är inritade. Prickarnas storlek indikerar vilka stjärnor som är stora och vilka som är små, medan färgerna visar stjärnornas ungefärliga färg. Sirius och Procyon är de två största stjärnorna i vår närhet, medan de flesta av våra grannar är små röda dvärgar. Dubbelstjärnan Luyten 726–8 kallas för UV Ceti i den här bilden. (Källa: ESO, R.-D. Scholz et al. (AIP))

Vänster: Albireo heter den femte ljusstarkaste stjärnan i stjärnbilden Svanen. Med ett litet teleskop kan man se att Albireo är en dubbelstjärna bestående av en ljusstarkare gulorange stjärna och en ljussvagare blåvit stjärna. (Källa: Jared Smith)

räknades till den första magnitudklassen och de allra ljussvagaste till den sjätte klassen. Den brittiske astronomen Norman Pogson försökte bevara Hipparchos' idéer när han i mitten på 1850-talet införde det moderna magnitudsystemet.

Magnitudskalan är en *logaritmisk* skala där varje steg motsvarar en förändring på ungefär 2,5 gånger. En stjärna med magnituden 3 är alltså 2,5 gånger ljusstarkare än en som har magnituden 4. En skillnad på 5 magnitudenheter motsvarar 100 gångers skillnad i ljusstyrka, så en stjärna med magnituden 1 är alltså 100 gånger ljusstarkare än en stjärna med magnituden 6.

För riktigt ljusstarka himlakroppar får man ta till negativa tal. Den ljusstarkaste stjärnan, *Sirius*, har t.ex. magnituden $-1,5$ och planeten Venus når när den är som starkast nästan -5 , medan fullmånen har magnituden $-13,6$ och solen $-26,7$.

De ljussvagaste stjärnorna man kan se för blotta ögat, om man befinner sig på en riktigt mörk plats, har ungefär magnituden 6. Befinner man sig i ett samhälle med gatlyktor och andra störande ljuskällor kanske man bara ser stjärnor ljusare än magnitud 3 eller 4. Med en fältkikare kan man se himlakroppar ner till magnitud 9–10, och med världens största teleskop kan man studera objekt ända ner till magnitud 27–30.

Den ljusstyrka vi mäter när vi ser en himlakropp på himlen kallas för den *skenbara magnituden*, och den behöver man känna till för att veta om man kan se objektet för blotta ögat eller hur stort teleskop som behövs. Den skenbara magnituden säger dock inget om hur ljusstark en himlakropp egentligen är. En stjärna som ser ljussvag ut kan ju vara en verkligt ljussvag stjärna som ligger nära oss eller en jättestark stjärna som ligger långt borta. Därför använder astronomerna sig också av begreppet *absolut magnitud*, som är den ljusstyrka en himlakropp skulle se ut att ha om vi kunde placera den på ett avstånd av 32,6 ljusår.

Stjärnhopar —

små stjärnsamhällen

*Man tror att många stjärnor föds samtidigt i gigantiska moln av interstellär gas. Dessa stjärnor kan sedan hålla ihop i en stjärnhop under en kortare eller längre tid beroende på hur stark den ömsesidiga dragningskraften mellan stjärnorna är. Alla medlemmarna i en stjärnhop är alltså ungefär lika gamla. Astronomerna skiljer på tre typer av stjärnhopar: **associationer**, **öppna stjärnhopar** och **klotformiga stjärnhopar**.*

Associationer —

stjärnor som fötts ihop

Associationer består av nyfödda stjärnor som fötts tillsammans, men som med tiden kommer att lämna varandra.

Associationer är grupper av 10–50 unga, nyfödda stjärnor, som inte ligger så tätt tillsammans som i en stjärnhop. De består ofta av ljusstarka, kortlivade stjärnor. Gravitationskrafterna mellan stjärnorna är inte tillräckligt starka för att hålla ihop associationen, utan den löses upp efterhand.

Associationer är så pass glesa att man inte direkt lägger märke till dem på himlen. En association kan vara rätt stor på himlen och det är svårt att se dess medlemmar när de ligger utspridda bland alla andra stjärnor.

Öppna stjärnhopar —

små stjärngrupper

Öppna stjärnhopar är små oregelbundna grupper av stjärnor på himlen.

Öppna stjärnhopar består av 50–3000 stjärnor. Det finns både äldre och yngre öppna stjärnhopar. Gravitationskrafterna är starkare än för *associationerna*, men en öppen stjärnhop är ändå rätt löst sammanhållen, och fler och fler stjärnor lämnar hopen med tiden.

Öppna stjärnhopar ser ut som en tätare liten ansamling av stjärnor på himlen. Det finns flera öppna stjärnhopar som syns bra för blotta ögat, t.ex. *Hyaderna* och *Plejaderna* ("Sjustjärnorna") i stjärnbilden Oxen.

Klotformiga stjärnhopar —

runda bollar av ljus

Klotformiga stjärnhopar är stora, runda ansamlingar av gamla stjärnor.

Klotformiga stjärnhopar består av 10 000–1 000 000 stjärnor. De allra äldsta stjärnorna (mer än 10 miljarder år gamla) hittar man oftast i klotformiga stjärnhopar. Stjärnorna i en klotformig stjärnhop ligger tätt och de är hårt bundna till varandra av hopens gravitationskrafter. Inne i hopens centrum kan antalet stjärnor per volymsenhet vara 100–1 000 gånger större än i solens omgivning. Det är också den starka gravitationen som ger hopen dess karaktäristiska klotrunda form.

Klotformiga stjärnhopar ser ut som små suddiga dimfläckar på himlen. I ett teleskop ser man en rund boll av tätt packade stjärnor. I dess centrum ligger stjärnorna så tätt att det inte är möjligt att urskilja enstaka stjärnor. Det finns en känd klotformig stjärnhop i stjärnbilden Herkules som kallas *Messier 13*.

Variabla stjärnor —

stjärnor som ändrar ljusstyrka

*Solen är en väldigt stabil stjärna, som hela tiden sänder ut lika mycket ljus. Det finns dock en hel del stjärnor på himlen som inte är lika stabila. Deras ljusstyrka varierar med tiden och de kallas därför för variabla stjärnor. De delas in i olika klasser beroende på hur deras ljusstyrka varierar och varför den gör det. De tre huvudtyperna är **förmörkelsevariabler**, **pulserande variabler** och **eruptiva variabler**.*



Ovan: Omega Centauri är en pampig klotformig stjärnhop som innehåller flera miljoner stjärnor. På den här bilden kan man se ungefär 300 000. Avståndet till hopen är runt 16 000 ljusår och stjärnornas ålder är runt 12 miljarder år. (Källa: ESO/INAF-VST/OmegaCAM)



Vänster: Juvelboxen är en öppen stjärnhop som innehåller runt 100 stjärnor och ligger drygt 6 000 ljusår bort. Stjärnorna i hopen är väldigt unga och bildades för bara 14 miljoner år sedan. Många av dem är stora, kortlivade blåvita stjärnor. Den röda stjärnan har redan nått slutstadiet av sitt liv och blivit en röd superjätte. (Källa: ESO)

Förmörkelsevariabler —

stjärnor som leker tittut

Förmörkelsevariabler är dubbelstjärnesystem där de båda stjärnorna rör sig runt varandra i en sådan bana att de med jämna mellanrum passerar framför varandra sett från jorden. Ljusstyrkan avtar då den ena stjärnan skymmer bort ljuset från den andra stjärnan, och vi ser det som en ”förmörkelse”.

I en förmörkelsevariabel händer det ingenting med stjärnorna utan ljusvariationen beror helt på stjärnornas lägen i förhållande till jorden. Större delen av tiden ser vi ljuset från båda stjärnorna, men när en av stjärnorna passerar framför den andra skymmer den bort ljuset från denna helt eller delvis.

Avståndet mellan stjärnorna i en förmörkelsevariabel är ofta väldigt litet och de kretsar vanligen runt varandra med en omloppstid på några veckor eller dagar.

En känd förmörkelsevariabel är stjärnan *Algol* i stjärnbilden *Perseus*. Var 69:de timme sjunker Algols ljusstyrka till en tredjedel under några timmar medan den ljussvagare av dess båda stjärnor skymmer bort den ljusstarkare.

Pulserande variabler —

stjärnor som ändrar storlek

Pulserande variabler ändrar sin storlek och därmed sin ljusstyrka. Det finns många olika typer av pulserande variabler, och några av dem kan användas som avståndsmätare i rymden. De flesta pulserande variabler är åldrade stjärnor som närmar sig slutet av sina liv.

Pulserande variabler är stjärnor som inte riktigt är i balans, och som därför ökar och minskar sin storlek och därmed också sin ljusstyrka mer eller mindre regelbundet. Unga stjärnor som ännu inte uppnått jämvikt i sin energiproduktion kan vara

pulserande variabler, men huvudsakligen är det fråga om gamla stjärnor som är på väg att bli eller har blivit jättar.

De pulserande variablerna delas in i en mängd klasser, som oftast har fått namn efter den första stjärnan som upptäcktes inom respektive klass.

Stjärnor med kort periodtid har ofta regelbundna pulser, medan långperiodiska stjärnor kan variera på ett mer eller mindre regelbundet sätt. Pulsernas längd kan vara allt från något dygn upp till flera år.

Mira-stjärnor, uppkallade efter *Mira* i stjärnbilden *Valfisken*, är röda superjättar med stora och långsamma variationer. *Mira* själv har en ungefärlig periodtid på ett år. När den lyser som starkast är *Mira* den ljusaste stjärnan i sin stjärnbild, och när den är som svagast är den mer än 100 gånger svagare än vad som behövs för att den ska synas för blotta ögat.

Cepheiderna, uppkallade efter *delta Cephei*, är också jättestjärnor, men med korta och välbestämda pulser. Periodtiden för cepheider sträcker sig från ett dygn upp till ett par månader som mest. Polstjärnan är en cepheid-variabel med väldigt små ljusvariationer.

Cepheiderna har visat sig vara oerhört viktiga vid avståndsmätningar i rymden. Det finns nämligen ett enkelt samband mellan pulsernas längd och stjärnans totala ljusstyrka. Ju långsammare den pulserar, desto ljusstarkare är den. Genom att jämföra den ljusstyrka stjärnan har på himlen med den ljusstyrka vi kan räkna fram från pulsernas längd går det att räkna ut avståndet till den.

Eruptiva variabler —

stjärnor som får utbrott

Eruptiva variabler är stjärnor som genomgår våldsamma utbrott eller explosioner. Dessa är ofta så kraftiga att materia från stjärnan kastas ut i rymden. I värsta fall kan hela stjärnan sprängas i stycken!

Det finns ett antal olika klasser av eruptiva variabler beroende på vad det är som orsakar utbrotten och på hur våldsamma de är. Eruptiva variabler är antingen mycket unga eller mycket gamla stjärnor.

Det finns en klass med små röda dvärgar, som flammar upp under några minuters tid. De kallas *flare-stjärnor*, eftersom de här utbrotten påminner om liknande utbrott på vår egen sols yta som kallas för *flares*. Hos flare-stjärnorna är dock utbrotten mycket kraftigare än på solen.

De mest iögonfallande eruptiva variablerna är *novorna* och *supernovorna*. Novor är trånga dubbelstjärnesystem där en vanlig stjärna och en vit dvärg kretsar så nära varandra att gas från den vanliga stjärnan faller ner på den vita dvärgen. En skenande kärnreaktion kan då inträffa i den nedfallna gasen, ungefär som en vätebombsexplosion, varvid gasen slungas ut i rymden med stor kraft.

Supernovor finns av två typer. Typ I är släkt med novorna i det att den också orsakas av att gas faller ner från en vanlig stjärna på en vit dvärg i ett dubbelstjärnesystem. Skillnaden mot ett nova-utbrott är att det inte bara är de yttre delarna som påverkas, utan hela den vita dvärgen exploderar och slits fullständigt i stycken.

Supernovor av typ II utgörs av de allra tyngsta stjärnorna som i slutet av sina liv drabbas av sådan obalans i energiproduktionen att skenande kärnreaktioner spränger sönder dem i en gigantisk explosion. Kvar blir bara en liten rest i form av en *neutronstjärna* eller ett *svart hål*.

Stjärnornas utveckling — från gasmoln till stjärnrest

Till och med de mest kortlivade stjärnorna lever så länge att vi överhuvudtaget inte kan se att de åldras ens under en mansålder. Hur kan vi då veta någonting om hur en stjärna föds, utvecklas och dör? Man kan jämföra det med att titta på en grupp människor av olika ålder under några få minuter och sedan försöka förstå hur människor lever och dör! Astronomerna fick lägga pussel i många år innan de kunde avslöja hemligheterna bakom stjärnornas liv!

En stjärnas födelse —

ur gas och stoft

Stjärnor och planeter föds ur jättelika gasmoln i rymden. Ett enda sådant gasmoln kan innehålla gas som räcker till tusentals stjärnor. På grund av tyngdkraften drar sig gasen ihop i täta klumpar som hettas upp tills de blir så heta att kärnreaktioner startar i deras inre — stjärnor föds! Av resterna runt den nybildade stjärnan kan det sedan bildas planeter.

Stjärnor föds i jättelika gasmoln som blivit instabila och börjat dra sig samman under inverkan av sin egen gravitation. Orsakerna till det kan vara flera, t.ex. att ett par gasmoln kolliderar eller att chockvågen från en supernovaexplosion påverkar molnet. Delar av molnet börjar sedan fragmenteras i mindre delar som vart och ett kommer att ge upphov till en stjärna.

Sammandragningen gör att tryck, temperatur och täthet ökar i molnfragmenten. Inne i fragmenten håller ett förstadium till en stjärna, en s.k. protostjärna, på att bildas. Man kan inte se protostjärnor eftersom de ligger gömda djupt inne i de gas- och stoftmoln som de håller på att födas ur, men man kan ändå ta reda på var det håller på att bildas stjärnor genom att mäta den värmestrålning som de sänder ut.

Det kan också hända att molnet fragmenteras ytterligare så att det inte bara bildas en utan flera stjärnor, som sedan kan bilda ett dubbel- eller multipelstjärnsystem.

Sammandragningen fortsätter tills trycket och temperaturen i protostjärnans centrum till slut blir så hög att kärnreaktioner kan starta där — stjärnan tändes! Genom kärnreaktionerna producerar stjärnan ett tryck utåt som motverkar gravitationskrafterna så att sammandragningen upphör.

Runt den nytända stjärnan finns det fortfarande stora mängder gas och stoft. En del av detta material klumpar ihop sig och bildar planeter.

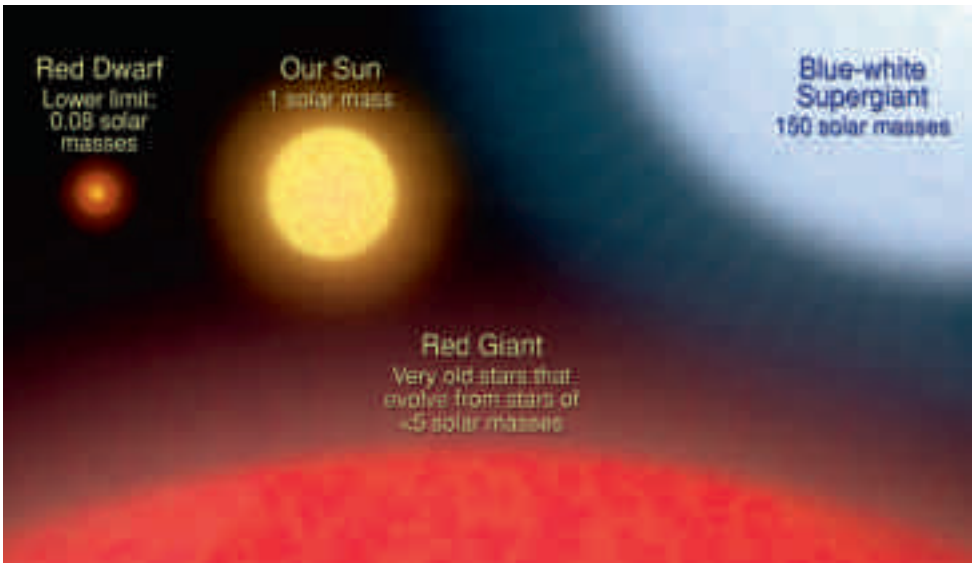
När stjärnan tänt börjar den också producera en *stjärnvind*. Det är en ström av tunn, het gas (plasma) som i hög hastighet sveper genom det nybildade solsystemet och blåser bort den kvarvarande gasen och stoftet. På så vis avlägsnas resterna av födelsegasmolnet, och stjärnan blir synlig för oss.

Man tror att stjärnbildning är ”smittsamt”! Om det har börjat bildas stjärnor i ena änden av ett stort gasmoln, kommer de stjärnorna att störa den omkringliggande gasen så mycket att den också börja bilda stjärnor. Dessa nybildade stjärnor kommer i sin tur att påverka gasen som ligger lite längre bort så att den också börjar bilda stjärnor. På så vis sprider sig stjärnbildningen som en kedjereaktion igenom molnet.

Solen och planeterna i vårt solsystem bildades ur ett gasmoln för knappt 4,6 miljarder år sedan.



Den här bildsekvensen tagen med rymdteleskopet Hubble 2002–2004 visar hur ljuspulsen från stjärnan V383 Monocerotis, som hade ett kraftigt utbrott i början på 2002, sprider sig och lyser upp gasmoln som finns runt stjärnan. I början trodde man att utbrottet var en nova, men stjärnan har senare inte betett sig som en typisk nova. (Källa: NASA, Hubble Heritage Team (AURA/STScI), ESA)



Den här illustrationen visar skillnaden i storlek mellan solen, de lättaste och vanligaste stjärnorna, röda dvärgar och de allra tyngsta och sällsynta blåvita jättarna. Storleksmässigt slås de dock av de röda jättarna, som är vanliga stjärnor som i slutet av sina liv för en kortare tid blåser upp sig till gigantiska proportioner. (Källa: NASA, ESA, A. Feild (STScI))

Jättar och dvärgar —

födelseviktens betydelse för en stjärna

Lätta stjärnor lever lugnt och länge; de lyser svagt och dör i stillhet — tunga stjärnor däremot lever kort men hektiskt; de lyser starkt och dör i spektakulära explosioner!

Det som nästan helt och hållet bestämmer en stjärnas livsöde är dess födelsevikt. Födelsevikten bestämmer stjärnans storlek och temperatur, dess ljusstyrka och färg, hur länge den ska leva, vad som händer när den åldras och hur den slutligen ska dö.

Ju tyngre en stjärna är, desto större, hetare och ljusstarkare är den — och desto kortare lever den och desto mer dramatisk blir dess död!

Att en tyngre stjärna skulle leva kortare tid låter kanske motsägelsefullt, eftersom den ju har mer bränsle att driva kärnreaktionerna med. Förklaringen är att kärnreaktionerna går så väldigt mycket fortare i en tung stjärna, så att även om den har mer bränsle från början, så gör den slut på det i en betydligt snabbare takt.

Skillnaden är enorm. Solens förråd av väte räcker för att solen totalt ska kunna lysa i 10 miljarder år. En stjärna med 10% av solens massa har bara 0,2% av solens ljusstyrka, men i gengäld kan den lysa i hela 10 000 miljarder år! En tungviktare med 30 gånger solens massa lyser 120 000 gånger starkare än solen och förbrukar sitt kärnbränsle på mindre än 6 miljoner år!

Ju tyngre en stjärna är desto våldsammare blir dess död. Små stjärnor dör relativt stillsamt. Stora stjärnor (som solen) kastar ut betydande delar av sin materia i rymden, och de allra största stjärnorna exploderar som *supernovor*. Det är också resterna efter de största stjärnorna som bildar exotiska himlakroppar som *neutronstjärnor* och *svarta hål*.

En stjärna kan inte vara hur stor eller hur liten som helst. De minsta stjärnor man kan se är röda dvärgstjärnor som har 8% av solens massa. Naturligtvis bildas det himlakroppar med mindre massa än så, men de är då för små för att kärnreaktioner ska kunna komma igång i deras inre. Utan kärnreaktioner — ingen stjärna! Den enda energi de kan stråla ut är värmen som uppkom vid bildandet, och de svalnar därför snabbt av till kalla gasklot. Sådana ”misslyckade” stjärnor kallas för *bruna dvärgar*.

Det finns inte heller många stjärnor med mer än 50–70 gånger solens massa. Det beror på att sådana massiva stjärnor lever oerhört korta liv, men också på att sådana stjärnor har väldigt svårt att bildas.

Data om stjärnor med olika stora massor:

Massa	Livstid	Ljusstyrka	Diameter	Yttemperatur
30	6 miljoner år	120 000	12	40 000°C
5	70 miljoner år	500	3	17 000°C
3	240 miljoner år	60	2	12 500°C
1	10 miljarder år	1	1	5 800°C
0,5	30 miljarder år	0,07	0,5	4 000°C
0,1	10 000 miljarder år	0,002	0,1	2 800°C

Massan, ljusstyrkan och diametern är angivna relativt motsvarande värden för solen.

Fantastiska fakta:

Ju tyngre en stjärna är, desto kortare tid lever den och desto mindre blir den när den sedan dör!

Bruna dvärgar — varken stjärnor eller planeter

*Ur små gasmoln bildas gasklot som är för stora för att kallas för planeter och för små för att bli stjärnor, eftersom de inte kan hålla igång normala kärnreaktioner. Sådana misslyckade stjärnor kallas för **bruna dvärgar** och är kanske vanligare än vanliga stjärnor.*

När ett interstellärt gasmoln kollapsar och drar sig samman för att bilda stjärnor, bildas det gasklumpar av olika storlekar. I klumpar som väger mer än 8% av solens massa blir tryck och temperatur i gasklumpens centrum tillräckligt höga för att kärnreaktioner ska starta och klumpen utvecklas till en stjärna. I mindre klumpar startar aldrig de normala kärnreaktionerna som omvandlar väte till helium, utan det bildas

en gasboll som är ett mellanting mellan en stor gasplanet som Jupiter och en liten misslyckad stjärna.

Är massan större än ungefär 1,3% av solens massa kan kärnreaktioner äga rum som omvandlar tungt väte, *deuterium*, till helium, och om massan är större än 6,5% kan också litium omvandlas till helium. Både mängden deuterium och mängden litium är dock mycket begränsade, så dessa kärnreaktioner fungerar bara under en kort tid. Utan fortsatta kärnreaktioner produceras ingen ny energi och den bruna dvärgen svalnar därför långsamt av allt eftersom den kvarvarande värmen strålar ut i rymden.

Det är svårt att observera bruna dvärgar eftersom de är så små och inte strålar ut speciellt mycket energi. Beroende på storlek och ålder kan yttemperaturen ligga mellan 0°C och 2000°C. Bäst chans att observera bruna dvärgar har man därför i det infraröda våglängdsbandet. Det kan vara svårt att avgöra om ett objekt är en liten stjärna eller en stor brun dvärg, speciellt om det rör sig om en ung brun dvärg där kärnreaktioner fortfarande pågår.

En lite märklig egenskap hos de bruna dvärgarna är att de allihopa är ungefär lika stora som planeten Jupiter, oavsett hur mycket de väger. Det beror på att de är gasklot och ju mer massa de har, desto mer pressas gasen ihop av tyngdkraften. Slutresultatet råkar bli att storleken blir ganska lika även för väldigt olika massor.

Det finns bruna dvärgar som färdas ensamma genom rymden, men många ingår också i dubbel- eller multipelstjärnsystem med vanliga stjärnor. Man känner också till några bruna dvärgar som har planeter. Det är ännu osäkert hur vanligt förekommande bruna dvärgar är, men det är inte otänkbart att det kanske finns fler bruna dvärgar än det finns vanliga stjärnor.

Den bruna dvärg som ligger närmast jorden hittades 2011. Den kallas WISE 1541–2250 och ligger ungefär 9 ljusår bort, vilket gör den till den sjunde närmaste stjärnan. Tre ljusår längre ut i rymden finns *epsilon Indi* som består av ett dubbelsystem av bruna dvärgar som kretsar kring en vanlig stjärna.

HR-diagrammet —

nyckeln till stjärnornas liv

Om man ritar in stjärnornas yttemperatur och ljusstyrka i ett diagram avslöjas märkliga samband. Ur ett sådant så kallat HR-diagram kan man utläsa en stjärnas hela levnadsöde från födelse till död! HR-diagrammet är stjärnforskarnas viktigaste redskap för att avslöja stjärnornas hemligheter!

Om man ritar in ett antal stjärnor i ett diagram som har yttemperatur på ena axeln och ljusstyrka på andra axeln, får man ett *Hertzsprung–Russell-diagram* (förkortat HR-diagram). Stjärnorna hamnar inte slumpmässigt i sådant diagram, utan man ser tydligt att det finns viktiga samband mellan ljusstyrka och yttemperatur.

Ljusstyrkan kan man räkna ut om man mäter stjärnans skenbara ljusstyrka på himlen och vet avståndet till den. Yttemperaturen får man från stjärnans färg. Namnet Hertzsprung–Russell-diagram kommer av de båda astronomer som oberoende av varandra först gjorde sådana studier i början på 1900-talet.

Genom att titta efter var en stjärna befinner sig i HR-diagrammet och använda sig av olika modellberäkningar kan man avslöja mycket om dess liv: hur gammal den är, hur stor den är, hur länge den levt, vad som har hänt den tidigare och vad som kommer att hända den i framtiden. HR-diagrammet är kort sagt en nyckel till stjärnornas liv!

Allteftersom stjärnorna genomgår olika faser av sitt liv flyttar de sig runt i HR-diagrammet efter mer eller mindre komplicerade mönster.

De flesta stjärnorna ligger på ett band som löper diagonalt tvärs över diagrammet. Detta band kallas för *huvudserien*, och det är där stjärnorna tillbringar den största delen av sitt liv. De befinner sig då i jämvikt och producerar energi genom att omvandla väte till helium.

På huvudserien ligger stjärnorna sorterade efter hur tunga de är. De tyngsta stjärnorna är heta och ljusstarka, och återfinns därför uppe till vänster i diagrammet, medan de små och ljussvaga stjärnor finns nere till höger. Vår egen sol är en medelstor stjärna och befinner sig därför ungefär mitt i huvudserien.

Ovanför huvudserien finns jättestjärnorna. Det är åldrande stjärnor som gjort slut på sitt förråd av väte inne i centrum och därför svällt upp till jättar. Lite längre ut pågår fortfarande omvandlingen av väte till helium i ett skal, men inne i centrum får en jättestjärna istället sin energi från kärnreaktioner där helium bildar kol, syre och andra tyngre grundämnen. Sådana kärnreaktioner ger inte lika mycket energi, och därför tillbringar en stjärna betydligt kortare tid som jätte än vad den tillbringade på huvudserien.

Stjärnor som ligger under huvudserien är döda stjärnor som kallas för vita dvärgar. Hos dem pågår inte längre några kärnreaktioner, och de svalnar därför av och försvinner ut ur HR-diagrammet nere till höger.

En stjärnas liv —

som stabil kärnreaktor

En stjärna lever normalt ett långt och ganska händelselöst liv. Under miljarder år strålar den ut sin energi i rymden.

Energien får den från kärnreaktioner i sitt inre där den i jämn takt omvandlar väte till helium.

När en stjärna har bildats och kärnreaktionerna väl kommit igång i dess inre väntar ett långt och rätt så lugnt liv framför den. Solen har hittills lyst i bortåt 5 miljarder år och kommer att fortsätta att lysa i ytterligare 5 miljarder år till.

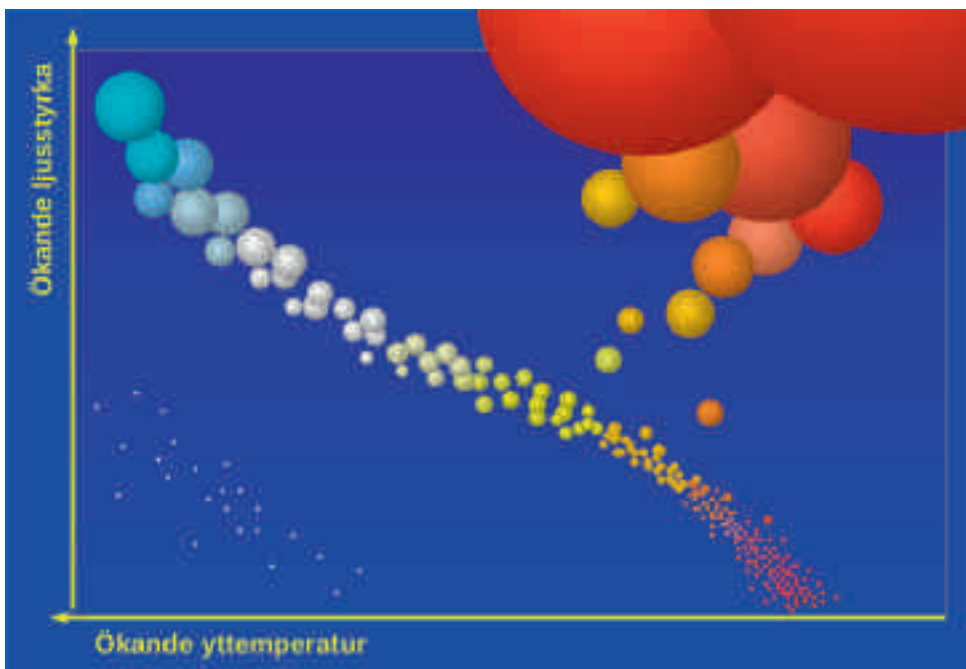
Det finns två motverkande krafter som styr stjärnans liv. Gravitationen försöker pressa ihop stjärnan och energin från kärnreaktionerna försöker få stjärnan att svälla upp. De båda krafterna balanserar varandra och ställer automatiskt in sig i ett jämviktsläge.

I en vanlig stjärna finns det ingen risk att kärnreaktionerna skenar. Om reaktionerna skulle tillta vinner de över gravitationskrafterna och stjärnan sväller upp. Då sjunker trycket och temperaturen i stjärnan vilket gör att kärnreaktionerna avtar och gravitationen kan pressa ihop stjärnan igen. När stjärnan pressas ihop ökar tryck och temperatur, och därmed tilltar också kärnreaktionerna.

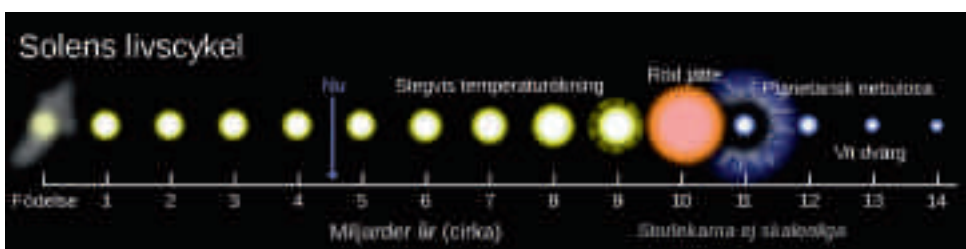
Det gasmoln som stjärnan bildats ur består till ungefär $\frac{3}{4}$ av väte och $\frac{1}{4}$ av helium. Alla andra grundämnen tillsammans utgör högst några få procent. Vid kärnreaktionerna omvandlas väte till helium genom att fyra vätekärnor i flera steg slås ihop till en heliumkärna. Det är samma princip som används i vätebomber, och det är en av de mest effektiva processer för att producera energi, som vi känner till. För att producera lika mycket energi som frigörs när ett kilo väte omvandlas till helium skulle man behöva elda upp mer än *16 miljoner liter* bensin!

Fantastiska fakta:

Varje sekund omvandlar solen 600 miljoner ton väte till 596 miljoner ton helium genom kärnreaktioner! Mellanskillnaden försvinner bort som solljus. Solljus väger naturligtvis ingenting, men de 4 miljoner ton som fattas har omvandlats till energi enligt Einsteins berömda formel $E = m \cdot c^2$, som säger att materia (m) kan omvandlas till energi (E).



Om man ritar in stjärnor i ett diagram beroende på deras ljusstyrka och yttemperatur (som bestämmer stjärnans färg) får man ett Hertzsprung–Russell-diagram. I den här illustrationen representerar prickarnas färg och storlek stjärnornas färg och storlek. Alla stjärnor tillbringar större delen av sina liv på huvudserien som löper diagonalt genom diagrammet från de blå jättarna uppe till vänster ner till de röda dvärgarna nere till höger. Mot slutet av sina liv sväller stjärnorna upp till gigantiska röda jättar och hamnar uppe till höger. När en stjärna sedan förvandlas till en vit dvärg hamnar den nere till vänster. (Källa: M. Lerner)



På den här tidsaxeln visas vår sols hela livsöde. Solen föddes ur ett gasmoln för ungefär 4,6 miljarder år sedan och har sedan dess lyst stadigt. Den har bränsle för ungefär 5 miljarder år till, innan den når slutfasen av sitt liv och sväller upp till en röd jättestjärna. De yttre delarna som innehåller ungefär halva solens massa kommer att kastas ut i rymden som en planetarisk nebulosa, medan resten kommer att krympa ihop till en liten vit dvärg inte större än jorden, som sedan långsamt svalnar av. (Källa: Wikipedia)

En stjärnas död —

när energibristen blir akut

När en stjärna inte längre har tillräckligt med kärnbränsle för att hålla igång sin energiproduktion på vanligt sätt närmar sig slutet oundvikligen. Under sin dödskamp sväller stjärnan upp till en jätte. Samtidigt förlorar den mycket av sin massa. Hos de flesta stjärnor sker detta genom att stjärnans yttre delar gradvis kastas ut i rymden, men för riktigt tunga stjärnor kan det sluta med en dramatisk supernovaexplosion som spränger stjärnan i stycken. Kvar återstår sedan bara en död stjärnrest.

När stjärnans förråd av väte tar slut inne i centrum, måste stjärnan hitta andra sätt att producera energi. Gravitationen får dess centrala delar att krympa ihop till dess att tryck och temperatur har blivit så pass höga att helium kan omvandlas till kol och syre. Samtidigt sväller stjärnan upp till gigantisk storlek — den blir en röd jätte!

Utanför kärnan kan det fortfarande finnas kvar väte som omvandlas till helium i ett skal. Allteftersom heliumet i centrum förbrukas och ersätts med nybildat kol och syre, flyttar sig heliumomvandlingen också ut till ett skal. Kärnreaktionerna går i det här stadiet mer ryckigt, och stora delar av stjärnans yttre lager kastas ut i rymden. Den lysande gasen bildar en *planetarisk nebulosa*, ett slags kosmisk rökring efter en döende stjärna.

När kärnreaktionerna upphör faller stjärnan sedan samman till en *vit dvärg*, som långsamt svalnar av.

I riktigt små stjärnor blir aldrig tryck och temperatur så höga att heliumomvandlingen kan starta, och de förvandlas därför till vita dvärgar när väteomvandlingen i skalet runt kärnan med helium upphör.

Stjärnor tyngre än åtta gånger solens massa når högre tryck och temperaturer i sina inre, och för dem slutar inte kärnreaktionerna med heliumomvandlingen. Kol börjar omvandlas till neon och magnesium. I de allra tyngsta stjärnorna fortsätter kärnreaktionerna att producera allt tyngre grundämnen. Nästa steg är kisel och svavel, som slutligen omvandlas till järn och nickel.

Vid järn och nickel är det obönhörligen stopp, eftersom fortsatta omvandlingar till ännu tyngre grundämnen förbrukar energi istället för att producera energi. Stjärnans inre drabbas av en hastig kollaps, som frigör enorma mängder energi. Denna energi startar kärnreaktioner i resten av stjärnan som skenar iväg och det slutar med att stjärnan sprängs i stycken i en *supernovaexplosion*, medan dess innersta delar faller ihop till en *neutronstjärna* eller ett *svart hål*.

Solen kommer att svälla upp till en röd jätte om ungefär 5 miljarder år. Den blir då så stor att den kommer att svälja de innersta planeterna: Merkurius, Venus och kanske också jorden. I sitt inre omvandlar den då helium till kol och syre. Samtidigt kastas de yttersta delarna ut i rymden. När heliumet är förbrukat krymper solen ihop till en *vit dvärg* inte större än jordklotet.

Supernovor —

riktiga stjärnsmällor

När de allra tyngsta stjärnorna drabbas av bränslebrist finns det bara ett oundvikligt slut: hela stjärnan exploderar i en gigantisk supernovaexplosion. Mängder av olika grundämnen skapas i supernovan och kastas ut i den omgivande rymden.

När kärnreaktionerna i en jättestjärnas inre har nått så långt att järn och nickel producerats är stjärnans öde beseglat. Att skapa tyngre grundämnen förbrukar nämligen energi istället för att frigöra energi, och därför blir det tvärstopp. Stjärnans inre faller samman till en *neutronstjärna* eller ett *svart hål*. Vid kollapsen frigörs så mycket energi att en skenande kärnexplosion startar i stjärnans yttre delar, som spränger resten av stjärnan i stycken.

Det frigörs ofattbara mängder energi vid en supernovaexplosion. I en enda smäll kan en supernova producera 100 gånger mer energi än vad solen totalt kommer att kunna göra under hela sitt 10 miljarder år långa liv! Därför är det inte så konstigt att en supernova under några månader kan lysa starkare än alla de andra hundratals miljarder stjärnor som finns i samma galax.

Större delen av stjärnans massa kastas ut med hastigheter som kan vara uppemot 10% av ljushastigheten, d.v.s. 30 000 km/s! I den utrusande gasen äger alla möjliga typer av kärnreaktioner rum, både sådana som producerar energi och sådana som förbrukar energi. Resultatet blir att alla tänkbara grundämnen bildas och sprids ut i den omgivande rymden.

Vid universums skapelse bildades det i princip inga andra grundämnen än väte och helium. Alla andra grundämnen, t.ex. kol, syre, svavel, aluminium, kisel, järn, guld och uran, måste därför ha skapats inne i döende stjärnor och sedan kastats ut i rymden! Supernovorna står för den största delen av den här produktionen. **Jorden och du själv består alltså av stjärnaska från gamla supernovor!!!**

Man uppskattar att det inträffar en supernovaexplosion ungefär vart 50-de år i Vintergatan. De senaste seklerna har vi dock haft otur; den sista supernovan som observerats i vår galax var Keplers supernova som var synlig år 1604. Den mest närbelägna supernovan som observerats sedan dess (år 1987) är supernovan SN1987A i en satellitgalax till Vintergatan kallad Stora Magellanska molnet.

Döda stjärnor —

små hoptryckta stjärnrester

*Efter den sista dramatiska delen av en stjärnas liv faller det som återstår av den samman under tyngdkraftens inverkan. Vad som sedan händer med den återstående stjärnresten beror helt på hur mycket den väger. Om den inte är alltför tung bildar den en **vit dvärg**. Är den tyngre faller den ihop till en **neutronstjärna** eller ett **svart hål**.*

Tätheten hos olika sorters stjärnor:



En sådan här klump av **solen** väger **1,5 gram!**

En sådan här klump av en **vit dvärg** väger **1,5 ton!**

En sådan här klump av en **neutronstjärna** väger **200 miljoner ton!**

En sådan här klump av ett **svart hål** väger **mer än 50 miljarder ton!**

Vita dvärgar —

jordklotsstora stjärnor

Om den döende stjärnresten väger mindre än 1,4 gånger solens massa, krymper den ihop till en vit dvärg. En vit dvärg är ungefär lika stor som jordklotet, men kan alltså väga mer än solen. Vår egen sol kommer att sluta sitt liv som en vit dvärg.

En nybildad vit dvärg är väldigt het eftersom den pressats ihop så enormt. Det pågår inga kärnreaktioner i den vita dvärgen. Efterhand som den strålar ut sin energi svalnar den därför av, och till slut blir den en kall *svart dvärg*.

Solen kommer att sluta sitt liv som en vit dvärg med ungefär hälften av sin nuvarande massa. Den andra hälften kommer den att kasta ut i rymden under de sista stadierna i sitt liv, innan den blir en vit dvärg.

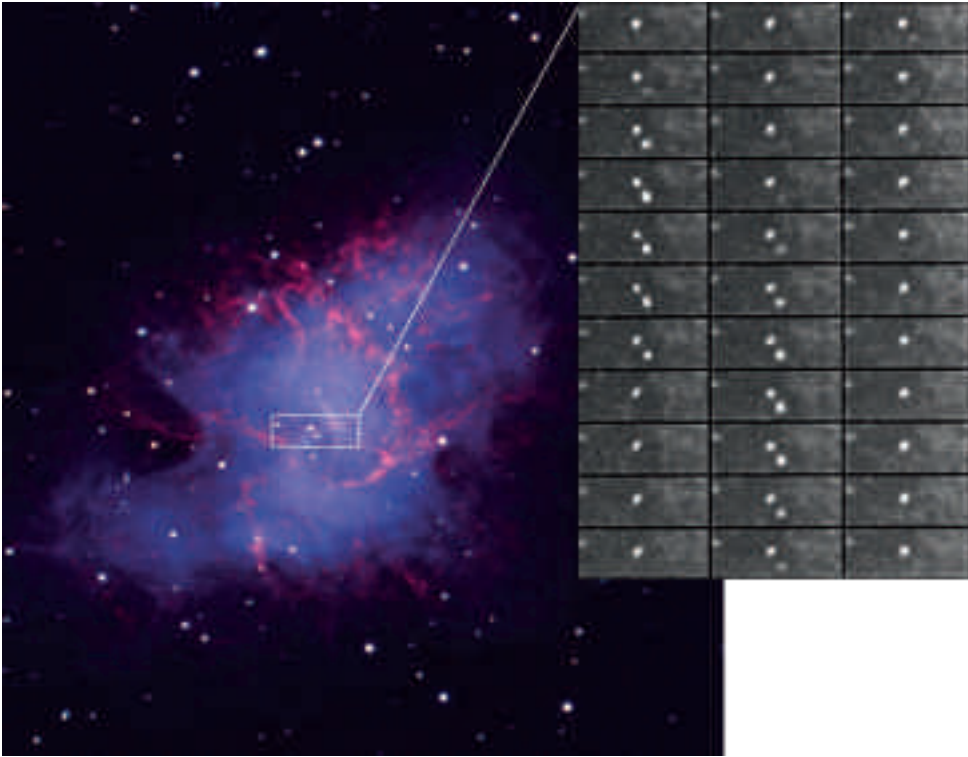
Vita dvärgar är oerhört små och därför så ljussvaga att inte ens de allra mest närbelägna dvärgarna är synliga utan teleskop. Den allra ljusstarkaste stjärnan på himlen, Sirius, är en dubbelstjärna där den andra stjärnan är en vit dvärg. Sirius-systemet ligger 8,7 ljusår bort, och trots att den vita dvärgen väger hälften så mycket som huvudstjärnan så sänder den bara ut en 10 000-del så mycket ljus.

Neutronstjärnor —

stjärnor inte större än en stad

En stjärna som är för tung för att bli en vit dvärg faller samman till en ännu egendomligare himlakropp: en neutronstjärna. En neutronstjärna väger mer än solen men är bara några mil stor!

I en stjärnrest som är tyngre än 1,4 gånger solens massa blir trycket så högt att atomkärnor och elektroner inte längre kan existera. De smälter samman och bildar neutroner. Neutroner kan packas mycket tätare, och den nybildade neutronstjärnan blir därför oerhört kompakt. Trots att den väger mer än solen är den inte större än



Ovan: Krabbnubulosan är resterna efter en stjärna som exploderade som en supernova år 1054. Efter explosionen kollapsade resterna av stjärnan till en neutronstjärna som också är en pulsar och som roterar 30 varv runt sin egen axel per sekund. Med en höghastighetskamera har man fotograferat hur pulsaren blinkar till 30 gånger per sekund (de små bilderna till höger). Stjärnan som inte ändrar ljusstyrka ligger i bakgrunden. (Källa: N.A. Sharp, NOAO, AURA, NSF)



Vänster: En konstnär föreställer sig en neutronstjärna. Trots att den väger mer än solen är den inte större än 2–3 mil. Partiklar som rör sig i det intensiva magnetfältet kan skicka ut strålning som vi kan se som en pulsar. (Källa: ESO, L. Calçada)

2–3 mil i diameter! Ju tyngre neutronstjärnan är desto mindre är den, eftersom den starkare tyngdkraften då trycker ihop den mer.

Större delen av neutronstjärnan består av neutroner som befinner sig i ett slags vätskeliknande tillstånd. Ytterst finns dock en skorpa som också innehåller atomkärnor och elektroner som inte pressats samman till neutroner. Skorpan befinner sig i ett fast tillstånd och kan vara upp till 1 km tjock. Den extrema tyngdkraften gör att ytan är synnerligen slät; de högsta ”bergen” på en neutronstjärna kan inte vara högre än 5 millimeter. Atmosfären på en neutronstjärna är högst någon decimeter tjock.

När en stor stjärna komprimeras så mycket, ökar dess magnetfält och blir fruktansvärt kraftigt. Stjärnans rotationshastighet ökar också, och vissa neutronstjärnor kan snurra flera hundra varv runt sin egen axel per sekund! Från en del neutronstjärnor tar vi emot en strålningspuls för varje varv som stjärnan roterar. Sådana neutronstjärnor kallas för *pulsarer*.

Den så kallade *Krabbnebulosan* i Oxens stjärnbild är de lysande resterna från en supernova som exploderade år 1054. I nebulosans centrum har man hittat en neutronstjärna som också är en pulsar.

Fantastiska fakta:

Tyngdkraften på ytan av en neutronstjärna är så stark att tiden går betydligt långsammare där. Det är helt i sin ordning eftersom Einsteins allmänna relativitetsteori förutsäger att tiden går långsammare i ett kraftigt tyngdkraftsfält.

Pulsarer — fyrar i rymden

*Från en del neutronstjärnor tar vi emot regelbundna strålningspulser, och de kallas därför för **pulsarer**. Pulsarer fungerar som extremt noggranna klockor och kan användas för att studera t.ex. Einsteins relativitetsteori.*

Den första pulsaren upptäcktes 1967 av Jocelyn Bell och Antony Hewish, när de fann en radiokälla på himlen som sände ut mystiska radiopip var 1,34 sekund. I början

visste de inte vad det var för något de hade upptäckt, och pulsaren kallades därför halvt på skämt för *LGM-1*, den engelska förkortningen för *små gröna män*. Så småningom insåg man att en pulsar är en neutronstjärna och den första pulsaren kallas numera för PSR 1919+21 (siffrorna talar om var på himlen pulsaren finns).

Elektriskt laddade partiklar (elektroner och atomkärnor) som rör sig i neutronstjärnans magnetfält accelereras så kraftigt att de börjar sända ut ljus och annan elektromagnetisk strålning (t.ex. radio och röntgen). Ljuset skickas huvudsakligen ut i smala koner från stjärnans magnetpoler. Magnetpolerna behöver inte alls sammanfalla med stjärnans rotationsaxel, och om de inte gör det sveper de här ljuskonerna runt i rymden på samma sätt som ljuset från en fyr. Om jorden ligger i ljuskonernas väg ser vi hur neutronstjärnan blinkar till för varje varv den gör runt sin egen axel. En sådan neutronstjärna kallas därför för en *pulsar*. Vi känner till ungefär 2 000 pulsarer.

Pulsarerna kan användas som extremt noggranna klockor, fast helt perfekta är de inte. Energin till den strålning som sänds ut måste tas någonstans ifrån, och den enda energi som neutronstjärnorna har tillgänglig är sin egen rotationsenergi. Allteftersom tiden går tappar alltså neutronstjärnorna farten och roterar allt långsammare.

Vissa pulsarer ändrar ibland rotationsperioden i ett plötsligt språng. Man tror att sådana språng kan bero på förändringar i gränsskiktet mellan pulsarens inre och dess yttre skorpa. De kan också bero på förändringar i skorpan som orsakats av *stjärnbävningar*.

Att pulsarerna uppträder som synnerligen exakta klockor gör att de kan användas som mätinstrument. Upptäckten av den första pulsaren som ingår i ett dubbelstjärnesystem 1974 gjorde det möjligt att studera Einsteins relativitetsteori. Bland annat har man uppmätt att pulsarens bana minskar med 3,1 millimeter för varje omlopp, vilket bevisar att systemet sänder ut gravitationsvågor. Det här var det första beviset för att gravitationsvågor som förutsagts av relativitetsteorin verkligen existerar. Upptäckarna Russell Hulse och Joseph Taylor belönades därför med nobelpriset 1993.

Fantastiska fakta:

Den första pulsaren upptäcktes 1967 med hjälp av ett radioteleskop. Astronomerna kunde först inte förstå vad det kunde vara för ett konstigt objekt som sände ut ett pip i sekunden med en sådan regelbundenhet. En av de första gissningarna var att det kunde vara en tidssignal som utomjordingar sände ut!

Svarta hål —

när inget stoppar tyngdkraften

Om en stjärnrest väger mer än 3 gånger så mycket som solen orkar ingenting hålla emot den enorma tyngdkraften, utan stjärnan kollapsar till ett svart hål. Ingenting — inte ens ljus eller radiosignaler — kan lämna ett svart hål! Allt som trillar in i ett svart hål går för evigt förlorat!

Ju kompaktare ett objekt blir, desto större blir dragningskraften vid dess yta och därmed också *flykthastigheten*, d.v.s. den hastighet som ett föremål måste ha för att kunna lämna objektet. När den kollapsande stjärnans radie bara är några kilometer är dragningskraften så stor att flykthastigheten överskrider ljusets hastighet. Det avståndet kallas för det svarta hålets *händelsehorisont* eller *Schwarzschild-radie*. Allt som finns innanför händelsehorisonten försvinner för alltid in i det svarta hålet!

Innanför händelsehorisonten faller materian vidare in mot det svarta hålets centrum, där tätheten blir oändlig. Där uppstår en *singularitet*, där våra vanliga fysiska lagar upphör att fungera. Hur det ser ut inne i singulariteten kan vi alltså inte förutsäga!

Man kan inte utifrån se på ett svart hål vad det var för en stjärna som gav upphov till det — den informationen går helt förlorad när hålet bildas. Ett svart hål behåller bara tre fysikaliska egenskaper: sin massa, sin rotation och sin elektriska laddning, om det har någon.

Eftersom ingenting kan lämna ett svart hål består det för evigt när det väl har bildats. Stephen Hawking har dock föreslagit att svarta hål också har en fjärde egenskap: temperatur. I så fall skulle de sända ut värmestrålning från ett område strax utanför det svarta hålet, och energin till det skulle då tas från det svarta hålets massa. Enligt Hawking skulle alltså ett svart hål långsamt förlora massa för att så småningom i en oerhört avlägsen framtid helt upplösas.

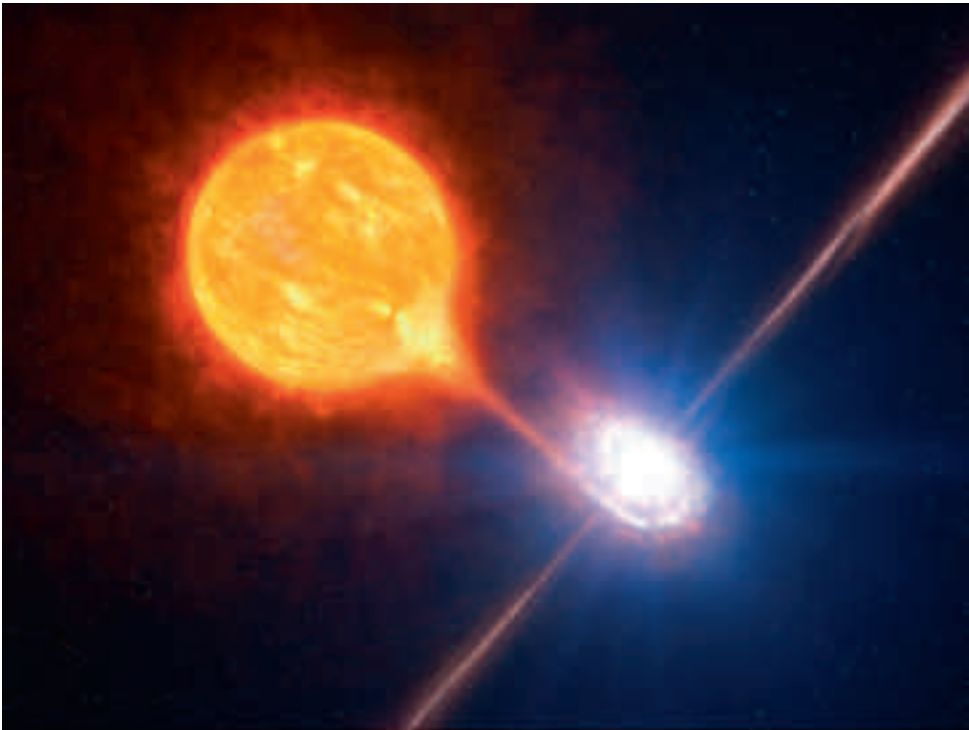
Enligt Einsteins allmänna relativitetsteori påverkar det oerhörda tyngdkraftsfältet rymden strax utanför det svarta hålet på en rad märkliga sätt: rymden kröks, ljuset rör sig i konstiga banor och tiden går annorlunda!

I science fiction-berättelser beskrivs svarta hål ofta som fruktansvärda kosmiska dammsugare som suger i sig alla stjärnor, planeter och rymdskepp som kommer i dess väg. I själva verket är det svårt att trilla ner i ett svart hål! Om vi kunde byta ut solen mot ett svart hål med samma massa som solen, skulle jorden fortsätta att kretsa runt det svarta hålet som om ingenting hade hänt!

Gas som faller in mot ett svart hål hamnar i en *ansamlingskiva* som roterar runt det svarta hålet. Genom friktion inne i skivan bromsas gasen upp tills den slutligen

kan trilla in i hålet. Friktionen hettar samtidigt upp skivan till mycket höga temperaturer, och den sänder därför ut strålning (huvudsakligen energirik strålning som röntgenstrålning).

Eftersom svarta hål inte sänder ut någon strålning är de extremt svåra att hitta, såvida de inte har ansamlingsskivor. Det kan därför finnas många ensamma svarta hål som vi helt enkelt inte kan upptäcka. Ett av de bäst studerade svarta hålen finns i *Cygnus X-1* som ligger ungefär 6 000 ljusår från jorden. Cygnus X-1 är en dubbelstjärna bestående av en stor blå jättestjärna och ett osynligt objekt, som man tror är ett svart hål. Noggranna studier har visat att det svarta hålet väger nästan 15 gånger mer än solen och snurrar runt sin egen axel 800 gånger per sekund. Man tror att det bildades när en tidigare jättestjärna slutade sitt liv med en supernovaexplosion för ungefär 6 miljoner år sedan.



En konstnär föreställer sig ett dubbelstjärnesystem med en röd jättestjärna och ett svart hål. Gas från jättestjärnan fångas in av det svarta hålet och hamnar i en ansamlingsskiva där den hettas upp kraftigt innan den så småningom faller in i det svarta hålet. Vi ser också där gas som skjuts ut i två jetstrålar vinkelrätt mot ansamlingsskivan. (Källa: ESO, L. Calçada, M. Kornmesser)

INTERSTELLÄR GAS

Interstellär gas — material i rymden mellan stjärnorna

Rymden mellan stjärnorna är inte tom. Där finns gas i form av stora men extremt tunna gasmoln, s.k. interstellär gas. Den sammanlagda massan av gasen som finns i vår galax Vintergatan uppgår till ca 10% av stjärnornas vikt. Gasmoln som vi kan se kallas för **nebulosor**.

Gasen består till ungefär $\frac{3}{4}$ av väte och $\frac{1}{4}$ av helium. Övriga grundämnen utgör högst några få procent, men är ändå betydelsefulla, eftersom de bildar **stoftkorn**. Den interstellära gasen finns i flera former: som **molekylär gas**, som **atomär gas** och som tunn, het **koronagas**.

Fantastiska fakta:

Om ett gasmoln i rymden innehåller 1 000 000 gasmolekyler per kubikcentimeter talar astronomerna om *tät gas*. Fast i jämförelse med luften vi andas är det rena vakuumet — en kubikcentimeter luft innehåller nämligen mer än 27 000 000 000 000 000 000 molekyler!

Atomär gas —

lättast att studera

I atomär gas består gaspartiklarna av enskilda atomer. Ungefär hälften av gasen i vår galax, Vintergatan, är atomär. Atomär gas sänder ut radiostrålning och är därför den form av den interstellära gasen som är lättast att studera.

Atomär gas är tunnare och varmare än den molekylära gasen. Typiska temperaturer ligger mellan -220°C och -120°C . Det finns högst några få atomer per cm^3 .

Atomär vätgas sänder inte ut något synligt ljus men väl radiostrålning med 21 centimeters våglängd. Man har därför kunnat kartlägga nästan all atomär gas i hela Vintergatan med hjälp av radioteleskop.

I områden nära stjärnor kan temperaturen stiga till många tusen grader. Gasen blir då joniserad (d.v.s. atomerna förlorar elektroner) och sänder ut synligt ljus. Ett sådant område kallas för en *HII-region*. HII-regioner finns huvudsakligen i områden där det föds nya stjärnor, vilket betyder att man hittar de flesta HII-områdena i spiralarmarna hos spiralgalaxer.

Molekylär gas —

kemiska fabriker i rymden

I molekylär gas har atomerna slagit sig samman och bildat molekyler. Molekylär gas finns inte överallt, eftersom molekyler är känsliga för strålning och hög temperatur. Det är ur moln av molekylär gas som nya stjärnor föds!

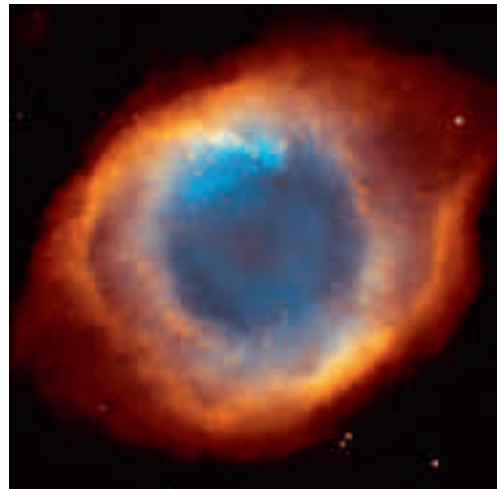
Ungefär hälften av gasen i Vintergatan finns i täta gasmoln som är så pass kalla att molekyler kan existera. Det finns stora molekylnolnskomplex som vart och ett väger mer än en miljon gånger vad solen väger.

Temperaturen är låg, ofta mellan -260°C och -220°C . Antalet molekyler per cm^3 kan variera från något hundratal upp till många miljoner i de tätare delarna. Trots



Ovan: Det här ser kanske ut som en fantasifull målning, men det är ett fotografi av en del av Carinanebulosan taget av rymdteleskopet Hubble. Nybildade stjärnor lyser upp klumpar av täta gas- och stoftmoln där ännu fler stjärnor håller på att bildas. (Källa: NASA, ESA, STScI, M. Livio)

Höger: Helixnebulosan i stjärnbilden Vattumannen är en så kallad planetarisk nebulosa, d.v.s. de yttre delarna av en döende stjärna (pricken i mitten) som kastats ut i rymden. Avståndet är cirka 650 ljusår. (Källa: NASA, NOAO, ESA, M. Meixner, T.A. Rector)



det är partikeltätheten långt mycket mindre än i det bästa vakuum som kan skapas i jordiska laboratorier!

Molnen med molekylär gas är mycket betydelsefulla. Det är nämligen ur dessa som nya stjärnor och planeter bildas.

Tyvär är den molekylära gasen svår att observera. Eftersom den är kall sänder den inte ut något ljus, och den dominerande molekylen, vätemolekylen, sänder inte ut någon radiostrålning heller. För att kartlägga gasen använder man sig därför av andra molekyler, som sänder ut radiostrålning. Den näst vanligaste molekylen efter väte, och därmed den viktigaste för astronomerna, är kolmonoxid.

Sammanlagt har man upptäckt ungefär 160 olika slags molekyler i den molekylära gasen, allt från enkla molekyler som svavelmonoxid, ammoniak och formaldehyd till ämnen som metanol, etanol och molekyler med långa kolkedjor.

Molekylerna bildas huvudsakligen på ytan av de stoftkorn som finns uppblandade med gasen. Värme och strålning från stjärnor slår sönder molekylerna. Ju längre in i ett molekylmoln man kommer, desto mindre är risken att molekylerna ska förstöras. I utkanterna dominerar däremot de nedbrytande krafterna, och moln av molekylär gas brukar därför vara omgivna av atomär gas.

Koronagas —

tunn men het

Koronagas är en mycket het och mycket tunn form av interstellär gas. Temperaturen kan vara upp till en miljon grader, men gasen är så tunn att den totala mängden koronagas ändå är liten. Vid den höga temperaturen utsänder gasen röntgenstrålning.

Stora områden i och utanför vår galax, Vintergatan, är fyllda med *koronagas*. Trots det utgör den bara 0,1% av den totala gasmassan, eftersom den är så tunn. I genomsnitt finns det bara en gaspartikel per 300 cm³.

Kallare och tätare gasmoln ligger inbäddade som klumpar i koronagasen, och det är alltså koronagasen som fyller ut rymden mellan gasmolnen.

Koronagasen uppstår förmodligen som ett resultat av *supernovaexplosioner*. Supernovorna slungar ut gas i rymden som knuffar undan och löser upp kallare gasmoln som kommer i dess väg. Kvar blir en växande bubbla av tunn, superhet koronagas.

Stoft —

damm i rymden

Alla ämnen i ett gasmoln uppträder inte som gas. Ämnen som kol, kisel och järn finns istället i fast form som små mikroskopiska stoftkorn.

Ungefär 1% av materien i gasmolnen utgörs av små stoftkorn. Stoftet har normalt en temperatur mellan -260°C och -230°C , men i närheten av stjärnor kan temperaturen vara många hundra grader varmare. Det betyder att man får använda sig av värmestrålning om man vill observera stoftet.

Stoftkornen består förmodligen av kol och kiselföreningar. I kalla moln kan stoftkornen vara överdragna av en skorpa av frusna gaser som vatten, ammoniak och kolmonoxid.

Stoftkornen bildas förmodligen i de svala atmosfärerna hos åldrande jättstjärnor. De drivs sedan ut i rymden och blandas med den interstellära gasen.

Stoftet har stor betydelse för molnen av molekyllär gas. Dels hjälper det till och skyddar molekylerna från energirik strålning som annars skulle slå sönder dem, och dels erbjuder stoftkornens ytor en bra miljö för bildandet av nya molekyler.

Stoftet skymmer sikten och gör att vi inte kan se hur långt ut i universum som helst i alla riktningar. Vintergatans centrum ligger till exempel dolt bakom tjocka stoftmoln. Vill man undersöka hjärtat i vår galax kan man istället använda sig av radiostrålning som inte hindras av stoftet.

Gasen runt omkring

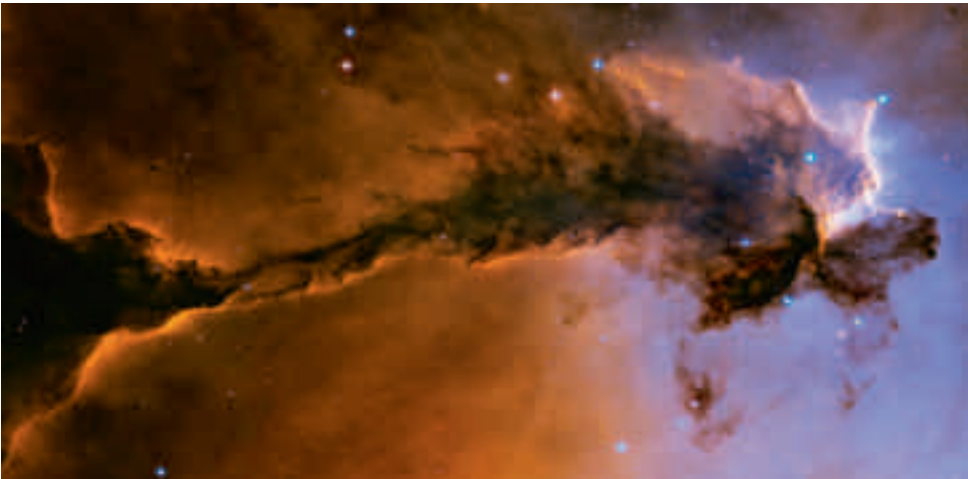
OSS —

en het bubbla

Vårt solsystem tycks befinna sig i kanten av ett gasmoln bestående av rätt het och tunn gas ($10\,000^{\circ}\text{C}$ och 1 gaspartikel per 10 cm^3). Detta moln är omgivet av hetare och tunnare



Trifidnebulosan i Skjuttens stjärnbild är ett område där nya stjärnor bildas. Den är ett prakt-exempel på tre viktiga typer av nebulositet: den rödaktiga delen är en emissionsnebulosa, den blåaktiga delen är en reflektionsnebulosa, och vi ser också kall, stoftrik gas som stråk av mörka nebulosor. (Källa: ESO)



Här ser vi en del av Örnnebulosan i Ormens stjärnbild. Den mörkare strukturen, som är ca 9,5 ljusår lång, är ett kallt gasmoln i vilket nya stjärnor håller på att bildas. Flera av stjärnorna på bilden är nybildade stjärnor som med sin starka strålning blåser iväg och löser upp gasmolnet. (Källa: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team, STScI och AURA)

koronagas. Molnet är mellan 15 och 30 ljusår stort, och det finns klumpar i det med kallare och tätare gas.

Nebulosor —

synliga moln av gas och stoft

*När vi tittar upp mot stjärnhimlen ser vi inte så mycket av gasen och stoftet i rymden mellan stjärnorna, men på en del ställen ger de sig ändå till känna. Det finns två typer av lysande moln av gas och stoft: **emissionsnebulosor** och **reflektionsnebulosor**. Det finns också några speciella klasser av emissionsnebulosor: **planetariska nebulosor** och **supernovarester**.*

*Ibland kan man också se gasmoln som innehåller så mycket stoft att de skymmer bort ljuset från stjärnor och gas som ligger bakom dem. De kallas då för **mörka nebulosor**.*

Emissionsnebulosor —

lysande gas i rymden

Emissionsnebulosor är gasmoln som är så kraftigt upphettade att de sänder ut ljus. De finns alltid i närheten av heta och ljusstarka stjärnor. Emissionsnebulosor ser oftast rödaktiga ut.

Emissionsnebulosor uppkommer när ett gasmoln, som ju huvudsakligen består av vätegas, hettas upp så mycket av en närbelägen stjärna att vätegasen joniseras, d.v.s. atomerna förlorar sina elektroner. När elektroner och atomkärnor sedan återförenas sänder de bara ut ljus på vissa speciella våglängder. Den viktigaste våglängden för väte ligger inom den röda delen av spektrat och därför ser emissionsnebulosor röda ut.

Orionnebulosan i stjärnbilden Orions svärd är ett av de vackraste exemplen på en emissionsnebulosa. Man ser den lätt med blotta ögat, men om man vill kunna se färgerna behöver man ett teleskop.

Supernovarester —

glöd från en stjärnsmäll

*Om en massiv stjärna exploderar som en supernova slungas stora mängder extremt het gas ut i rymden och bildar en nebulosa. En sådan emissionsnebulosa kallas följaktligen för en **supernovarest**.*

De utrusande gasmassorna från en supernova kolliderar med den kallare gas som redan finns i rymden. Denna gas hettas upp kraftigt vid kollisionen och sveps med utåt. På så vis uppstår en växande bubbla av tunn och mycket het gas runt den stjärnrest som återstår efter supernovaexplosionen.

Ett exempel på en supernovarest är *Krabbnebulosan* i Oxens stjärnbild. Supernovan som gav upphov till denna nebulosa sågs år 1054.



Krabbnebulosan är en supernovarest som bildades efter en stjärna som exploderade 1054. Den är nu ungefär 13 ljusår lång längs med sin längsta axel och gasen rusar ut med en hastighet av ungefär 1 500 km/s. I dess centrum finns en pulsar som snurrar 30 gånger runt sin egen axel per sekund. (Källa: NASA, ESA, J. Hester och A. Loll)

Planetariska nebulosor —

kosmiska rökringar

En planetarisk nebulosa är en typ av emissionsnebulosa som ser ut som en ring runt en döende stjärna. Stjärnan har då kastat av sig sina yttre delar som bildar ett växande skal runt stjärnan.

Gasen i den planetariska nebulosan kastas ut under den sista delen av stjärnans liv innan den faller samman till en vit dvärg. Energin för att hålla gasen lysande kommer från den vita dvärgens intensiva strålning. Med tiden rör sig dock gasen allt längre ut i rymden, svalnar av och blandar sig med den kalla, osynliga gasen som finns mellan stjärnorna. Denna process tar uppskattningsvis mellan 50 000 och 100 000 år.

Namnet ”planetarisk nebulosa” kommer av att de i små teleskop ser ut som liten rund skiva, inte helt olik en planet.

Det finns många vackra planetariska nebulosor som man kan se med hjälp av ett litet teleskop. En av de mest välkända är *Ringnebulosan* som finns i Lyrans stjärnbild.

Reflektionsnebulosor —

upplyst stoft

En reflektionsnebulosa är stoftet i ett gasmoln som lysas upp av ljuset från närbelägna stjärnor. Till skillnad från en emissionsnebulosa lyser den alltså inte av egen kraft! Stoftpartiklarna sprider det kortvågiga blåa ljuset mer än det långvågiga röda ljuset, och därför har reflektionsnebulosor en blåaktig färgton.

Om nebulosan inte är alltför tät kan man observera stjärnor som ligger bakom den. De verkar då rödaktiga, eftersom det blåa ljuset från dem till större del har spridits bort under passagen genom nebulosan. Jämför med den blå himlen på jorden och solen som ser röd ut på kvällen när dess ljus måste passera genom en större luftmassa!

De ljusa stjärnorna i stjärnhopen *Plejaderna* omges av reflektionsnebulosor. Den typiska blå färgen syns tydligt på ett färgfoto av Plejaderna.

Mörka nebulosor — stoft som skymmer sikten

För att man ska kunna se en mörk nebulosa måste det finnas en ljus bakgrund som den kan avteckna sig mot. Damm och stoft i den mörka nebulosan hindrar då ljuset från bakgrunden att nå oss.

Det är sällan helt tomt på stjärnor i de mörka nebulosor vi ser på himlen. Det beror naturligtvis på att det oftast finns stjärnor som ligger mellan oss och de mörka molnen, d.v.s. de ligger framför nebulosan.

Det finns stoft inte bara i mörka nebulosor utan överallt i rymden, och detta stoft försvagar ljuset från avlägsna himlakroppar. Många av stjärnorna på natthimlen skulle därför lysa lite starkare om rymden mellan stjärnorna hade varit helt tom.

En berömd mörk nebulosa är *Kolsäcken* som ligger på södra stjärnhimlen och skymmer bort en bit av Vintergatsbandet.



Hästhuvudnebulosan, som ligger i stjärnbilden Orion, är en mörk nebulosa. Den är ett moln av gas och stoft som ligger framför en emissionsnebulosa, och det är därför vi kan se den. Avståndet till Hästhuvudnebulosan är cirka 1 500 ljusår. (Källa: ESO)

GALAXER

Galaxen Vintergatan —

vårt hem i universum

*Vår sol och minst 200 miljarder andra stjärnor bildar tillsammans det stjärnsystem som vi kallar för **Vintergatan**. Ett sådant stjärnsystem kallas för en **galax**.*

En galax är ett system av stjärnor, gas, stoft och eventuell mörk materia. Den hålls ihop av den ömsesidiga dragningskraften mellan galaxens innevånare, och allting kretsar runt galaxens gemensamma tyngdpunkt. Sammantaget väger hela Vintergatan ungefär 1 000 miljarder gånger mer än vad solen väger.

Vintergatan är en stavspiralgalax. Det betyder att den ser ut som en platt skiva med en tjockare klump i mitten, ungefär som ett stekt ägg. Solsystemet ligger i skivan ungefär halvvägs mellan dess mitt och ytterkanten.

Avståndet till Vintergatans centrum är cirka 26 400 ljusår, och hela skivan har en diameter på över 100 000 ljusår. Skivans tjocklek är dock i medeltal inte större än ungefär 1 000 ljusår.

Eftersom vår sol och vi själva befinner oss inne i Vintergatan är det svårt att veta exakt hur vår galax egentligen ser ut. Det råder därför stor osäkerhet om hur Vintergatans spiralmönster är uppbyggt, men så mycket vet vi i alla fall att solen inte befinner sig i någon spiralarm.

Alla stjärnor som du kan se på himlen tillhör Vintergatan. Det ljusa band på natthimlen som vi kallar Vintergatan är ljuset från avlägsna stjärnor i galaxens skiva. Även stjärnorna utanför Vintergatsbandet tillhör skivan. Det är mer närbelägna stjärnor som finns i solens närmaste omgivning.

Vintergatan är inte den enda galaxen i universum. Man beräknar att det finns minst 1 000 miljarder andra galaxer, var och en med hundratals miljarder stjärnor! Vintergatan är en relativt stor galax, medan de flesta galaxer är små dvärggalaxer. *Andromedagalaxen* och de *Magellanska molnen* är några av våra närmaste galaxgrannar.

Fantastiska fakta:

Tycker du att du står still? Vårt solsystem rusar fram med 220 kilometer i sekunden i sin bana runt Vintergatan! Ändå tar det över 225 miljoner år innan vi har hunnit ett varv runt!

Vintergatans centrum —

ett märkligt ställe

Längst inne i vår galax' centrum ligger stjärnorna oerhört tätt samlade. Dessutom finns de intressantaste gasmolnen där och en himlakropp som kan vara ett gigantiskt svart hål! Och alltihop ligger gömt bakom stora stoftmoln som vi inte kan se igenom ...

I Vintergatans centrum ligger stjärnorna mycket tätare än i solens omgivning. Stjärnhimlen sedd från en planet där måste därför vara en pampig syn.

Det är dock inte bara stjärnor som befolkar de innersta delarna av vår galax. Det förekommer också jättelika moln av molekyllär gas som väger flera miljoner gånger mer än solen. I ett av dessa molnkomplex kallat Sagittarius B2 har man hittat fler sorters molekyler än i något annat gasmoln i rymden.

Det finns också supernovarester efter stora stjärnor som exploderat, och i galaxens mitt finns en mystisk himlakropp kallad Sagittarius A* (uttalas "A-stjärna") som är mindre än en tredjedel av avståndet mellan jorden och solen, väger 4 miljoner gånger mer än solen och sänder ut oerhört mycket energi.

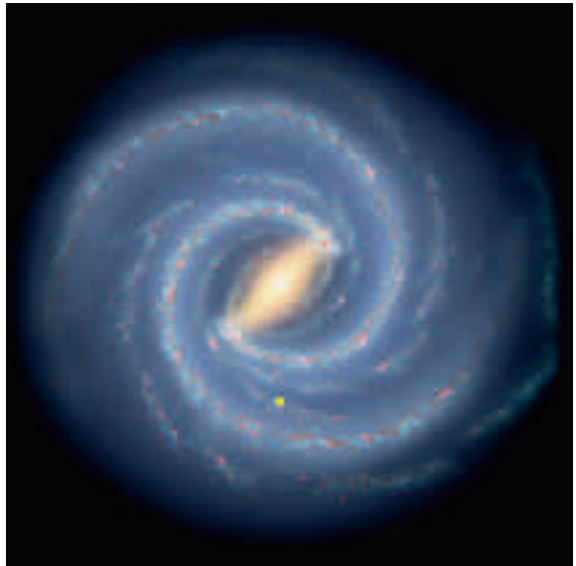
Det troligaste är att Sagittarius A* är ett gigantiskt svart hål. Strålningen som sänds ut kommer i så fall från en superhet ansamlingsskiva runt det svarta hålet där gas fångas in innan den faller ner i det svarta hålet.

Det finns inga vanliga fotografier av Vintergatans centrum, eftersom tjocka stoftmoln ligger i vägen och blockerar allt synligt ljus. Istället får astronomerna använda



Vintergatans centrum reser sig över kupolen till 3,6–meterteleskopet på La Silla i Chile. Åtskilliga mörka nebulosor som skymmer sikten syns i Vintergatsbandet, och det är inte möjligt att se in till Vintergatans centrum i synligt ljus. (Källa: S. Brunier/ESO)

Eftersom vi bor inne i Vintergatan är det svårt att veta hur vår galax ser ut utifrån. Den här modellen sammanställdes till en astronomisk konferens 2008. Solens läge strax bredvid en mindre spiralarm är markerad med en gul punkt. Vintergatan är en stavspiralgalax med två större spiralarmar som börjar i stävens ändrar och ett antal mindre spiralarmar. Galaxskivans diameter är mer än 100 000 ljusår och solen ligger ungefär 26 400 ljusår från Vintergatans centrum. (Källa: NASA, JPL–Caltech)



sig av annan strålning som kan passera stoftmolnen för att undersöka området, t.ex. radiovågor eller infrarött ljus.

Galaxens centrum ligger i stjärnbilden Skytten (kallad Sagittarius på latin) och når knappt över horisonten sett från Sverige.

Galaxer i olika former —

runda och platta

*Det finns två huvudtyper av galaxer i universum: **skivgalaxer** och **elliptiska galaxer**. Skivgalaxerna är platta ungefär som stekta ägg, medan de elliptiska galaxerna är runda som kokta ägg.*

*Skivgalaxerna delas upp i tre underavdelningar beroende på hur skivan ser ut: **spiralgalaxer**, **stavspiralgalaxer** och **linsformade galaxer**. Dessutom finns det en del galaxer som inte passar in i någon typ och de brukar därför kallas för **oregelbundna galaxer**.*

Elliptiska galaxer —

runda bollar av stjärnor

Elliptiska galaxer är mer eller mindre runda som kokta ägg. De saknar nästan helt gas och består huvudsakligen av gamla stjärnor.

Elliptiska galaxer är tredimensionella stjärnsystem, som är mer eller mindre tillplattade. De har ingen tydlig inre struktur, och de ser därför bara ut som bollar av ljus. Av de större galaxerna är ungefär var femte elliptisk.

Det finns vanligtvis väldigt lite gas i elliptiska galaxer. Det kan därför inte bildas speciellt många nya stjärnor där, vilket medför att de elliptiska galaxerna nästan helt saknar unga och kortlivade stjärnor.

Elliptiska galaxer har ingen ordnad rotation, utan stjärnornas banor ligger slumpmässigt orienterade i rymden. Det är det som gör att de elliptiska galaxerna är mer eller mindre sfäriska.

Om galaxer kolliderar med varandra kan resultatet bli att stjärnorna hamnar i slumpmässigt orienterade banor. Man tror därför att de större elliptiska galaxerna uppstått genom kollisioner.

Skivgalaxer —

stekta ägg i rymden

I skivgalaxerna ligger de flesta stjärnorna samlade i en tunn platt skiva. I dess centrum finns det en utbuktning, och en skivgalax kan därför liknas vid ett stekt ägg. Det finns också stjärnor glest utspridda i ett stort klot, en halo, runt hela galaxen. I skivan ser man ofta ett spiralmönster och därför kallar man ofta skivgalaxer för "spiralgalaxer".

Bland de större galaxerna är 3 av 4 skivgalaxer. Det finns tre sorters skivgalaxer: *spiralgalaxer*, *stavspiralgalaxer* och *linsformade galaxer*. Man trodde länge att spiralgalaxerna var den vanligaste typen av dem, och därför säger man ofta "spiralgalaxer" när man syftar på alla sorters skivgalaxer, även om man nu vet att stavspiralgalaxerna egentligen är de vanligast förekommande. Vår egen Vintergata är just en sådan stavspiralgalax.

Skivgalaxerna består huvudsakligen av tre delar: *skivan*, *den centrala förtätningen* och *halon*.

- Skivan ("äggets vita") innehåller stjärnor av blandade åldrar. Det är i skivan som det mesta av galaxens gas och stoft finns, och det är också i skivan som nya stjärnor bildas av gasen och stoftet.

- Den centrala förtätningen ("äggets gula") är mer sfäriskt formad fast med en viss tillplattning. Den innehåller väldigt lite gas och består huvudsakligen av små, gamla stjärnor, som ligger ganska tätt.

- Halon ("rymden runt ägget") är liksom den centrala förtätningen rund med en viss tillplattning, men den är betydligt större och omsluter hela galaxen. Det är glest mellan stjärnorna i halon. De klotformiga stjärnhoparna, som består av galaxens äldsta stjärnor, tillhör halon.

I motsats till de elliptiska galaxerna rör sig skivgalaxernas stjärnor i ordnade och nästan cirkulära banor. De flesta stjärnorna ligger i skivan och roterar runt galaxens centrum i samma riktning. Stjärnorna närmare centrum roterar snabbare än stjärnorna längre ut i galaxen. Det kallas *differentiell rotation*.

Spiralgalaxer —

med spiralarmar i skivan

En spiralgalax är platt och man kan se ett spiralmönster i dess galaxskiva. Spiralgalaxer är liksom stavspiralgalaxer vanligt förekommande i universum.

Det karaktäristiska för en spiralgalax är att man ser ett mer eller mindre tydligt spiralmönster i galaxskivan. Spiralmönstret består ofta av tydliga spiralarmar som sträcker sig från galaxens centrum ut mot dess yttre delar. I vissa galaxer ser man dock inga stora, tydliga spiralarmar utan istället byggs spiralmönstret upp av en mängd små spiralarmsbitar.

Ser man tydliga spiralarmar är deras antal oftast två. Det finns alla varianter på spiralmönster, från glesa, öppna spiralarmar till tätt hoprullade.

Att spiralmönstret ofta är så tydligt beror delvis på att stjärnorna ligger tätare i spiralarmarna, men framförallt på att det i huvudsak är i spiralarmarna som nya stjärnor bildas. De tyngsta stjärnorna lever endast en kort tid, men är i gengäld oerhört ljusstarka. Det är dessa stjärnor som dominerar ljuset från spiralarmarna.

Stjärnor föds där det finns mycket gas, och det mesta av gasen i en spiralgalax återfinns därför inte helt oväntat i spiralarmarna.

Man trodde länge att Vintergatan var en spiralgalax men nyare resultat visar allt tydligare att Vintergatan i själva verket är en stavspiralgalax.



Ovan: NGC 1232 är en magnifik spiralgalax i stjärnbilden Eridanus. Till vänster i bilden ser vi en liten satellitgalax som genom sin gravitation påverkar spiralmodellens form. (Källa: ESO)

Höger: Centaurus A är en relativt närlägen elliptisk galax, som ligger 10–16 miljoner ljusår bort. Det mörka bandet med gas- och stoftmoln är dock ingenting som man normalt ser hos sådana galaxer. Den här bilden är ihoplagd av bilder med en total exponeringstid på över 50 timmar gjorda med ett 2,2-meterteleskop. (Källa: ESO)



Stavspiralgalaxer —

med staven i centrum

En stavspiralgalax är en spiralgalax som har en rak ”stav” av stjärnor som går tvärs igenom dess centrum. Stavspiralgalaxer är mycket vanliga, och vår egen Vintergata är just en stavspiralgalax.

Staven är en avlång ansamling av stjärnor som löper rakt igenom galaxens centrum. Den ligger liksom spiralarmarna i skivans plan. Spiralarmarna börjar oftast vid stavens ändar.

Staven roterar verkligen som om den vore en riktig, solid stav. Omloppstiden för stjärnor i ytterändarna är därför lika lång som för stjärnor närmare stavens mitt. Så är det inte längre ut i galaxen där omloppstiderna istället blir längre ju större avståndet från galaxens centrum är. En stav kan därför bara finnas i galaxens centrala del.

Bortsett från förekomsten av en stav är stavspiralgalaxerna väldigt lika spiralgalaxerna.

Med förbättrade observationsmetoder har man nu börjat urskilja svaga stavar även i galaxer som man tidigare trodde var rena spiralgalaxer. Man tror nu att två tredjedelar av alla ”spiralgalaxer” i själva verket är stavspiralgalaxer.

Linsformade galaxer —

spiralgalaxer utan spiraler

De linsformade galaxerna liknar spiralgalaxerna bortsett från att de inte har något spiralmönster i sina skivor. En linsformad galax ser alltså ut som en spiralgalax utan spiralmönster. Linsformade galaxer är de minst vanliga av skivgalaxerna.

En linsformad galax är uppbyggd på samma sätt som en spiralgalax, och stjärnorna rör sig också på samma sätt. Om man däremot tittar på vilken typ av stjärnor en linsformad galax består av, så är den istället betydligt mer lik en elliptisk galax. Det

beror på att det inte bildas några nya stjärnor i linsformade galaxer, utan att de precis som de elliptiska galaxerna bara består av gamla stjärnor.

Anledningen till att det inte bildas några nya stjärnor är att det i de flesta linsformade galaxer inte finns någon gas kvar. Det kan bero på att kollisioner med andra galaxer har fått all gas att bilda stjärnor. De flesta linsformade galaxerna hittar man i områden av rymden där galaxerna ligger nära varandra, och där risken för kollisioner därför är större.

Oregelbundna galaxer —

galaxer som är lite hur som helst

De oregelbundna galaxerna kan ha vilken form som helst, eftersom allt som inte passar in i någon av de andra galaxklasserna stoppas in under den rubriken. Oregelbundna galaxer är normalt ganska små.

Oregelbundna galaxer har inte helt oväntat väldigt olika uppbyggnad. En del verkar helt sakna struktur, medan andra kan ha skivor, stavar och spiralmönster som gör att de delvis liknar vanliga galaxer. Vissa av de oregelbundna galaxerna är egentligen vanliga galaxer som blivit förvridna efter kollisioner eller nära möten med andra galaxer.

Av de större galaxerna är det bara några få procent som klassas som oregelbundna. Hos dvärggalaxerna är oregelbundna galaxer däremot mycket vanliga. På fotografier av riktigt avlägsna galaxer tagna av rymdteleskopet Hubble hittar man betydligt fler oregelbundna galaxer än i vår närmaste omgivning. När universum var yngre låg galaxerna närmare varandra. Kollisioner var betydligt vanligare och en större andel galaxer var därför oregelbundna.

De Magellanska molnen som kretsar kring Vintergatan räknas båda in i kategorin oregelbundna galaxer.



Sombrerogalaxen är en spiralgalax som vi ser nästan rakt från sidan. Skivan, som innehåller de flesta av galaxens stjärnor, är tydligt markerad av gas- och stoftmoln, men vi kan också se ljuset från stjärnorna i halon som omger galaxen. (Källa: NASA/STScI/AURA)



Ringformiga galaxer är inte speciellt vanliga, men AM 0644–741 är ett exempel på en sådan. Genom datorsimuleringar har vi lärt oss att vanliga skivgalaxer kan förvandlas till ringformiga galaxer om en mindre galax rusar igenom dem vinkelrätt mot skivan. Galaxen som man misstänker har plöjt igenom AM 0644–741 ligger utanför bilden. (Källa: NASA, ESA och Hubble Heritage Team (AURA/STScI))

Galaxernas storlek —

jättar och dvärgar i rymden

Galaxer finns i många storlekar. De små dvärgarna är vanligast, men de stora galaxerna syns bäst. Små galaxer är ofta oregelbundna, medan de större klassas som skivgalaxer eller elliptiska galaxer.

Det finns galaxer i många storlekar, allt från små dvärggalaxer med kanske bara några miljoner stjärnor upp till giganter med tusentals miljarder stjärnor. Det är de små dvärggalaxerna som är de absolut vanligaste galaxerna, precis som man kan förvänta sig (Det finns många fler små myror än stora elefanter!). De riktigt stora galaxerna är ganska sällsynta, men eftersom de syns bäst är det dem som astronomerna har studerat mest.

Vilken typ en galax tillhör beror delvis på hur stor den är. Stora galaxer, som vår egen Vintergata, är oftast skivgalaxer medan en mindre andel av dem är elliptiska. Riktiga jättegalexer är dock nästan uteslutande elliptiska. En hel del av dvärggalaxerna är också elliptiska men det stora flertalet klassas som oregelbundna.

Mindre galaxer kretsar ofta som satelliter kring större galaxer. Vår egen Vintergata har ett antal små dvärggalaxer i sitt följe. De mest kända utav dem är de *Magellanska molnen*.

Mörk materia —

en av världsrymdens gåtor

Det fattas en massa materia i galaxerna — materia som vi inte kan se! Genom att studera hur en galax är uppbyggd kan man räkna ut att den måste bestå av någonting mer än de stjärnor och den gas som vi kan observera. Vad är det för okänd materia som astronomerna ännu inte har lyckats hitta?

Om man räknar ut hur tung en galax behöver vara för att se ut som den gör och sedan lägger ihop massan för alla stjärnor och all gas som man kan se, så stämmer det inte! Det behövs hela 5–20 gånger mer materia, främst i galaxernas utkanter! Denna mystiska materia som måste finnas där, men som vi inte kan observera, kallas för *mörk materia*.

Vår egen Vintergata verkar bestå till 90% av mörk materia, vilket verkar vara typiskt för många galaxer. Nya resultat tyder på att det kan finnas ännu mer extrema objekt som exempelvis VIRGOHI21. Denna galax upptäcktes 2004 och verkar väga lika mycket som en relativt stor galax. Den innehåller interstellär gas men inga stjärnor. Mätningar tyder på att VIRGOHI21 kan bestå av hela 99,9% mörk materia. Vissa astronomer tror att det kan finnas många galaxer av den här typen, som fått namnet *mörka galaxer*.

Att det finns mörk materia i och runt galaxerna är så gott som alla astronomer överens om — vad den består av är däremot ännu en gåta! Teorierna är många: allt från kall gas, kometer, jupiterliknande planeter, bruna dvärgar och extremt ljussvaga dvärgstjärnor till svarta miniatyrhål skapade vid Big Bang eller någon form av exotiska elementarpartiklar som inte finns på jorden.

Att en del av den mörka materian består av gas är nog de flesta astronomer övertygade om. Däremot är det inte så många som tror att all den mörka materian skulle bestå av gas. Modeller för universums uppbyggnad som stöds av observationer utesluter nämligen att det mesta av den mörka materian skulle kunna vara uppbyggd av vanlig materia, så jakten på den mörka materians hemlighet fortsätter!

Fantastiska fakta:

Den mörka materian är ingen obetydlig detalj. Alla stjärnor och all observerad gas utgör bara en bråkdel av galaxernas vikt. Galaxerna består alltså till 80–95% av någonting som vi ännu inte har en aning om vad det är!

Spiralmönstren — täthetsvågor i galaxskivor

Spiralarmarna i en galax är ett slags täthetsvågor. Det är områden i galaxen där stjärnorna ligger närmare varandra.

Det är inte samma stjärnor som följer med spiralarmen när den roterar runt galaxen, utan nya stjärnor ansluter sig hela tiden, stannar ett tag i armen och lämnar den sedan. När gasmoln packas samman i en spiralarm blir de instabila och börjar bilda nya stjärnor.

I skivorna hos spiralgalaxer och stavspiralgalaxer syns ett mer eller mindre tydligt spiralmönster i form av spiralarmar. Om armarna är tydliga brukar de vara två till antalet, men det finns också galaxer med fler spiralarmar.

Hur spiralarmarna kan existera var tidigt en gåta. En galaxskiva roterar inte med en bestämd omloppstid som en grammofonskiva, utan stjärnor på olika avstånd från galaxens centrum roterar med helt olika omloppstid. Om en spiralarm hela tiden bestod av samma stjärnor och gas skulle den snart upplösas och försvinna!

Gåtans lösning är att spiralarmarna i själva verket är spiralformade *täthetsvågor*, som roterar runt galaxen betydligt långsammare än vad stjärnorna gör. Stjärnorna hinner därför i kapp spiralarmen, bromsas in och passerar långsamt igenom den innan de kommer ut på andra sidan och åter sätter fart. Spiralarmarna är alltså ett slags bestående vågmönster medan stjärnorna som ingår i armarna hela tiden byts ut! (Jämför t.ex. med en bilkö vid en trafik korsning: själva kön kan finnas i många timmar, men bilarna i kön byts ju hela tiden ut!)

I spiralarmarna packas också gasen samman och det är där som de riktigt stora molnkomplexen bildas. I dessa molnkomplex börjar sedan galaxens nya stjärnor att bildas. Spiralarmarna skapar helt enkelt stjärnfabriker!

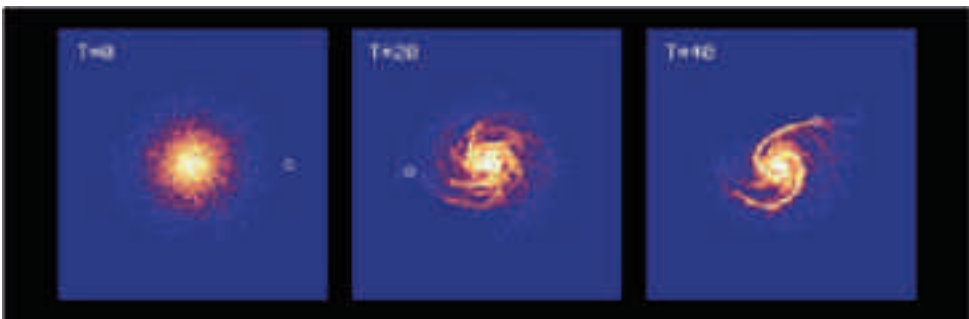
Det är således tätare mellan stjärnorna i en spiralarm, och det är det som gör att vi kan se den. En annan viktig orsak är att stora och extremt ljusstarka stjärnor bara finns i själva spiralarmen. Det beror på att sådana stjärnor har väldigt kort livslängd. De föds i spiralarmen och hinner aldrig lämna den innan de dör.

Datorsimuleringar — galaxer gjorda i en dator

Att studera hur en galax utvecklas och förändras i verkligheten är omöjligt eftersom även små förändringar tar miljontals år. I en dator däremot kan man snabba upp tiden. På ett



Antennegalaxerna är ett par spiralgalaxer som sedan ett par hundra miljoner år tillbaka håller på att kollidera. De gulaktiga områden består av äldre stjärnor, medan de rosa och blå områdena innehåller stjärnor som bildas som en följd av kollisionen. (Källa: NASA, ESA)



Genom datorsimuleringar kan vi studera hur galaxer utvecklas. (Källa: Åbo universitet)

par timmar kan man räkna ut vad som händer under miljarder år av galaxens liv!

I verkligheten innehåller en galax hundratals miljarder stjärnor som allihop påverkar varandra. Så många stjärnor kan man inte räkna med ens i den snabbaste av superdatorer, så astronomerna får ta till en hel rad knep för att göra beräkningarna enklare.

Man har lyckats få galaxer att bilda spiralarmar och stavar av olika typer i datorerna, och man har kunnat följa hur de utvecklas med tiden. Det har ökat förståelsen för varför galaxerna ser ut som de gör ute i rymden.

Datorer har också använts flitigt för att låta galaxer kollidera med varandra. Vid kollisioner och närpassager skapas ofta kraftfulla spiralarmar. Genom sådana simuleringar har man också lyckats förklara hur en del egendomligt formade galaxer har fått sin form.

Galaxkrockar —

dramatik i slow motion

När galaxerna far runt i rymden kommer de ibland i vägen för varandra och kolliderar! Kollisionerna är inga ögonblicksverk — de pågår i många miljoner år! Vår egen Vintergata kolliderar just nu med två små dvärggalaxer! Det händer ingenting med stjärnorna i de kolliderande galaxerna, men galaxernas utseenden kan ändras rejält. Dessutom kan kollisionen innebära att gasmoln kolliderar och börjar bilda nya stjärnor i rasande takt.

Att stjärnor krockar är extremt sällsynt. Till och med i supertäta stjärnhopar är avstånden mellan stjärnorna så vansinnigt stora att de så gott som alltid passerar varandra på betryggande avstånd. Galaxer däremot är stora, utbredda objekt som ligger förhållandevis nära varandra. Kollisioner mellan galaxer är därför vanliga.

Mellan solen och den närmaste stjärnan skulle man kunna stoppa in inte mindre än 28 miljoner solar lagda på rad bredvid varandra! Mellan Vintergatan och det Stora Magellanska molnet skulle det bara rymmas 1,5 Vintergator! Man tror att minst

hälften av alla stora galaxer i vår omgivning har kolliderat någon gång under de senaste 2 årmiljarderna.

Att galaxer kolliderar kanske låter dramatiskt, men det är ganska ofarliga tillställningar. Inga stjärnor kolliderar — de bara glider förbi varandra! Det enda som händer med dem är att deras banor ändras, och när banorna ändras påverkar det galaxens utseende.

Gasmolnen i galaxerna kolliderar däremot. Stora molnkomplex kan byggas upp och börja bilda nya stjärnor i rasande takt. Man kallar sådana galaxer för *starburst-galaxer*.

Galaxerna behöver inte segla in i varandra för att bli påverkade. Dragningskraften från en närpassage är fullt tillräcklig för att ställa till stor oreda i en galax. Astronomerna tror att spiralmönstren i många spiralgalaxer har uppkommit genom störningar vid sådana närpassager.

Galaxkrockar kan förändra en galax totalt. Till exempel tror man att många elliptiska galaxer har bildats genom att skivgalaxer har kolliderat och slagit sig samman. I de flesta galaxhopar finns det en eller flera stora elliptiska galaxer som bildats genom galaxkollisioner.

Vår egen Vintergata håller just nu på att kollidera med två små dvärggalaxer, som redan trängt in i vår galax! Den ena dvärggalaxen ligger i Skyttens stjärnbild och upptäcktes 1994 medan den andra ligger i Stora hundens stjärnbild och upptäcktes så sent som 2003!

För Vintergatans del är kollisionen ett ganska harmlöst äventyr. Vad som kommer att hända om några tiotals miljoner år när krocken är över, är att en stor del av dvärgarnas stjärnor kommer att ha fångats in av Vintergatan. Dessutom har dvärggalaxerna då hjälpt till att ge ny kraft till Vintergatans spiralarmar.

Fantastiska fakta:

När galaxer kolliderar kan det gå våldsamt till, men det hela sker i slow motion — en galaxkrock kan ibland ta flera hundra miljoner år!

Den lokala galaxgruppen —

Vintergatans grannar

Vintergatan är inte ensam i vår del av universum. De Magellanska molnen heter ett par små galaxer som kretsar runt vår Vintergata, och lite längre ut i rymden ligger den stora Andromedagalaxen.

I Vintergatans närhet finns det ett antal andra galaxer, som tillsammans med vår galax bildar det som kallas för den lokala galaxgruppen. Tillsammans innehåller denna grupp ett drygt femtiotal galaxer och spänner över 5 miljoner ljusårs rymd.

Den lokala galaxgruppen domineras av två stora spiralgalaxer: Andromedagalaxen och vår egen Vintergata. Det finns också en mindre spiralgalax kallad M33, som möjligen kretsar kring Andromedagalaxen. De övriga medlemmarna i gruppen är huvudsakligen dvärggalaxer, och många av dem kretsar som satelliter runt någon av de större galaxerna. Man trodde tidigare att ett par galaxer kallade Maffei I och II också hörde till den lokala gruppen, men nyare forskning har visat att de befinner sig längre bort och utgör en egen galaxgrupp.

Vintergatan har ett antal satellitgalaxer. De två största kallas för de Magellanska molnen och är de galaxer som man fram till 1994 trodde låg närmast vår egen galax. Då upptäckte några astronomer att det finns en liten dvärggalax i Skyttens stjärnbild som håller på att kollidera med Vintergatan. 2003 upptäckte man en liknande dvärggalax som ligger ännu närmare Vintergatan. Den galaxen ligger i Stora hundens stjärnbild på ett avstånd av 25 000 ljusår från jorden.

Fantastiska fakta:

Den galax som ligger närmast Vintergatan är en nyupptäckt dvärggalax i Stora hundens stjärnbild. Från Vintergatans centrum är det cirka 42 000 ljusår dit. Det betyder att den närmaste granngalaxen faktiskt ligger inne i vår egen galax!



Andromedagalaxen är den närmaste galaxen som storleksmässigt liknar Vintergatan. Avståndet dit är 2,5 miljoner ljusår. Liksom andra stora galaxer kretsar ett antal mindre galaxer som satelliter runt Andromedagalaxen: M 32 är den största ljusfläcken till vänster ovanför Andromedagalaxens centrum och M 110 syns nedanför. (Källa: Adam Evans)



Det Stora och Lilla Magellanska molnet är två oregelbundna dvärggalaxer som kretsar runt Vintergatan. De kan ses med blotta ögat på södra halvklotet. (Källa: ESO/S. Brunier)

Den lokala gruppens utveckling —

en våldsam framtid

Galaxerna i den lokala galaxgruppen lever inte i något stabilt tillstånd. Flera av dem kommer att kollidera med varandra under de kommande årmiljarderna.

De båda Magellanska molnen kretsar ett varv runt Vintergatan på ungefär 1,5 miljarder år. De befinner sig inte i någon stabil bana utan bromsas upp vilket gör att de kommer allt närmare Vintergatan. De kommer förmodligen att kollidera och smälta samman med Vintergatan efter att ha gjort ytterligare några varv runt vår galax.

Många av de mindre galaxerna i den lokala galaxgruppen kretsar runt någon av de större galaxerna. Närpassager mellan galaxerna kan göra att de flyttar från att kretsa runt en galax till att istället kretsa runt en annan, eller rent av kastas ut ur systemet. Närpassager med galaxer i andra galaxgrupper kan också göra att galaxer flyttar mellan de olika galaxgrupperna.

De två tungviktarna i den lokala gruppen, Vintergatan och Andromedagalaxen, rör sig i riktning mot varandra. Vissa studier tyder på att de båda galaxerna kan komma att kollidera om ungefär 4 miljarder år. Om kollisionen inträffar är det troligt att de smälter samman till en stor elliptisk galax.

De Magellanska molnen —

nära grannar

Runt vår egen Vintergata kretsar ett par små galaxer som kallas för de Magellanska molnen. Det är små oregelbundna galaxer som bara kan ses från södra halvklotet.

Det finns ett antal mindre galaxer som kretsar runt Vintergatan. De två mest kända kallas för Stora och Lilla Magellanska molnet, efter världsomsegelaren Magalhães (Magellan) som först beskrev dem år 1519. De är en pampig syn på himlen, men kan tyvärr bara ses från södra halvklotet.

De är båda två små och räknas som oregelbundna galaxer, trots att de har var sin stav och en viss antydning till spiralarmar. Det Stora Magellanska molnet har en diameter på 14 000 ljusår, medan det Lilla Magellanska molnet är hälften så stort. En del forskare tror att de kan ha varit små stavspiralgalaxer som blivit deformerade av Vintergatan.

Det Stora Magellanska molnet är det som ligger närmast Vintergatan. Avståndet uppskattas till cirka 160 000 ljusår. Det Lilla molnet ligger 40 000 ljusår längre bort. Det inbördes avståndet mellan dem är cirka 75 000 ljusår. De kretsar ett varv runt Vintergatan på ungefär 1,5 miljarder år.

Massan för det Stora Magellanska molnet beräknas vara 10 miljarder gånger större än solens, vilket motsvarar 1% av Vintergatans totala massa. Det Lilla molnet väger mindre än hälften så mycket.

Andromedagalaxen —

syster till Vintergatan

Andromedagalaxen är den närmaste galaxen som liknar vår egen Vintergata. Den ligger 2,5 miljoner ljusår ut i rymden. När du tittar på Andromedagalaxen ser du alltså ljus som varit på väg mot dina ögon i 2,5 miljoner år!

Andromedagalaxen är den spiralgalax som ligger närmast vår egen Vintergata. Avståndet dit är 2,5 miljoner ljusår. Andromedagalaxen är synlig för blotta ögat som en diffus ljusfläck i stjärnbilden Andromeda.

Andromedagalaxen och Vintergatan är rätt lika varandra som galaxer. Vintergatan är förmodligen den tyngre av de två men Andromedagalaxen är större. Diametern är ca 220 000 ljusår och den innehåller 1 000 miljarder stjärnor.

Att Andromedagalaxen verkligen är en spiralgalax kan vara lite svårt att se på fotografier. Det beror på att vi ser galaxen nästan från sidan. Liksom Vintergatan verkar Andromedagalaxen vara en stavspiralgalax.

Man tror att det kan finnas ett stort svart hål i Andromedagalaxens centrum som väger 100–200 miljoner gånger mer än vår egen sol.

Andromedagalaxen har liksom Vintergatan ett flertal mindre satellitgalaxer som kretsar runt den. De två största är ett par små elliptiska galaxer som har beteckningarna M32 och NGC 205.

Fantastiska fakta:

Ljuset från Andromedagalaxen hör till det äldsta som du kan se med blotta ögat — när det sändes ut för över 2,5 miljoner år sedan hade våra avlägsna förfäder (av släktet *Homo habilis*) börjat göra de första trevande försöken att använda enkla stenredskap!

Galaxhopar och galaxgrupper —

samhällen av galaxer

*Mindre samlingar av galaxer kallas för galaxgrupper, medan större samlingar kallas för galaxhopar. Den närmaste galaxhopen kallas för Virgo-hopen. Vintergatan tillhör en liten galaxgrupp som kallas för **den lokala galaxgruppen**.*

Den lokala galaxgruppen innehåller ett trettiotal galaxer, av vilka Vintergatan och Andromedagalaxen är de två största. Av de övriga galaxerna är de flesta elliptiska dvärggalaxer eller små oregelbundna galaxer.

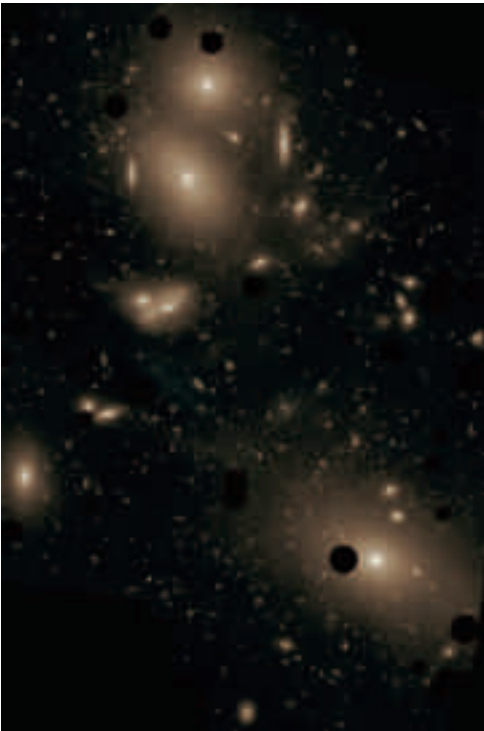
En galaxhop innehåller åtminstone ett 50-tal stora galaxer, och det finns stora galaxhopar med många tusen galaxer. Den närmaste galaxhopen heter Virgo-hopen, eftersom den ligger i stjärnbilden Jungfrun (Virgo). Den innehåller flera tusen galaxer och avståndet dit är cirka 55 miljoner ljusår.

Virgo-hopen räknas som en öppen, oregelbunden galaxhop. I en sådan ligger galaxerna slumpmässigt utspridda i rymden och de flesta av de större galaxerna är skivgalaxer.

Det finns också hopar där galaxerna ligger tätare och mer välordnat. Sådana hopar är ofta klotrunda och innehåller betydligt fler galaxer, men de är samtidigt mer



Ovan: Stephans kvintett är en grupp med fem galaxer som ligger bredvid varandra på himlen. De båda galaxerna i mitten håller på att kollidera. De fyra orangeaktiga galaxerna tillhör samma galaxgrupp, medan den blåvita galaxen ligger betydligt närmare jorden. (Källa: NASA, ESA och Hubble SM4 ERO Team)



Vänster: Virgo-hopen är den närmaste galaxhopen. Den ligger ungefär 55 miljoner ljusår bort och innehåller flera tusen galaxer. Den största galaxen är M87 (nere till höger) som är en stor elliptisk galax. Alla små fläckar och prickar i bilden är enskilda galaxer. De svarta cirkelarna täcker ljusstarka förgrundstjärnor som annars skulle störa bilden. (Källa: Chris Mihos (Case Western Reserve University), ESO)

sällsynta. Coma-hopen är den som ligger närmast jorden på ett avstånd av ungefär 320 miljoner ljusår.

I Coma-hopen är de flesta av de större galaxerna antingen elliptiska eller linsformade galaxer. I båda dessa galaxtyper är det ont om gas, och det är förmodligen ett resultat av att det har inträffat många galaxkollisioner och närpassager i Coma-hopen.

I de flesta galaxhopar finns det några riktigt gigantiska galaxer. Dessa är alltid av elliptisk typ och har uppstått genom att flera mindre galaxer har kolliderat och slagit sig samman.

Superhopar —

hopar av galaxhopar

*Galaxhopar och galaxgrupper hör ihop i ännu större system som kallas för superhopar. Deras storlek kan vara flera hundra miljoner ljusår. Själva bor vi i en superhop som kallas för den **lokala superhopen** eller för **Virgo-superhopen**, eftersom Virgo-hopen tycks ligga i dess centrum.*

Superhopar är inte runda utan är ofta utdragna system. Galaxhopar sticker ut som spretiga utskott från superhoparnas centralare delar. Ofta bildar de här utskotten bryggor av galaxer mellan de olika superhoparna. Man tror att det finns ungefär 10 miljoner superhopar i universum.

Den lokala superhopen består av ungefär 100 galaxgrupper och galaxhopar, av vilka Virgo-hopen är den största. Den lokala galaxgruppen med vår Vintergata ligger i utkanten av den här superhopen, som har en utsträckning av uppemot 200 miljoner ljusår. Man uppskattar att den lokala superhopen har en total massa som motsvarar 10 miljoner miljarder gånger solens massa.

Storskaliga strukturer —

bubblor och nätverk

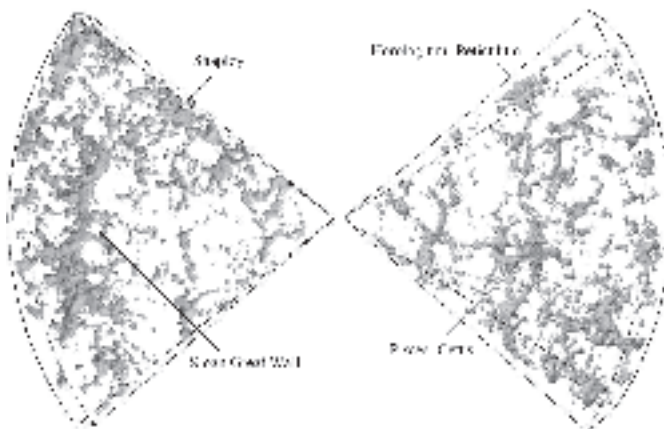
Superhoparna ligger inte slumpmässigt utspridda i rymden. Rymden består av en massa stora, tomma bubblor, och superhoparna ligger uppradade på kanterna mellan dessa bubblor.

Om man tittar på en bild över hur superhoparna är fördelade i rymden omkring oss, ser man att det finns en massa tomma fläckar på bilden. Det ser ut som om rymden bestod av en massa stora, tomma bubblor.

Bubblorna är 100–400 miljoner ljusår stora, och innehåller väldigt få galaxer — i vart fall väldigt få ljusstarka galaxer som kan upptäckas från jorden. Tillsammans upptar de här bubblorna ungefär 80% av volymen i den närliggande rymden.

Galaxhoparna och superhoparna tycks ligga utspridda på randen mellan de olika bubblorna. De är sammanfogade med bryggor av galaxhopar, och bildar tillsammans något slags nätverk. En bra jämförelse är att tänka på löddret från en tvål.

Hur det ser ut långt ut i universum vet vi inte säkert, eftersom vi på mycket stora avstånd bara kan se de allra ljusstarkaste galaxerna, men allt tyder på att förhållandena långt bort är desamma som här. Hela universum är i så fall uppbyggt av tomma bubblor omgivna av ett gigantiskt nätverk av galaxhopar.



Denna skiss visar fördelningen av galaxhopar i ett par områden i universum. Vintergatan ligger i mitten. Ju större klumpar, desto fler galaxer ingår i galaxhoparna. Galaxhoparna formar strängar och bubblor. (Källa: Willem Schaap)

UNIVERSUM

Big Bang —

den största smällen någonsin

Hela universum skapades i en gigantisk smäll för ungefär 13,7 miljarder år sedan. Den smällen kallas för Big Bang, och i den skapades inte bara all materia som finns i universum utan också själva tiden och rummet!

I Big Bang skapades både tid och rum. I samma ögonblick fick universum också den mängd energi och de naturlagar som skulle styra hela dess framtida öde. Tätheten och temperaturen var ofattbart höga. Partiklar av allehanda slag bildades och förintades om vartannat, och universum genomkorsades av oerhört stark strålning. Strålning omvandlades till materia och materia tillbaka till strålning enligt Einsteins berömda formel $E = m \cdot c^2$.

När universum var en tiotusendels sekund gammalt hade temperaturen sjunkit så mycket att protoner och neutroner, beståndsdelarna i alla atomkärnor, inte längre kunde nybildas. Några sekunder senare slutade också nybildandet av elektroner, och därmed hade alla byggstenarna till materian i universum bildats.

Universum fortsatte att expandera och svalna av. Efter några minuter kunde protoner och neutroner slå sig ihop och bilda helium. Ungefär fyra minuter efter den stora smällen hade temperatur och tryck sjunkit så mycket att sådana kärnreaktioner upphörde.

Universum bestod då till 75% av väte och 25% av helium samt en mycket liten mängd litium. Tyngre grundämnen kunde inte bildas eftersom de fordrar högre tryck och temperaturer, som inte längre fanns. All ursprungsmateria i universum bestod därför enbart av väte och helium, och alla andra grundämnen (syre, kol, järn m.fl.) har alltså bildats senare inne i stjärnorna.

Sedan dröjde det ungefär 380 000 år innan temperaturen hade fallit tillräckligt mycket för nästa viktiga steg i universums utveckling: när atomkärnor och elektroner

slog sig ihop till atomer. Fram till dess hade universum dominerats av den intensiva strålningen. Strålningen hade hela tiden växelverkat med materian, och universum hade därför varit ”ogenomskinligt”. I och med att atomerna bildades blev universum däremot ”genomskinligt”, och strålningen och materian gick därefter skilda vägar.

Strålningen fortsatte att svalna av allteftersom universums expansion fortskred och blev det som vi idag kallar den *kosmiska bakgrundsstrålningen*. Materian klumpade ihop sig och började bilda galaxer, stjärnor och planeter.

Fantastiska fakta:

Än idag kan vi studera ett eko från *Big Bang*, den stora smäll som skapade hela vårt universum. Rymden är nämligen fylld av svag radiostrålning som härstammar från universums skapelse för ungefär 13,7 miljarder år sedan!

Är Big Bang-teorin korrekt? —

i vart fall är den bäst i test

Kan vi verkligen vara säkra på att universum skapades i en stor smäll för ungefär 13,7 miljarder år sedan? Nej, helt säkra kan vi inte vara, men Big Bang-teorin är den teori som bäst förklarar hur det universum vi ser idag en gång uppkom! De starkaste bevisen för Big Bang är universums expansion, den kosmiska bakgrundsstrålningen och gasens kemiska sammansättning!

Fram till Edwin Hubbles upptäckt av universums expansion 1929 hade den allmänna uppfattningen varit att universum är mer eller mindre *statiskt*, d.v.s. oföränderligt och möjligen också oändligt gammalt. Den modellen föll omedelbart när det stod klart

att galaxerna rusar bort från varandra. Istället behövdes en modell där universum utvecklas och där det också har en bestämd startpunkt: Big Bang-teorin föddes.

Med Big Bang-teorin kunde man sedan förutsäga den kosmiska bakgrundsstrålningen, och när man detekterade den 1964 var det en stor framgång för teorin. Big Bang-teorin är också den enda teori som förklarar varför gas som inte påverkats av stjärnor består till $\frac{3}{4}$ av väte och $\frac{1}{4}$ av helium, medan alla andra grundämnen saknas.

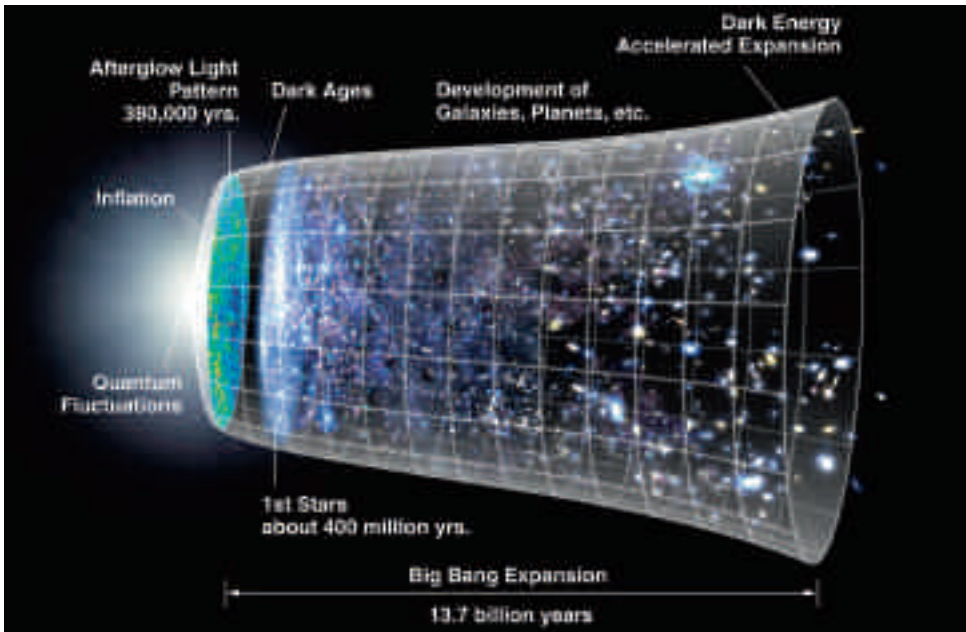
Big Bang-teorin är inte perfekt. Det finns ett antal felande pusselbitar som inte riktigt passar in i bilden, men jämfört med de alternativa teorierna är det ändå Big Bang-teorin som passar ojämförligt bäst ihop med våra observationer. Även om det således återstår en hel del filande på Big Bang-teorin, är det ändå rätt fantastiskt att vi nu i grova drag kan säga vad som hände vid universums födelse för så många miljarder år sedan!

Även om bevisen talar för Big Bang finns det naturligtvis astronomer som oförtröttligt letar efter andra alternativ. *Steady state*-teorin lanserades 1948 i ett försök att återskapa ett statiskt universum. Enligt steady state-teorin rusar visserligen galaxerna ifrån varandra, men allteftersom de gör det skapas ny materia mellan dem för att fylla ut tomrummet. Teorin faller dock på att den inte kan förklara bakgrundsstrålningen.

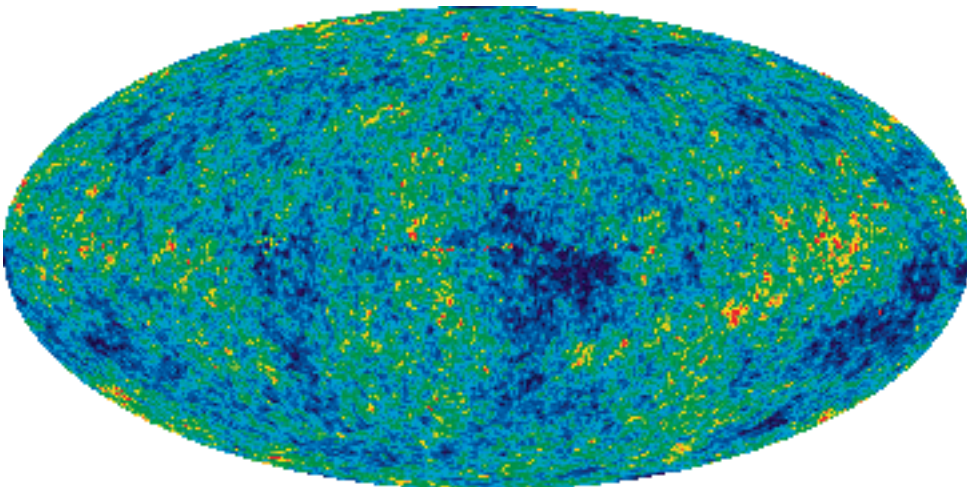
Andra teorier hävdar att galaxernas flykt är ett resultat av att olika delar av universum innehållande materia och antimateria kommit i kontakt med varandra och exploderat, men även de har svårt att förklara bakgrundsstrålningen.

Det finns också astronomer som tror att universum inte alls expanderar utan verkligen är statiskt. Dessa astronomer hävdar att den observerade rödförskjutningen beror på något annat okänt fenomen, men än så länge har de inte lyckats åstadkomma någon tillfredsställande förklaring på vad detta okända fenomen skulle vara. Dessutom har också de problem med att förklara bakgrundsstrålningen.

Från vissa religiösa håll framförs också *kreationistiska* teorier, som i princip går ut på att universum skapades fixt och färdigt av Gud för ungefär 6 000 år sedan under 6 dagar, precis som det står i bibeln. Sådana teorier går stick i stäv inte bara med det mesta inom astronomin, utan också med många andra vetenskaper! Vi kan naturligtvis inte utesluta möjligheten att en allsmäktig Gud faktiskt skapade universum för 6 000 år sedan — men i så fall gjorde han med flit så att det skulle se betydligt äldre ut för att lura oss!



En schematisk skiss över universums utveckling sedan Big Bang. Den kosmiska bakgrundsstrålningen härrör från 380 000 år efter Big Bang. Sedan var det mörkt i universum i ungefär 400 miljoner år innan de första stjärnorna och galaxerna bildades. Under hela tiden har universum fortsatt att expandera och under de senaste årmiljarderna har expansionstakten ökat. (Källa: NASA/WMAP Science Team)



Den här kartan över hela himlen visar små temperaturvariationer i den kosmiska bakgrundsstrålningen och är resultatet av sju års observationer med rymdteleskopet WMAP. Variationerna är inte stora, bara 0,0002°C. (Källa: NASA/WMAP Science Team)

Bakgrundsstrålningen —

den falnade glöden från Big Bang

Den intensiva strålningen som fyllde universum efter Big Bang har inte försvunnit! Den finns fortfarande runtomkring oss som ett eko från Big Bang, fast universums expansion har gjort att den avklingat så mycket att vi bara kan mäta den som ett svagt radiobrus. Vi kan alltså ta emot strålning från universums skapelse!

Den kosmiska bakgrundsstrålningen är den äldsta strålning som vi kan observera — äldre än ljuset från alla stjärnor, galaxer och avlägsna kvasarer!

Universums expansion har medfört att den intensiva strålningen från Big Bang har "svalnat av", och idag har den en temperatur av 2,7 grader över den absoluta nollpunkten, vilket är detsamma som -270°C . Den temperaturen betyder att strålningen har rödförskjutits så mycket att den nu existerar som radiostrålning på millimetervågsbandet.

Bakgrundsstrålningen härstammar från den epok då universum blev genomskinligt, vilket inträffade ungefär 380 000 år efter Big Bang. Genom att analysera bakgrundsstrålningen kan vi alltså ta reda på hur universum var beskaffat vid den tidpunkten, långt innan några stjärnor eller galaxer hade börjat bildas. Det vi har fått veta är att materian då var jämnt fördelad i hela universum.

Trots att det fanns flera förutsägelser av den kosmiska bakgrundsstrålningen upptäcktes den av en slump 1964. Det är en av de upptäckter som har haft störst betydelse för vår syn på universums uppkomst, eftersom den utgör ett av de bästa bevisen för Big Bang-teorin. Upptäckten belönades med nobelpriset 1978.

Genom att mäta upp de små variationer som finns i den kosmiska bakgrundsstrålningen, kan astronomerna dra viktiga slutsatser om universums uppkomst och utveckling. Noggranna mätningar gjorda med satelliten *COBE* som sköts upp 1989 ledde till ett nytt nobelpris 2006 för studier av bakgrundsstrålningen.

Med hjälp av ett annat specialbyggt rymdteleskop som kallas *WMAP* kunde man 2003 fastställa universums ålder till 13,7 miljarder år. Resultaten från *WMAP* visade också att universum består till 5% av vanlig materia, 23% av *mörk materia* och 72% av *mörk energi*, samt att universum tycks ha genomgått en fas av extrem expansion kallad *inflation* under en bråkdel av en sekund efter Big Bang.

Universums expansion —

galaxernas flykt

*Galaxerna glider allt längre bort från varandra. Det beror på att rymden fortfarande utvidgar sig efter **Big Bang**, den stora smäll som skapade hela universum.*

När Edwin Hubble på 1920-talet började mäta avstånd och rörelser hos de ljusstarkaste galaxerna upptäckte han att alla galaxer är på väg bort från oss, om man bortser från några medlemmar i den lokala galaxgruppen. Dessutom verkade det som att ju längre bort en galax låg desto snabbare rörde den sig bortåt. Hubble hade upptäckt universums expansion.

Om galaxerna rör sig bort från varandra, så måste de ha legat närmare varandra tidigare. Genom att räkna bakåt kan man se att de allihop måste ha befunnit sig tätt ihop för ungefär 13,7 miljarder år sedan. Det var då universum skapades i en stor smäll som fått namnet *Big Bang*. Universums expansion är alltså resultatet av världsalltets skapelse.

Att vi ser alla galaxer rusa iväg bortåt betyder inte att vi sitter mitt i universum. Om vi hade suttit i en annan galax hade vi sett precis samma sak. Jämför med en ballong! Om man målar prickar som ska föreställa galaxer på ballongen och sedan blåser upp den, ser man att avstånden mellan alla prickarna ökar.

Det är egentligen inte galaxerna som rusar bort från oss, utan universum som expanderar mellan dem. Ju längre bort galaxerna ligger ifrån varandra desto mer utvidgar sig rymden mellan dem, och desto snabbare avlägsnar de sig från varandra.

Man tror att universum genomgick en ofattbart extrem expansionsfas som kallas för *inflation* under en extremt kort bråkdel av en sekund direkt efter Big Bang. Under den här "inflationsfasen" blåstes universums storlek upp från en liten punkt till att bli miljarder ljusår stort. Expansionshastigheten var alltså oerhört mycket större än ljushastigheten. Hur de fysiska lagarna fungerade under den här märkliga perioden är fortfarande oklart.

Rödförskjutning —

ett mått på avståndet till fjärran galaxer

Ju fortare någonting rör sig bortåt, desto mer rödfärgat eller rödförskjutet blir dess ljus. Eftersom galaxerna avlägsnar sig med allt högre fart ju längre bort de ligger, kan man använda rödförskjutningen för att mäta avståndet till dem.

När ett föremål närmar sig minskar våglängden på den signal som vi tar emot från det, och när det avlägsnar sig ökar våglängden. Jämför med hur ljudet från en ambulans förändras när den kör förbi dig! Ljus beter sig på samma sätt. Avlägsna galaxer rör sig bort från oss och då blir våglängden större. Man säger att ljuset har blivit *rödförskjutet* eftersom rött ljus har längre våglängd än någon av de andra färgerna.

Universums expansion innebär att ju längre bort en himlakropp befinner sig, desto fortare rör den sig bort från oss, och desto mer rödförskjutet blir därför dess ljus. Till avlägsna galaxer är det oerhört svårt att mäta avståndet — däremot är det lätt att mäta rödförskjutningen! Med hjälp av rödförskjutningen kan man då räkna ut avståndet.

I teorin är det enkelt, men i praktiken finns det ett problem: när man räknar om rödförskjutningen till avstånd måste man använda ett siffervärde som fått namnet *Hubbles konstant*, och exakt hur stor den siffran är har astronomerna ännu inte lyckats enas om. Det finns nämligen flera sätt att mäta upp Hubbles konstant, men de olika metoderna ger lite olika svar, och ingen vet ännu vad det riktiga värdet ska vara.

Det är därför som astronomer inte alltid kan svara på hur många ljusår det är till en avlägsen galax. Det är också därför som astronomerna brukar använda rödförskjutningen som ett mått på avståndet till avlägsna himlakroppar istället för att försöka räkna om den till si eller så många miljarder ljusår.

Egentligen är det inte galaxerna som rusar ifrån varandra utan rymden mellan galaxerna som utvidgas. Ljuset tänjs ut på sin väg mot jorden och våglängden blir då större.



Abell 2218 är en avlägsen galaxhop på ungefär 3 miljarder ljusårs avstånd. Det finns nästan inga stjärnor i den här bilden utan många av prickarna är ännu mer avlägsna galaxer. (Källa: Andrew Fruchter (STScI) et al., WFPC2, HST, NASA)



Avståndet mellan galaxerna i universum ökar, men det beror inte på att de rusar ifrån varandra utan på universums expansion. Galaxerna på den här ballongen ligger stilla men avståndet mellan dem ökar, när vi blåser upp ballongen. (Källa: NASA)

Galaxernas uppkomst —

en okänd epok

De äldsta stjärnorna i vår galax Vintergatan, liksom i många andra galaxer, är ungefär lika gamla som universum. Därför tror man att galaxerna bildades ganska tidigt i universums historia, bara någon miljard år efter Big Bang. Exakt hur det gick till vet man ännu inte.

Det stora problemet är hur galaxer kunde bildas så snabbt. Genom studier av den kosmiska bakgrundsstrålningen vet vi att gasen måste ha varit jämnt fördelad i hela universum 380 000 år efter Big Bang. Bara någon miljard år senare hade gasen klumpat ihop sig till stora klumpar som kunde bilda galaxer. Hur materia i universum kunde bli ojämnt fördelad på så, i sammanhanget, kort tid förbryllar fortfarande astronomerna.

Vilket kom först: galaxerna eller stjärnorna? Än så länge är det ingen som vet säkert. Det är möjligt att galaxerna bildades först ur gigantiska gasmoln som börjat dra sig samman, och att stjärnorna sedan föddes i de allt tätare gasmolnen. Man kan också tänka sig att mindre gasmoln bildade stjärnhopar och dvärggalaxer, som sedan slog sig samman för att bilda större galaxer. Man tror nu att de första stjärnorna började bildas ungefär 400 miljoner år efter Big Bang.

Ytterligare ett problem är att även i de allra äldsta stjärnorna så finns det små mängder av tyngre grundämnen. Tyngre grundämnen bildades inte i Big Bang — de kan bara bildas inne i mycket tunga stjärnor! Det måste alltså väldigt tidigt ha funnits en generation stjärnor som snabbt producerade sådana ämnen och sedan spred ut dem i gasen genom supernovaexplosioner. Om dessa tidiga stjärnor bildades före eller efter galaxernas uppkomst är också oklart.

Galaxernas utveckling —

från våldsamma kvasarer
till stabila galaxer

När universum var ungt var de nybildade galaxerna långt ifrån de lugna platser de är idag. Stjärnor bildades i rasande takt, galaxer kolliderade ofta, och många av dem hade våldsamma kvasarer i sina centra. Allteftersom galaxerna blev äldre minskade stjärnbildningstakten, kollisioner blev sällsyntare och kvasarerna bleknade bort.

Under de första årmiljarderna i universums historia rådde det en jättelik stjärn-babyboom. De unga galaxerna fylldes med nya stjärnor i en rasande takt. Samtidigt pågick våldsam aktivitet i deras centra, när gas störtade in i supertunga svarta hål, och gav upphov till *kvasarer* och andra former av det vi kallar *aktiva galaxer*.

I galaxernas tidiga historia var kollisioner och närpassager betydligt vanligare än nu, eftersom universum var betydligt mindre och galaxerna därför låg tätare i rymden. Det medförde att gasen i galaxerna rördes om och bildade ännu fler stjärnor. Samtidigt tvingades gas in i galaxernas centra där den satte ytterligare fart på kvasarerna.

När galaxkollisionerna minskade i antal och gasen inne i galaxernas centra huvudsakligen hade omvandlats till stjärnor, minskade flödet av gas till det svarta hålet, och kvasar-aktiviteten avtog. De riktigt ljusstarka kvasarerna fanns därför bara när universum var ungt, och de aktiva galaxer vi kan se i Vintergatans närhet är alla betydligt lugnare.

Andelen av de olika galaxtyperna ändras under tidens gång. Kollisioner mellan galaxer kan förstöra välordnade skivgalaxer och förvandla dem till elliptiska galaxer. Samtidigt kan den nybildning av stjärnor som en kollision medför i det närmaste göra slut på gasen i en galax. En sådan galax kommer sedan inte att kunna bilda fler nya stjärnor.

Om gasrika galaxer kolliderar kan stjärnor och gas som kastas ut vid kollisionen dra sig samman och bilda nya dvärggalaxer. Den långsiktiga utvecklingen går dock mot att stora, gasfattiga galaxer (elliptiska och linsformade) ökar, medan små och gasrika galaxer minskar i antal.

Aktiva galaxer —

galaxer med våldsamma kärnor

Aktiva galaxer är ett samlingsbegrepp för en brokig samling galaxer som alla har det gemensamt att det pågår dramatiska saker i deras kärnor. Beroende på hur aktiviteten visar sig har de delats in i en mängd olika klasser, men allt fler astronomer tror nu att den grundläggande orsaken till all aktivitet är densamma — supertunga svarta hål!

Aktiva galaxer är indelade i ett stort antal olika klasser beroende på vilka egenskaper de uppvisar, t.ex. *radiogalaxer*, *Seifert-galaxer*, *BL Lac-objekt* och *kvasarer*. Mekanismen bakom de aktiva galaxerna tror man är densamma — det är bara styrkan på aktiviteten och hur den yttrar sig som avgör vilken klass de tillhör.

”Motorn” i en aktiv galax är ett supertunt svart hål, som kan väga mer än en miljard gånger mer än solen. Gas som faller in mot det svarta hålet fångas upp i en *ansamlingskiva*, där den hettas upp våldsamt och sänder ut strålning. Allteftersom gasen bromsas upp av friktionen i ansamlingskivan rör den sig inåt och störtar slutligen ner i det svarta hålet.

Från motorn vid det svarta hålet kan det också kastas ut materia i två smala *jetstrålar*. De här jetstrålarna rör sig med nästan ljusets hastighet, och de kan sträcka sig miljontals ljusår utanför den aktiva galaxen.

Med radioteleskop kan man hos vissa aktiva galaxer se jättelika områden som sänder ut radiostrålning, s.k. ”radio-öron”, på var sin sida om galaxen. Radiostrålningen kommer från energi som förts dit via jetstrålarna från motorn vid det svarta hålet.

Kvasarer —

universums mest avlägsna objekt

Kvasarerna är de mest ljusstarka objekten som finns i universum. Det gör att det är lätt att se dem även över stora

avstånd, och de mest avlägsna himlakropparna som vi kan se är därför kvasarar. Kvasarerna får sin energi från supertunga svarta hål.

De ljusstarkaste kvasarerna sänder ut mer än hundra gånger så mycket ljus som de ljusstarkaste galaxerna. Samtidigt är kvasarer väldigt små. Man hittar dem inne i centrum på vanliga galaxer. Många kvasarar är så avlägsna att galaxerna de ligger i är för ljussvaga för att kunna ses från jorden.

Hos många kvasarar har man sett hur ljusstyrkan varierar från dag till dag. Det betyder att en typisk kvasar är ungefär ett ljusdygn stor, d.v.s. den är så stor att det tar ljuset ett dygn att korsa den. Det är ungefär lika stort som vårt solsystem — men en kvasar kan sända ut 100 000 miljarder gånger mer energi än solen!

Det finns bara ett sätt att producera så mycket energi i ett så litet område: genom att gas störtar ner i ett supertungt svart hål! Gasen samlas upp i en *ansamlingskiva* runt det svarta hålet och hettas där upp våldsamt.

Det finns inga kvasarar i Vintergatans närhet, och riktigt ljusstarka kvasarar hittar man alltid långt ut i universum. Långt ut betyder också långt tillbaka i tiden. Det verkar som om kvasarerna var som vanligast när universum bara var några miljarder år gammalt. Förmodligen utgör kvasarerna ett tidigt utvecklingsstadium för galaxer.

Det är inte uteslutet att vår egen Vintergata någon gång i sin ungdom hade en kvasar i sitt centrum. Det svarta hål som man tror finns i Vintergatans centrum är dock ganska litet om man jämför med de ljusstarkaste kvasarerna, så Vintergatan kan aldrig ha haft någon särskilt kraftfull kvasar.

Supertunga svarta hål —

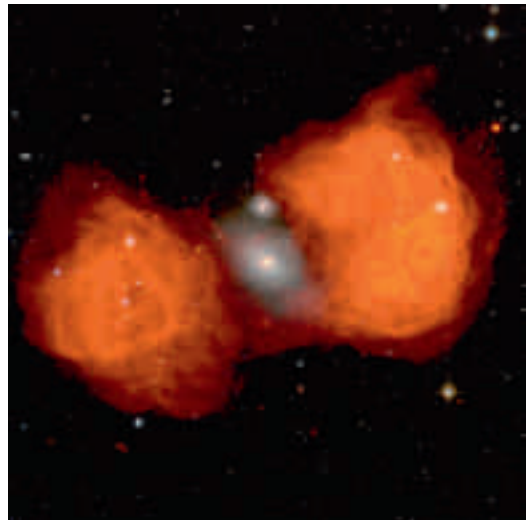
universums mäktigaste kraftkällor

Kvasarar och aktiva galaxer drivs av gigantiska svarta hål som kan väga miljarder gånger mer än solen. Energin kommer egentligen inte från det svarta hålet utan från gas som hamnar i en ansamlingskiva runt det svarta hålet och där hettas upp oerhört kraftigt, innan gasen slutligen försvinner ner i hålet.



Ovan: En konstnär försöker föreställa sig hur en kvasar kunde se ut i det unga universum, när galaxerna låg betydligt närmare varandra. Kvasaren befinner sig i mitten av en nybildad spiralgalax, och galaxens skiva är fylld med unga, vita stjärnor. (Källa: NASA/JPL-Caltech)

Höger: Fornax A är en linsformad radiogalax, där jetstrålar från ett centralt beläget supermassivt svart hål skjuter ut långt utanför galaxen och får den intergalaktiska gasen att sända ut radiostrålning. Bilden är ett montage av ett vanligt foto som visar galaxen i mitten (vitt) och en bild över radiostrålningen i orange med två jättestora "radio-öron" på var sin sida om galaxen. (Källa: NRAO/AUI, J.M. Uson)



Att himlakroppar som egentligen inte kan sända ut något ljus ändå kan vara de ljusstarkaste i hela universum kan låta som en motsägelse. Förklaringen är att energin som frigörs inte kommer från det svarta hålet utan från den infallande gasen.

Potentiell energi frigörs när någonting faller djupare ner i ett tyngdkraftsfält. Här på jorden används potentiell energi från lod till att driva moraklockor och från fallande vatten i ett vattenkraftverk till att producera elström. Ju kraftfullare tyngdkraftsfältet är och ju längre sträcka någonting faller, desto mer energi får man ut. I en kvasar faller gas miljardtals kilometer i det oerhörda tyngdkraftsfältet från ett gigantiskt svart hål, och därför frigörs också enorma mängder energi.

Tvärt emot vad man kan tro är det inte lätt att trilla ner i ett svart hål. Gasen faller nämligen inte rakt ner i hålet utan cirklar runt det i en platt *ansamlingsskiva*. I skivan bromsas gasen upp innan den slutligen har tappat så mycket fart att den kan falla in i hålet. Man kan göra en lös jämförelse med vatten som strömmar runt i en badkarsvirvel innan det rinner ut ur badkaret.

När gasen kolliderar med annan gas i ansamlingsskivan och bromsas upp, hettas den upp oerhört kraftigt. Ansamlingsskivan kan nå temperaturer av många tiotusentals grader och sänder då ut oerhört kraftig och energirik strålning.

En del av energin försvinner iväg via två *jetstrålar* som rusar bort vinkelrätt från ansamlingsskivan. De här jetstrålarna kan röra sig med nästan ljusets hastighet, och de kan färdas miljontals ljusår ut ur galaxen innan de bromsas upp och avger sin energi till den tunna gas som finns mellan galaxerna. Gasen sänder då ut radiostrålning, och med hjälp av radioteleskop kan astronomerna studera sådana här områden, som ofta kallas för "radio-öron".

Gammablixtar —

mystiska explosioner i fjärran

En gammablixt är en kort skur av energirik strålning som kommer från en slumpmässig punkt på himlen utan förvarning. Man vet att gammablixtarna kommer från oerhört kraftfulla explosioner i avlägsna galaxer, men än idag är astronomerna osäkra på vad som orsakar dessa explosioner.

En gammablixt är ett kort men intensivt fenomen; under några sekunder, kanske upp till några minuter kommer det en skur av gammastrålning från en punkt på himlen — sedan är fenomenet över. Eftersom gammastrålning inte tränger igenom

jordens atmosfär kan dessa blixtrar bara observeras från satelliter utrustade med gammastrålningsteleskop. Sådana satelliter registrerar i genomsnitt en gammablixt om dagen och med några få undantag kommer de aldrig från samma punkt på himlen.

Gammablixtrar upptäcktes först av det amerikanska försvaret som på 1960-talet sköt upp en serie spionsatelliter byggda just för att registrera gammablixtrar i tron att det skulle vara ett smart sätt att hålla reda på om något annat land genomförde kärnvapenprov i smyg. Vid en kärnvapenexplosion skapas det nämligen så mycket gammastrålning att en del av denna strålning kan tränga ut ur atmosfären och fångas upp av en vakande spionsatellit. Dessa satelliter rapporterade att de detekterade skurar av gammastrålning — som kom från rymden. Upptäckten av gammablixterna hemlighölls i många år, därför att man inte ville avslöja att man hade den sortens spionsatelliter.

Gammablixtrar sänder också ut strålning på andra våglängdsband som röntgen, ultraviolett och synligt ljus. Det faktum att fenomenet är så kortlivat har dock gjort det svårt att studera det i andra våglängdsband. Det var inte förrän i januari 1999 som ett datorstyrt teleskop lyckades ta den första bilden i synligt ljus av en pågående gammablixt efter att ha fått ett automatiskt email från en satellit som just upptäckt en gammablixt.

Idag vet man att gammablixterna kommer från gigantiska explosioner i mycket avlägsna galaxer. Exakt vad som orsakar dem är däremot oklart. Man tror att det finns två typer: längre blixtrar som orsakas av en ny typ av extra kraftiga supernovor som fått namnet *hypernovor*, och kortare blixtrar som uppstår när två neutronstjärnor krockar eller en neutronstjärna och ett svart hål kolliderar.

Gravitationslinser —

hur man kan se dubbelt
med naturens hjälp

När en galax ligger framför en annan galax på himlen kröker den rymden omkring sig, så att ljuset från den bakomliggande galaxen tar en annan väg till oss. Resultatet blir att vi kan se två eller flera bilder av den bakomliggande galaxen.

Albert Einsteins allmänna relativitetsteori förutsäger många märkliga fenomen. Bland annat säger den att rymden kröks i närheten av en tung himlakropp, och när rymden kröks betyder det att också ljusstrålar kommer att följa en krökt bana.

Tunga himlakroppar i form av galaxer finns det gott om i universum. Om det ligger någon annan himlakropp, t.ex. en avlägsen kvasar, bakom galaxen sett från jorden, kan galaxen böja ljuset från kvasaren. Det fungerar på liknande sätt som när ljus böjs i en vanlig lins av glas, och man säger därför att den tunga galaxen fungerar som en gravitationslins.

Gravitationslinsen kan fungera som ett brännglas som koncentrerar ljuset från den bakomliggande himlakroppen. På det viset kan vi se avlägsna objekt som annars skulle vara för ljussvaga.

En viktigare effekt av gravitationslinser är att de kan böja ljuset från exempelvis en avlägsen kvasar så att vi ser flera bilder av kvasaren bredvid varandra på himlen. Om kvasaren ligger precis mitt bakom den framförvarande galaxen kan ljuset från kvasaren böjas ut till en hel ring som omger galaxen. En sådan ring kallas för en *Einstein-ring*.

Gravitationslinser erbjuder också möjligheter att få en bättre uppskattning av avståndsskalan i universum och hur mycket mörk materia det finns.

Fantastiska fakta:

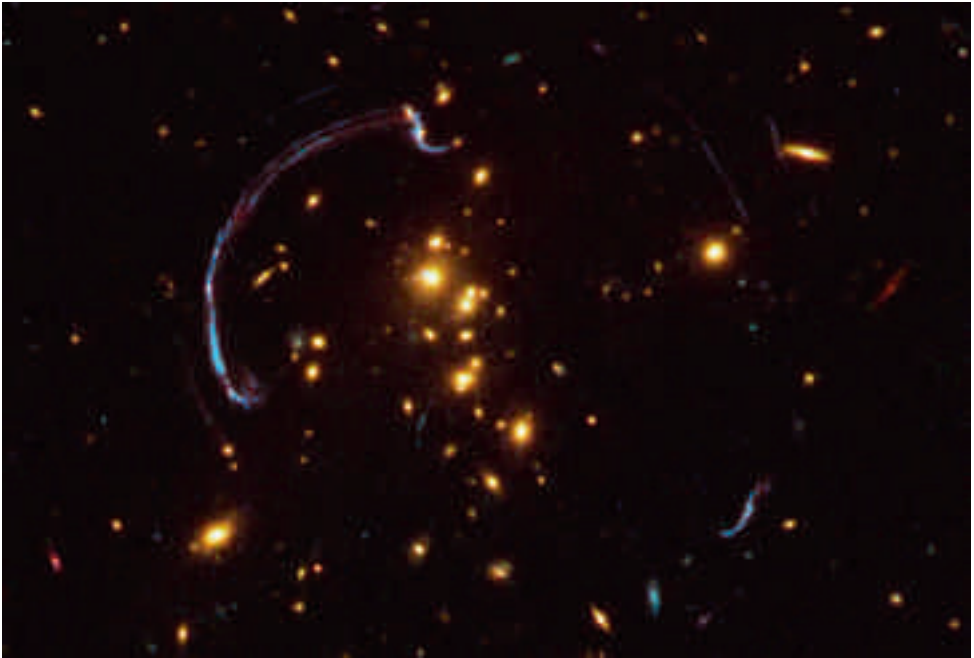
Det finns "förstoringsglas" utspridda i rymden! Tunga galaxer böjer ljuset ungefär som en lins och gör att vi bättre kan se avlägsna himlakroppar som råkar ligga bakom dem.

Universum som tidsmaskin —

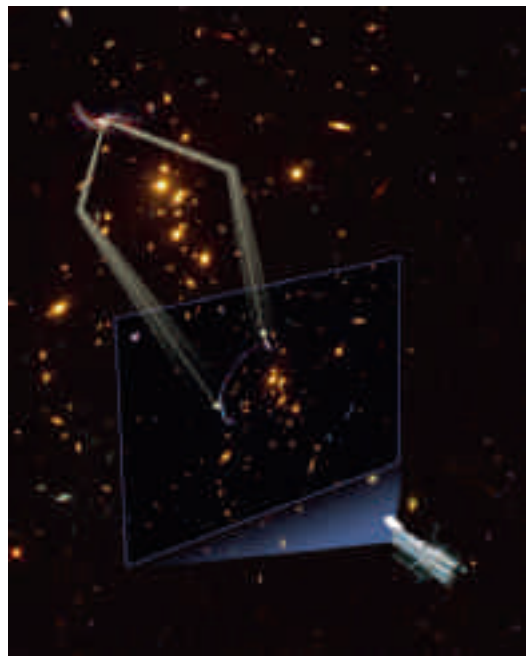
hur vi kan se bakåt i tiden

När du tittar på stjärnhimlen ser du inte stjärnorna som de ser ut nu — du ser dem som de såg ut för många år sedan när ljuset startade sin resa mot jorden! Ju längre ut i universum vi tittar, desto längre tillbaka i tiden ser vi.

Solljuset är drygt 8 minuter gammalt när det når jorden. Från de närmsta stjärnorna behöver ljuset några år. Det äldsta ljuset som du kan se med blotta ögat är det



Galaxhopen RCS2 032727–132623 fungerar som en gravitationslins på detta foto taget av rymdteleskopet Hubble. Ljuset från en än mer avlägsen spiralgalax förstärks och förvrängs till en stor blåaktig båge i fotot ovan. Illustrationen till höger visar hur ljuset från den avlägsna galaxen böjs av den mellanliggande galaxhopen innan det når Hubble. Galaxhopen som står för tricket ligger ungefär 5 miljarder ljusår bort och den avlägsna galaxen ligger ungefär 10 miljarder ljusår bort. (Källa: NASA, ESA, J. Rigby, K. Sharon, M. Gladders, E. Wuyts och A. Feild)



2,5 miljoner år gamla ljuset från Andromedagalaxen. Med kraftfulla teleskop kan vi se himlakroppar som ligger på åtskilliga miljarder ljusårs avstånd.

Det ger oss en ny möjlighet att studera galaxernas utveckling. Om vi tittar långt ut i rymden ser vi alltså galaxer som är betydligt yngre än dem vi har omkring oss i vår närhet. Vi vet fortfarande inte vad som händer med en viss galax, men vi kan ändå se en del generella utvecklingstrender.

Till exempel har bilder på väldigt avlägsna galaxer tagna med rymdteleskopet Hubble visat att andelen galaxer som krockar var betydligt högre när universum var yngre och därmed mindre.

Ett annat exempel är kvasarerna, som är en typ av extremt aktiva galaxkärnor. I vår omgivning ("nutid") finns det nästan inga kvasarer alls. Långt ute i rymden ("när universum var ungt") fanns det däremot gott om dem. Kvasar-aktivitet är nämligen någonting som äger rum i unga galaxer och som sedan avtar med åldern.

Tittar man däremot riktigt långt ut i universum ("en miljard år efter Big Bang") är det åter glest mellan kvasarerna. Förklaringen till det är att vi då tittar så långt tillbaka i tiden att kvasarerna ännu inte har hunnit bildas!

Fantastiska fakta:

När vi tittar ut i rymden tittar vi samtidigt bakåt i tiden! Det ljus som idag når oss från de mest avlägsna himlakropparna sändes ut miljarder år innan jorden hade bildats!

Om du går ut en klar kväll och tittar upp mot stjärnhimlen kan du känna historiens vingslag!

Ljuset från de flesta stjärnorna har färdats hit under många århundraden. Här följer några exempel på historiska händelser som inträffade ungefär samtidigt som ljuset från några av himlavalvets stjärnor påbörjade resan mot jorden:

- Från **Benetnash** (stjärnan längst ut på Karlavagnens handtag) — Napoleons arméer drog fram genom Europa
- Från **polstjärnan** — Gustav Wasa styrde Sverige
- Från **Deneb** (den ljusaste stjärnan i Svanen) — Sverige blev kristet
- Från **Alnitak** (stjärnan längst till vänster i Orions bälte) — vikingarna drog ut i världen

- Från **Orionnebulosan** — Romarrikets fall
- Från **Mintaka** (stjärnan längst till höger i Orions bälte) — antika Greklands storhetstid

Mörk materia —

universums okända material

Det behövs mörk materia för att förklara hur galaxhopar och hela universum håller ihop. Det finns mer än fem gånger så mycket mörk materia som vanlig materia och ingen vet ännu vad den mörka materian består av ...

Astronomerna har länge vetat att det behövs mörk materia för att förklara galaxernas uppbyggnad och att den mörka materian spelar en viktig roll för att förstå hela universums uppbyggnad. Mätningar gjorda av rymdteleskopet *WMAP* visade 2003 att den vanliga materian endast utgör 5% av den totala mängd materia och energi som universum innehåller. Den mörka materians andel däremot utgör 23%. Vad den mörka materian består av är ännu ett mysterium. Mätresultaten utesluter att den skulle kunna bestå av någon form av vanlig materia. Istället tror man att den utgörs av någon hittills oupptäckt form av elementarpartiklar.

En anledning till att vi ännu inte vet vad den mörka materian består av är att den inte växelverkar med vanlig materia annat än genom gravitationskraften. Många astronomer tror att galaxerna bildades av mörk materia som klumpade ihop sig. Vanlig materia i form av intergalaktiska gasmoln drogs in i ”klumparna” och bildade stjärnor och planeter. Eftersom vi inte kan se den mörka materian tror vi att det är stjärnorna och gasmolnen som är de viktiga beståndsdelarna i galaxerna. I själva verket borde vi snarare betrakta dem som skum som flyter med på vattnet när det rör sig.

Mörk energi —

en mystisk expansionskraft

*1998 upptäckte astronomerna att det finns en okänd kraft i universum, som ingen tidigare haft en aning om. Denna ”kraft” har fått namnet **den mörka energin**. Ingen vet ännu vad den mörka energin är för något, men den fungerar som en antigravitationskraft som får universum att expandera i allt snabbare takt.*

Universum har utvidgat sig hela tiden sedan det skapades i Big Bang för cirka 13,7 miljarder år sedan. Så gott som alla astronomer har antagit att expansions-takten avtagit med tiden på grund av den ömsesidiga dragningskraften mellan alla himlakropparna i universum som har en bromsande inverkan. 1998 gjordes så den häpnadsväckande upptäckten att expansionstakten istället ökar med tiden, som om det skulle finnas en okänd kraft, den *mörka energin*, som motverkar gravitationen. Senare studier har visat att gravitationen verkligen var den dominerande kraften i universum under de första 6–7 miljarder åren och att universums utvidgningstakt bromsades under denna period. Sedan fick dock den mörka energin övertaget och universum har sedan dess utvidgat sig i allt snabbare takt.

Resultat från rymdteleskopet *WMAP* 2003 visar att universum består till 5% av vanlig materia, 23% av en okänd form av materia som kallas *mörk materia* och hela 72% av mörk energi. Den mörka energin är alltså universums viktigaste beståndsdel.

En ledande teori för att förklara den mörka energin är den *kosmologiska konstanten*, som ursprungligen föreslogs av Albert Einstein. Den kosmologiska konstanten kan ses som en grundläggande energi som finns i varje volymenhet av rymden. Allteftersom universum utvidgar sig och det därför skapas ”mer” rymd, så växer effekten av den kosmologiska konstanten, vilket skulle förklara varför universums expansionstakt ökar. Många partikelfysiker tror också att det finns en inneboende energi i tomma rymden och de kallar den därför för *vakuumentenergi*.

En annan populär teori förespråkar att den mörka energin orsakas av ett kraftfält som finns i hela universum och som fått namnet *kvintessens*. Medan vakuumentenergin alltid är konstant, så kan expansionskraften från kvintessensen variera både i tid och rum. Det finns därför flera möjligheter att variera kvintessensteorin.

Andra, mer spekulativa, förklaringar har också framförts. Det finns t.ex. teorier som hävdar att expansionen skulle kunna bero på att gravitationen inte fungerar som vi tror över riktigt långa avstånd eller att det finns okända rumsdimensioner som kan driva expansionen.

Universum utvecklas på olika sätt i de olika teorierna och man hoppas därför att mer detaljerade observationer av hur universum har utvecklats sedan Big Bang ska avslöja vilken teori som är korrekt.

Fantastiska fakta:

Albert Einstein lade till den *kosmologiska konstanten* i den allmänna relativitetsteorin för att möjliggöra ett universum som var oföränderligt. När universums expansion upptäcktes några år senare kallade Einstein konstanten för "sitt livs största blunder". Idag tror många forskare att den kosmologiska konstanten kan vara förklaringen till den mystiska *mörka energin*.

Universums framtid — en jättesmäll eller ett oändligt mörker?

Universums framtida öde beseglades redan vid tidens begynnelse! Vad som kommer att hända med universum som helhet beror nämligen på de fysiska lagarna och hur mycket materia som skapades i Big Bang! Världsalltet drivs av en mörk energi som gör att universum kommer att fortsätta expandera i all framtid!

Fram till 1998 trodde man att universums öde helt styrs av mängden materia som universum innehöll och de ömsesidiga gravitationskrafterna mellan dess himlakroppar. Man trodde att om universum innehöll mer än en viss kritisk mängd materia skulle gravitationen vinna över den nuvarande expansionen och vända den i en kollaps istället. Man säger då att universum är *slutet*. Om mängden materia däremot vore mindre skulle expansionen fortsätta i all oändlighet, och man säger då att universum är *öppet*.

Ett slutet universum har alltså en begränsad livslängd. När väl gravitationen har stoppat expansionen kommer universum istället att börja krympa i ett allt snabbare tempo. Till slut kommer hela universum att störta samman och förintas i ett slags

omvänd Big Bang som kallas för *Big Crunch*. Vad som händer efter Big Crunch kan vi bara spekulera i. Möjligen kan ett helt nytt universum skapas i en ny Big Bang.

Om universum är öppet kommer gravitationen bara att kunna bromsa expansionen men aldrig hejda den. I ett sådant universum kommer galaxerna att flyga allt längre och längre ifrån varandra. Gasen kommer att ta slut, så att det inte längre kan bildas några nya stjärnor. Allteftersom stjärnorna åldras och dör kommer mängden stjärnor hela tiden att minska. Till slut kommer galaxerna bara att bestå av svarta hål, neutronstjärnor, kallnade vita och bruna dvärgar samt djupfrysta planeter.

Enligt vissa teorier kommer all materia med tiden att sönderfalla och omvandlas till strålning. Stämmer de teorierna kommer alla himlakroppar att förintas så småningom, och allt universum till slut innehåller blir svag, långvågig radiostrålning.

Genom att studera avlägsna supernovor har man försökt bestämma hur universums nuvarande expansionstakt minskar på grund av gravitationen. Resultat från de här studierna som tillkännagavs 1998 innebar en dramatisk scenförändring: expansions-takten avtar inte alls trots att alla hade förväntat sig att den skulle göra det — **istället ökar den!**

Den här ökningen av expansionstakten betyder att universums öde inte enbart styrs av gravitationen utan också av en annan kraft som fått namnet *mörk energi*. Exakt vad den mörka energin är för någonting förstår man ännu inte, men den verkar som en antigravitationskraft som tvingar universum att expandera allt snabbare. Universum verkar alltså vara öppet och dess slutliga öde ser därför ut att vara att expandera i all evighet.

Vissa forskare varnar dock för att det kan vara för tidigt att bestämt säga att universum är öppet. Den mörka energin ändrar nämligen styrka med tiden. Hittills har den mörka energin vuxit sig starkare sedan universums skapelse, men eftersom vi ännu inte förstår vad den mörka energin är, så finns det en viss möjlighet att den i framtiden kan tänkas avta i styrka eller rent av ändra riktning och hjälpa gravitationen att pressa ihop universum i en kollaps. Dessa idéer är dock högst spekulativa.

Vad fanns före Big Bang?

*Det finns ingenting som heter ”före **Big Bang**”! Tiden och rummet skapades nämligen också i Big Bang — och utan tid finns det inget ”före” och ”efter”! Frågan är meningslös, precis på samma sätt som frågan ”**Vad finns norr om nordpolen?**” också saknar mening!*

Vad finns utanför universum?

*Inte ens tid och rum! Med begreppet ”**universum**” innefattar vi allt som existerar inklusive tid och rum. Om man börjar fundera över andra universa kan det ändå inte bli annat än fantasier och rena spekulationer, eftersom vi genom vår definition inte kan veta något om dem.*

Kan universum ha en begränsad storlek utan att ha någon ytterkant?

Ja, ett krökt universum kan mycket väl ha en begränsad storlek utan att det för den skull behöver finnas någon ytterkant. Jämför med jordklotet! Jordens yta är inte oändligt stor — ändå kan du åka omkring hur långt du vill utan att komma till någon kant! Den allmänna uppfattningen bland astronomerna är att universum ser ungefär likadant ut var man än befinner sig i det. Det finns alltså ingen ytterkant på universum.

Finns det antimateria i rymden?

Nej, inte i form av antiplaneter eller antistjärnor. Tidigare fanns det teorier som sa att det borde finnas lika mycket antimateria som vanlig materia i universum, men nu är det väldigt få som tror det. Det finns ingen antimateria i Vintergatan eller i de närmaste granngalaxerna (förutom enstaka elementarpartiklar), och det mesta tyder på att det inte finns någon antimateria någon annanstans heller.

TELESKOP

Elektromagnetisk strålning —

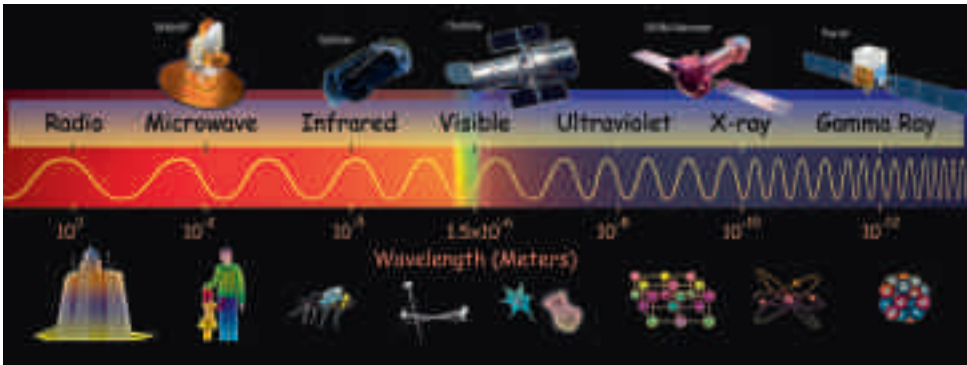
vår enda kontakt med rymden

Nästan allt vi vet om universum har vi fått reda på genom att studera elektromagnetisk strålning från olika himlakroppar. Synligt ljus har länge varit den viktigaste formen av elektromagnetisk strålning, men det finns många andra: infrarött och ultraviolett ljus, mikro- och radiovågor samt röntgen- och gammastrålning. Det som skiljer dem åt är våglängden och därmed energin de bär med sig.

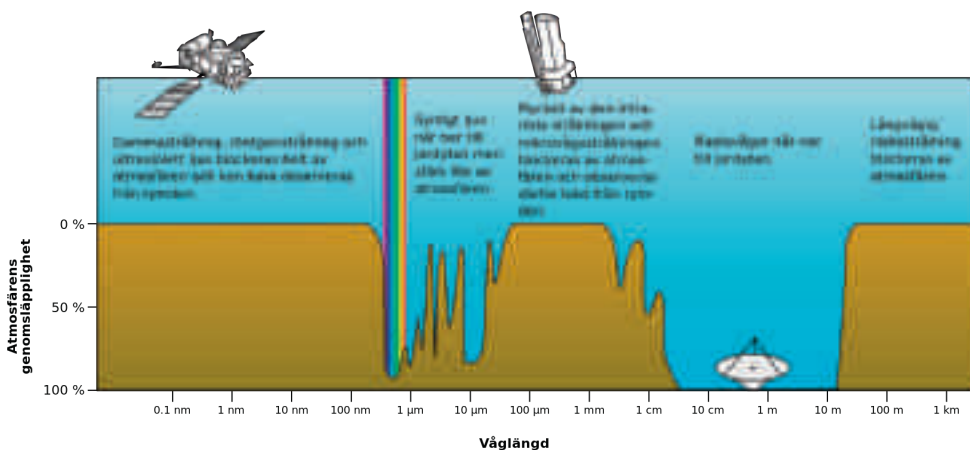
Eftersom vi inte kan resa ut och besöka stjärnor, nebulosor eller fjärran galaxer, är det enda sättet att få reda på någonting om dem att studera den strålning som de sänder ut. Genom att observera strålning från så många våglängdsband som möjligt kan vi lära oss mycket mer om de olika objekten i rymden.

All elektromagnetisk strålning rör sig genom rymden med ljusets hastighet som är 300 000 km/s. Beroende på dess våglängd har strålningen olika egenskaper och ges därför olika namn. *Gammastrålning* har kortast våglängd och är energirikast. Därefter följer i tur och ordning *röntgenstrålning*, *ultraviolett ljus*, *synligt ljus*, *infraröd strålning*, *mikrovågsstrålning* och slutligen *radiostrålning* som har längst våglängd och minst energiinnehåll.

Alla föremål sänder ut strålning och all strålning bär med sig ledtrådar till hur den skapades, vilket astronomerna utnyttjar för att avslöja mer om universums hemligheter. Heta, energirika himlakroppar som tunga stjärnor, pulsarer och aktiva galaxer



Synligt ljus är bara en liten del av det elektromagnetiska spektrat. Resten kan vi inte se, utan det kan bara mätas med olika instrument. Det som skiljer de olika typerna av elektromagnetiska strålningen åt är strålningens våglängd. Längst våglängd har radiovågor, sedan kommer mikrovågor, infrarött ljus, synligt ljus, ultraviolett ljus, röntgenstrålning och slutligen gammastrålning. Medan radiovågor kan ha våglängder större än 1 kilometer, så finns det gammastrålning med våglängder mindre än 0,000 000 000 001 meter. Överst i den här figuren finns det bilder på några rymdbaserade teleskop som används för olika typer av strålning. Längst ner i figuren finns olika illustrationer som har samma storlek som de olika våglängderna, från byggnader och människor via bin, nålspetsar och bakterier ner till molekyler, atomer och atomkärnor. (Källa: NASA)



Att våra ögon är anpassade för synligt ljus är kanske inte så konstigt. Dels är solstrålningen som starkast i synligt ljus, dels släpper jordens atmosfär lätt igenom synligt ljus. Atmosfären släpper också igenom radiovågor, bortsett från den riktigt långvägiga radiostrålningen. För andra våglängdsband som infrarött ljus och mikrovågsstrålning varierar genomsläppligheten beroende på våglängden och mycket av strålningen tar sig inte igenom atmosfären. All kortvågig strålning som ultraviolett ljus, röntgenstrålning och gammastrålning blockeras helt av atmosfären och kan bara observeras från rymden. (Källa: NASA, översättning: M. Lerner)

sänder huvudsakligen ut energirik, kortvägig strålning, medan stoft och kall gas mellan stjärnorna sänder ut infraröd strålning och radiovågor.

Fantastiska fakta:

Hade vi haft ögon som kunde "se" i andra våglängdsband än synligt ljus skulle natthimlen se helt annorlunda ut. Med exempelvis radio-ögon skulle vi knappt se några stjärnor alls utan himlen skulle istället vara full av ljusstarka aktiva galaxer.

Atmosfären — astronomens värsta fiende

*Atmosfären ställer till stora problem för astronomerna. Trots att den ser så genomskinlig ut en stjärnklar natt, blockerar den i själva verket de flesta av de elektromagnetiska våglängdsbanden. Det finns egentligen bara två typer av strålning som kan ta sig igenom relativt ostört: **synligt ljus och radiovågor**.*

All strålning som har kortare våglängd (och därmed är energirikare) än synligt ljus blockeras helt av atmosfären, bortsett från en liten mängd ultraviolett strålning. Mycket av strålningen från heta stjärnor, supernovor, pulsarer, aktiva galaxer och andra energirika objekt kommer just inom dessa våglängdsband.

När det gäller infrarött och en del av mikrovågsbandet är problemet ett annat, nämligen att atmosfären själv sänder ut en massa strålning som dränker den svaga strålningen från rymden. Att observera i infrarött kan jämföras med att försöka se en ljussvag stjärna samtidigt som man står rakt under en stark gatlykta.

Inte ens för synligt ljus eller radiovågor är förhållandena idealiska. Regntunga moln gör inte bara optiska teleskop helt oanvändbara utan dämpar och förvanskar också radiostrålningen inom vissa våglängdsband. Även när det är kristallklart väder gör luftorn att bilderna aldrig blir så skarpa som de skulle ha varit om atmosfären inte funnits i vägen.

Nya teleskop (som SEST och APEX) byggs därför oftast på höga bergstoppar i torra ökenområden för att minska störningarna från atmosfären. Allra helst vill man placera sina teleskop ute i rymden för att helt slippa atmosfären.

Fast egentligen ska vi vara glada att atmosfären hindrar mycket av strålningen. Vår egen sol vräker nämligen ut ultraviolett ljus, röntgen- och gammastrålning som vore direkt dödlig för allt levande på jorden om inte atmosfären skyddade oss.

Optiska teleskop —

jätteögon mot rymden

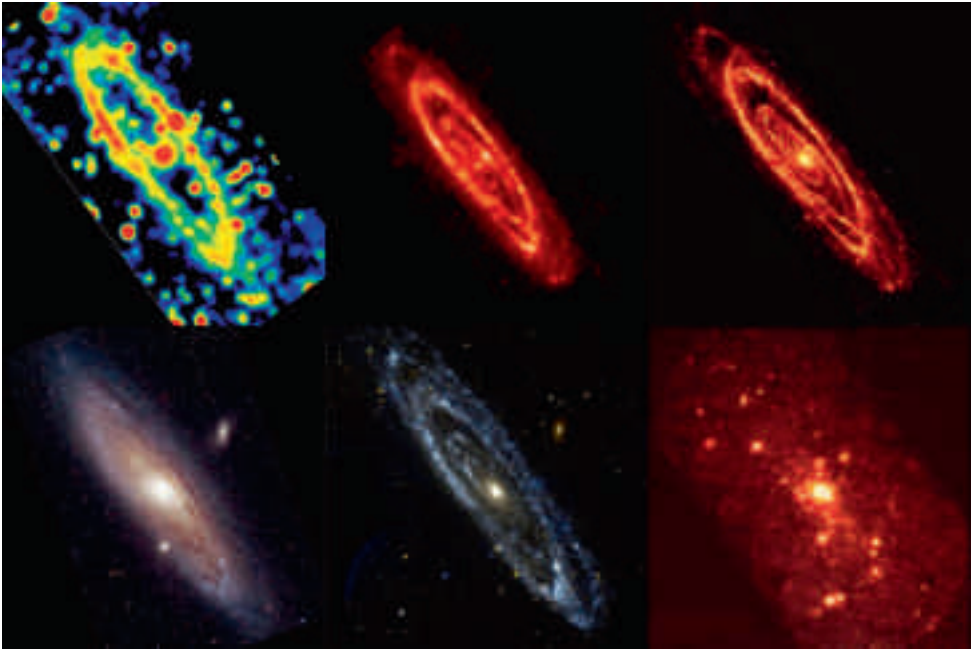
I flera århundraden har det optiska teleskopet varit astronomens viktigaste hjälpmedel för att utforska himlavalvet. Med stora linser och speglar samlar teleskopen in ljus från himlakroppar som annars är för ljussvaga för att synas. Idag finns det stora mastodontteleskop med ljussamlande speglar som är över 10 meter i diameter.

Den första stora revolutionen inom astronomin kom 1609 när Galileo Galilei började använda en kikare för sina astronomiska observationer. Med den upptäckte han att det finns kratrar på månen, att det kretsar fyra stora månar runt Jupiter och att det finns mängder av stjärnor som är för ljussvaga för att man ska kunna se dem med blotta ögat.

Det finns två typer av optiska teleskop: linsteleskop och spegelteleskop. I ett linsteleskop eller *refraktor* används linser för att samla in ljuset. I ett spegelteleskop eller *reflektor* är det istället en eller flera speglar som står för ljusinsamlandet.

I ett linsteleskop är strålgången enkel och ljuset går en gång rakt igenom teleskopet. I ett spegelteleskop däremot ska ljuset först passera genom hela teleskopet innan det träffar den parabolformade huvudspegeln, som samlar ihop ljuset och skickar tillbaka det mot teleskopets öppning. Där sitter en mindre sekundärspegel som antingen skickar ut ljuset åt sidan (Newton-teleskop) eller tillbaka ner igenom teleskopet så att det kan passera ut genom ett litet hål i huvudspegeln (Cassegrain-teleskop).

Världens största linsteleskop är *Yerkes-refraktorn* som byggdes 1897 med en huvudlins, vars diameter är 101 centimeter. Större linser är både svåra att tillverka och svåra att använda. Linsteleskop är dyrare än spegelteleskop, och om man bortser från en del mindre teleskop för amatörastronomer har linsteleskopen därför huvudsakligen spelat ut sin roll inom astronomin.



Ovan: Sex bilder tagna av vår galaxgranne Andromedagalaxen i olika våglängdsband illustrerar nyttan av att kunna observera i olika delar av det elektromagnetiska spektrat. På översta raden finns bilder tagna i radio, mikrovågor och infrarött ljus, medan den nedre raden visar synligt ljus, ultraviolett ljus samt röntgenstrålning. (Källa: University of Oxford)

Höger: Ett av de fyra huvudteleskopen på VLT som tillsammans utgör världens största optiska teleskop, beläget vid Paranal i Chile. Huvudspegeln som skymtar under den vita lådan i mitten är 8,2 meter i diameter. Teleskopet är en öppen konstruktion så att luften kan cirkulera fritt och jämna ut temperaturskillnader mellan olika delar av teleskopet, vilket annars kan försämma bildkvaliteten. (Källa: ESO, H.H. Heyer)



En spegelstorlek på 5–6 meter var länge gränsen för vad som var tekniskt möjligt att bygga, men på 1980-talet hade tekniken utvecklats så långt att det blivit möjligt att konstruera större speglar. Världens största spegelteleskop, *Gran Telescopio Canarias* som ligger på Kanarieöarna, stod klart 2009 och har en spegel som är ungefär 10,4 meter i diameter. Dess huvudspegel är *segmenterad*, d.v.s. den består av 36 sexkantiga spegelbitar som fogats samman till en stor spegel. Diametern för de största teleskoperna där huvudspegeln består av en ensam spegel är drygt 8 meter.

Det europeiska *VLT-teleskopet* som ligger i norra Chile består av fyra stycken 8,2-metersteleskop. När de fyra teleskoperna kopplas samman för att observera samma objekt på himlen får man ett teleskop som samlar in lika mycket ljus som ett ensamt teleskop med 16 meters diameter skulle göra. Under 10-talet räknar man med att bygget av nästa generations optiska teleskop ska komma igång. De kommer att ha segmenterade huvudspeglar som är mellan 25–40 meter stora.

Fantastiska fakta:

Att tillverka en stor huvudspegel till ett optiskt teleskop är tålamodsprövande. Först måste den nygjutna glasklumpen som ska bli en spegel svalna långsamt i många månader för att den inte ska spricka, och sedan tar det flera år att slipa spegeln till precis rätt form.

Radioastronomi —

ett nytt fönster mot universum

Radioastronomin har utvecklats i en rasande takt sedan andra världskriget. Idag finns det radioteleskop över hela världen, och radioastronomin har blivit minst lika viktig som den traditionella optiska astronomin. Med radioastronomins hjälp kan astronomerna kartlägga den annars osynliga gasen i galaxerna, studera stjärnfödslar, undersöka döende stjärnor och följa vad som händer i aktiva galaxer.

Radioastronomin föddes 1933 när Karl Jansky upptäckte att en del av det radiobrus som han tog emot i Bell Laboratories' nybyggda antenn kom från Vintergatan. Ingen tog dock någon större notis om Janskys upptäckt, och det var inte förrän i slutet av 1930-talet som Jansky fick en efterföljare i Grote Reber, en radioingenjör som på sin fritid byggde en 9-metersparabol för att kunna kartlägga strålningen från Vintergatan. Sedan kom andra världskriget och radartechniken utvecklades ordentligt, vilket lade grunden till en fortsatt radioastronomisk utveckling.

De första radioteleskopen användes för våglängder som var flera meter, men allteftersom tekniken förfinats har radioastronomerna arbetat sig ner mot kortare våglängder. Idag finns det radioteleskop som kan ta emot radiovågor kortare än 1 millimeter.

Precis som inom optisk astronomi kan man lära sig mer om de himlakroppar man studerar genom att använda så många olika våglängder som möjligt, och precis som inom optisk astronomi spelar också spektrallinjer en mycket central roll.

Den första spektrallinje som studerades av radioastronomer var den s.k. *21-centimeterslinjen*, som sänds ut av atomärt väte i den interstellära gasen. Med dess hjälp kunde astronomer för första gången "se" rakt igenom ogenomskinliga stoftmoln och kartlägga den atomära gasens fördelning i Vintergatan.

Många av molekylerna som finns i den interstellära gasen har sina spektrallinjer i millimetervågsbandet. Den viktigaste molekylerna som används vid kartläggning av molekylär gas är kolmonoxid (CO) som sänder ut strålning på bland annat 2,6 millimeters och 1,3 millimeters våglängd.

Radioteleskop — mäter upp kosmiskt brus

Med ytterst känsliga mottagare och jättelika parabler "lyssnar" astronomer på radiobrus från rymden. Förmågan att urskilja små detaljer på himlen med ett ensamt radioteleskop är visserligen dålig, men om man samkör flera radioteleskop kan man till och med "se" bättre än med optiska teleskop.

Ett radioteleskop fungerar egentligen på samma sätt som vilken vanlig radio som helst, det är bara så oerhört mycket känsligare för svaga radiosignaler. Istället för en liten utfällbar antenn har det en stor parabol för att samla ihop så mycket radiostrålning som möjligt. Radiomottagaren hålls nedkyld till temperaturer nära den absoluta nollpunkten för att inte bruset ska dränka den svaga signalen från rymden.

Det som fångas upp i ett radioteleskop är inte signaler i egentlig mening utan radiobrus som skapats naturligt. Att många himlakroppar sänder ut radiostrålning är inte märkligare än att de sänder ut synligt ljus — ljus och radiovågor är ju båda former av elektromagnetisk strålning. Vill du själv höra hur radiobrus ”låter” kan du ställa in en vanlig radio mellan två stationer (fast det är bara en mycket liten del av det brus som kommer från rymden).

Vad radioastronomerna gör är att mäta hur mycket brus radioteleskopet tar emot — från olika delar av himlen och på olika våglängder. På en vanlig radio kan du bara lyssna på en kanal i taget, men radioastronomer använder ofta *mångkanalmottagare* som kan mäta på tusentals eller tiotusentals våglängder samtidigt. Det är alltså ingen som sitter i kontrollrummet med hörlurar och *lyssnar*, utan det är olika typer av elektroniska instrument som mäter hur mycket brus som teleskopet tar emot på var och en av dessa olika våglängder.

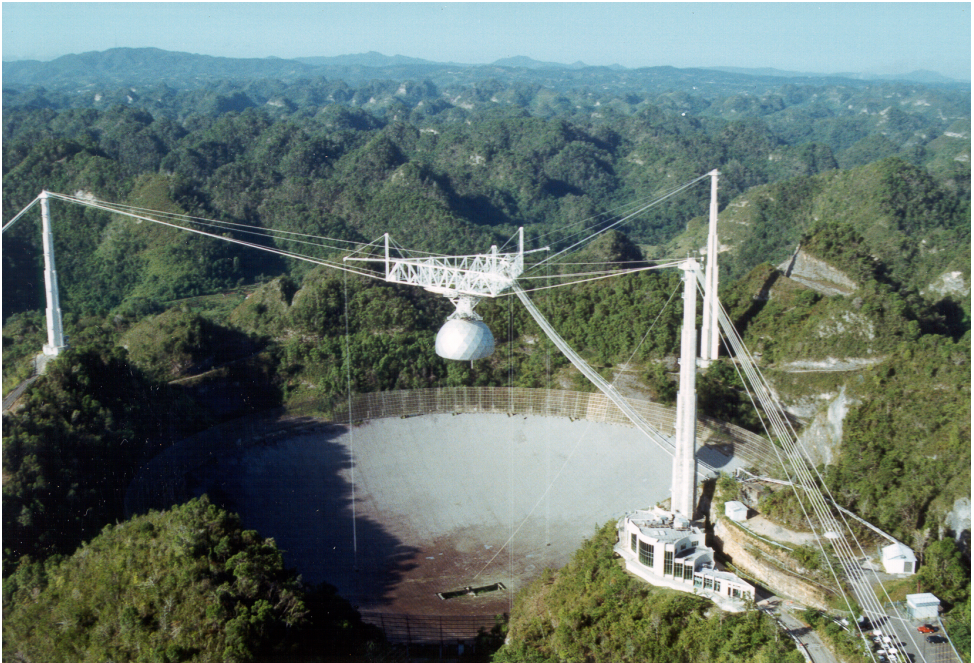
En nackdel med ett radioteleskop är den dåliga *upplösningsförmågan*, d.v.s. förmågan att se små detaljer. Det 25-metersteleskop som står på Onsalaobservatoriet tar emot radiostrålning från ett område på himlen som är lika stort som fullmånen, medan ett optiskt teleskop kan se detaljer som är tusen gånger mindre. Anledningen är att ett teleskops upplösningsförmåga beror på dess storlek i förhållande till den våglängd som teleskopet används vid, och radiostrålning har våglängder som är tusentals gånger längre än vad synligt ljus har.

För att komma runt det här problemet kan man samköra flera radioteleskop, så att de fungerar som ett enda jätteteleskop. Tekniken kallas för *interferometri* och med hjälp av teleskop utspridda över hela jordklotet, extremt noggranna klockor och kraftfulla datorer kan man nu göra radioobservationer av detaljer som är 1 000 gånger mindre än vad ens rymdteleskopet Hubble klarar av att se.

Världens största radioteleskop är *Arecibo* som är 305 meter i diameter. Ett så stort teleskop kan man inte vrida runt för att peka i olika riktningar på himlen, utan det är byggt i en rund dal på Puerto Rico. Världens största fullt rörliga radioteleskop är *Greenbank-teleskopet* som ligger i West Virginia, USA och har en storlek av 110×100 meter. Innan Greenbank blev färdigt 2000 hölls rekordet i många år av ett 100-meters teleskop i *Effelsberg*, Tyskland.

Fantastiska fakta:

Signalerna från rymden är oerhört svaga. Om man kunde samla ihop all den radiostrålning som alla jordens radioteleskop har tagit emot ända sedan radioastronomin började växa fram på 1950-talet, så skulle den energin inte ens räcka till att smälta en snöflinga!



Radioteleskopet i Arecibo, byggt i en skålformad dal i Puerto Rico, är världens största teleskop med en diameter på 305 meter. (Källa: NAIC, Arecibo Observatory)



Det är inte lätt att observera natthimlen när den är så upplyst. Bilden är tagen från den internationella rymdstationen. Danmark ligger till vänster med södra Sverige rakt ovanför. De gröna linjerna är norrsken, och en liten bit av rymdstationens solpaneler skymtar högst upp. (Källa: ESA, NASA)

Kosmisk strålning —

partiklar från rymden

*Elektromagnetisk strålning är inte den enda strålningsform som når oss från rymden. Den **kosmiska strålningen** bestående av extremt energirika elementarpartiklar och atomkärnor genomkorsar också världsalltet, men är svår att studera eftersom den stoppas av atmosfären.*

Den kosmiska strålningen upptäcktes av Victor Hess 1912 när han tog med sig strålningsmätare under en serie ballonguppstigningar till över 5 kilometers höjd. Han kunde då visa att strålningen i luften först avtog men sedan åter ökade med höjden, vilket visade att det måste komma in strålning utifrån rymden. Hess belönades 1936 med ett nobelpris för sin upptäckt.

Den kosmiska strålningen består till ungefär 90% av protoner och 9% av heliumkärnor, men det förekommer också enstaka tyngre atomkärnor och partiklar av antimateria. Energiinnehållet är ofta enormt — man har observerat enstaka kosmiska strålningspartiklar som bär med sig mer än 10 miljoner gånger mer energi än de mest energirika partiklar man har lyckats skapa vid världens största partikelacceleratorer.

Ett problem med kosmisk strålning är att den består av partiklar som är elektriskt laddade, och när sådana rör sig genom ett magnetfält ändras deras bana. Rymden är full av magnetfält som påverkar den kosmiska strålningen, vilket gör att vi inte kan säga från vilket objekt en viss partikel kommer ifrån.

Mängden kosmisk strålning som når jordklotet varierar beroende på hur stark solvinden är. När solvinden är kraftig kan bara den mer högenergetiska kosmiska strålningen tränga in i solsystemet. Den kosmiska strålningen når inte ner till jordytan, så det bästa är att studera den med instrument ute i rymden, men viss forskning kan ändå bedrivas från marken. När en energirik kosmisk strålningspartikel kolliderar med en atom i jordatmosfären kan den stora mängden energi som frigörs nämligen leda till att det skapas miljontals sekundärpartiklar, precis som i en partikelaccelerator. En del av dessa sekundärpartiklar når jordytan och kan då registreras. Med speciella teleskop kan man också studera de svaga ljusblixtar som sådana här händelser producerar.

Kosmiska strålningspartiklar kan skada elektronisk utrustning och få den att fungera felaktigt. Det här är ett vanligt problem ombord på rymdfarkoster, men också elektronik i flygplan och på marknivå kan påverkas av sekundärstrålningen. Atomer som träffas av kosmisk strålning kan omvandlas till andra grundämnen, och på så vis bildas ett antal kortlivade radioaktiva ämnen i atmosfären. Det mest kända exemplet är att vanliga kväveatomer omvandlas till radioaktivt kol-14.

Stora teleskop —

varför större är bättre

De flesta himlakropparna på natthimlen är extremt ljussvaga. Därför behöver astronomerna stora teleskop för att kunna fånga in så mycket som möjligt av det svaga ljuset. Förmågan att förstora bilden är däremot mindre viktig — atmosfären sätter ändå stopp för höga förstoringar!

Viljan att kunna se ljussvaga och därmed mer avlägsna himlakroppar har fått astronomerna att bygga större och större teleskop. Dagens största optiska teleskop är kring 10 meter i diameter, medan det största radioteleskopet är hela 305 meter i diameter.

När det gäller förmågan att se små detaljer har astronomerna däremot ingen större glädje av sina stora optiska teleskop. Luftoron i jordens atmosfär gör nämligen att man ändå inte kan se mindre detaljer än vad man kan se med ett 15-centimetersteleskop.

Ett sätt att slippa suddigheten som atmosfären orsakar är att skjuta upp ett teleskop i omloppsbana runt jorden, vilket är oerhört dyrbart. Ett annat sätt som blir allt viktigare är att låta snabba datorer analysera oskärpan och sedan buckla till en liten spegel på ett sådant sätt att bilden från teleskopet blir skarpare när den har fått studsas på den tillbucklade spegeln. Problemet är att luften hela tiden ändras så detta måste göras flera hundra gånger i sekunden om det ska fungera.

För radioteleskop är det inte luftoron som begränsar förmågan att se små detaljer utan storleksförhållandet mellan teleskopets storlek och den observerade våglängden som är mer än 1 000 gånger sämre än för optiska teleskop. För att komma runt det problemet kopplar man ihop flera mindre teleskop för att på så vis skapa ett större teleskop; en teknik som kallas för *interferometri*.

Inom *långbaslinjeinterferometrin* använder man sig till och med av teleskop som står i olika världsdelar. Man spelar då in signalerna från rymden på hårddiskar tillsammans med tidssignaler från extremt noggranna atomklockor. Sedan samkör man hårddiskarna och låter en kraftfull dator analysera signalerna. Man får då ett resultat som påminner om det man skulle ha fått om man hade haft ett enda gigantiskt radioteleskop som var stort som hela jordklotet!

Observatorier —

portar till himlen

Astronomiska observatorier byggs numera oftast på avlägsna och egendomliga platser. Det finns två anledningar till det: för att utnyttja de platser på jorden där vädret är bäst och för att slippa störningar från annan mänsklig aktivitet. Därför hittar man ofta nybyggda observatorier på en avlägsen bergstopp mitt ute i en öken.

Att man inte ska bygga ett optiskt observatorium på en plats där det regnar ofta är ganska uppenbart. Även radioteleskop påverkas av vädret. Det kan exempelvis vara svårt att styra ett stort teleskop om det blåser hårt. Inom flera viktiga våglängdsband dämpas signalerna dessutom kraftigt av vattenånga i atmosfären.

De bästa platserna för observatorier, optiska såväl som radio, är oftast höga bergstoppar antingen i öknar eller på öar långt ute i världshaven.

Dessutom blir det allt viktigare att komma bort från resten av samhället. Även små byar har numera starka gatlampor som lyser upp natthimlen på många mils avstånd. Den ökande användningen av radiokommunikation och mobiltelefoner tvingar också radioastronomerna att flytta till obebodda trakter.

Sveriges millimetervågsteleskop, SEST, byggdes på 2 400 meters höjd i Atacama-öknen uppe i de chilenska Anderna. Det efterföljande APEX-teleskopet som kräver ännu bättre förhållanden byggdes också i Chile på hela 5 100 meters höjd.

Rymdteleskopet Hubble —

ett sätt att slippa atmosfären

Luften i jordens atmosfär gör att bilder tagna med teleskop på marken aldrig blir så skarpa som de skulle kunna bli.

Rymdteleskopet Hubble sköts därför upp 1990 för att kunna ta bättre bilder utanför jordens atmosfär, och sedan dess står alla världens astronomer i kö för att få använda Hubble.

Ju större teleskop man har, desto större förstoring kan man använda och desto bättre *upplösning* får man, d.v.s. desto finare detaljer kan man se — i teorin! I verkligheten är det jordens atmosfär som begränsar upplösningen genom att den alltid närvarande luftoron gör bilderna lite oskarpa. Gränsen går vid ungefär 1 bågsekund, d.v.s. en upplösning som motsvarar en enkrona sedd på 5,2 kilometers håll. För att nå en upplösning av 1 bågsekund räcker det med att ha ett teleskop med 15 centimeters spegel. Ett teleskop som är större än 15 centimeter ger alltså inte bättre upplösning — däremot samlar det in mer ljus så att man kan studera ljussvagare himlakroppar.

Om man kunde slippa atmosfären skulle man kunna få bättre upplösning med ett större teleskop, och därför har astronomer ända sedan rymdålderns början drömt om att placera ett stort teleskop i rymden utanför jordens atmosfär. I april 1990 gick den drömmen i uppfyllelse när en amerikansk rymdfärja lyfte ut rymdteleskopet Hubble i omloppsbana på 600 kilometers höjd.

Hubble har en huvudspegel som är 2,4 meter i diameter och skulle därför kunna se detaljer som är mer än 10 gånger mindre än vad teleskop på marken kan se. Det var bara en hake: bilderna från rymdteleskopet blev aldrig så skarpa — en spegel var nämligen felslipad! Alla världens nyhetsreportrar talade om fiasko, men faktum är att bilderna från Hubble trots felslipningen ändå var betydligt skarpare än vad något markbundet teleskop kunde åstadkomma.

I december 1993 sköts en annan rymdfärja upp för att rätta till felet. I fem dagar arbetade astronauter med att "sätta glasögon" på rymdteleskopets kameror och byta ut annan trasig utrustning. Operationen lyckades och sedan dess har rymdteleskopet gett astronomerna precis så bra bilder som de hoppats på.

Hubble har sedan dess fått fler besök av rymdfärjor, dels för att reparera utrustning som gått sönder, men också för att installera nya och bättre instrument och kameror. Man hoppas att Hubble ska fungera en bra bit in på 10-talet, när en ersättare som kallas för *Webb-teleskopet* ska skjutas upp.

Fantastiska fakta:

Rymdteleskopet Hubble har ett synfel! Teleskopets speglar är felslipade och det upptäcktes inte förrän teleskopet redan var uppe i rymden, men problemet är löst — amerikanska astronauter har besökt Hubble och satt "glasögon" på teleskopets kameror!



Observatorier byggs ofta på höga bergstoppar ute i öknen långt ifrån den störande civilisationen. Här visas det europeiska La Silla-observatoriet beläget i Chile. (Källa: ESO)



Rymdteleskopet Hubble rankas tack vare sin position utanför jordens störande atmosfär som ett av de viktigaste teleskopen i världen. (Källa: NASA)

Rymdteleskopets syskon —

Compton, Chandra och Spitzer

*Rymdteleskopet Hubble har tre syskon som också är rymdteleskop. Fast syskonen observerar inte synligt ljus utan andra våglängdsband: **Spitzer** studerar infrarött ljus, **Chandra** röntgenstrålning och **Compton** gammastrålning.*

På slutet av 1970-talet bestämde sig NASA för att bygga fyra stora teleskop som skulle skjutas upp i rymden. Vart och ett av teleskopen skulle observera inom var sitt våglängdsband: synligt ljus, infrarött ljus, röntgenstrålning och gammastrålning. Programmet försenades dock och det var inte förrän 1990 som det första teleskopet sköts upp.

Först ut var teleskopet för synligt ljus som fick namnet Hubble. Tack vare sin förmåga att ta häpnadsväckande bilder har Hubble varit det teleskop som oftast hamnat i rampljuset, men för astronomerna har Hubbles tre syskon varit minst lika betydelsefulla. De fyra rymdteleskopen har alla fått namn efter berömda astronomer eller fysiker.

Gammastrålningsteleskopet Compton sändes upp 1991 och fungerade i mer än 8 år. Compton upptäckte mer än 2 700 gammablixtar och kartlade gammastrålningen över hela himlen. Compton studerade också explosioner på solens yta, supernovor och svarta hål. Sedan Compton drabbats av problem med styrningen valde man 2000 att låta teleskopet, som vägde hela 17 ton, störta i Stilla havet medan det fortfarande var styrbart.

Röntgenteleskopet Chandra var klart för uppskjutning 1999. Med hjälp av sina extremt känsliga detektorer kunde Chandra upptäcka röntgenstrålning från många himlakroppar som man tidigare inte hade trott kunde producera sådan strålning som t.ex. månen, kometer och bruna dvärgar. Chandra har bland annat upptäckt stora mängder het gas som omger galaxerna i galaxhopar och en ny typ av svart hål som är större än de svarta hål som bildas av döende stjärnor och de gigantiska svarta hål som finns i centrum på många galaxer.

Det sista syskonet, infrarödteleskopet Spitzer, sköts upp 2003. En av Spitzers viktigaste egenskaper är att det kan se rakt igenom stoftmoln som annars skymmer sikten för optiska teleskop. Spitzer har studerat området i Vintergatans centrum, undersökt stjärnor som håller på att födas inne i interstellära gasmoln, upptäckt skivor av stoft runt unga stjärnor där planeter håller på att bildas och avslöjat att Vintergatan har en betydligt större stav än man tidigare trott. Spitzer lyckades 2005 ta de första bilderna

på en planet som kretsar runt en annan stjärna. Flera av instrumenten ombord måste hållas nedkylda med flytande helium för att fungera. Det flytande heliumet räckte längre än vad man hade hoppats, men 2009 tog det slut och sedan dess kan man bara göra vissa begränsade typer av observationer med Spitzer.

Rymdsonder —

våra spanare i rymden

Allt vi vet om universum har vi lärt oss enbart genom att studera himlen — med ett undantag: inom solsystemet kan vi skicka ut rymdsonder för att undersöka himlakropparna på nära håll. Rymdsonder har bland annat avslöjat vad som finns gömt under Venus' tjocka molntäcke, kört runt i gruset på Mars' slätter, dykt ner i jätteplaneten Jupiters virvlande gasmassor och landat i en flodfåra på saturnusmånen Titan.

Rymdåldern hade knappt hunnit börja i slutet av 1957 innan de första försöken gjordes att skicka iväg rymdsonder till månen. Efter en rad misslyckanden flög Luna 1 förbi månen 1959. Kort därefter blev Luna 2 det första föremål som slog ned på månytan och Luna 3 den första sond som fotograferade månens då helt okända baksida.

Under månkapplöpningen på 60-talet skickades mängder med rymdsonder till månen för att bana väg för människans första besök på en annan himlakropp: den historiska månlandningen i juli 1969.

Rymdsonder har också sedan 1960-talets början skickats ut till andra planeter, och sedan Voyager 2 flugit förbi Neptunus 1989 har alla planeter fått besök av minst en rymdsond. År 2015 kommer de första dvärgplaneterna Ceres och Pluto också att få besök.

Rymdsonder är visserligen dyra, men i många fall har de genom bara några timmars observationer direkt på plats lärt oss betydligt mer än vad astronomerna tidigare lyckats ta reda på genom flera årtusenden av mödosamma observationer från jorden.

Det finns fyra huvudtyper av rymdsonder:

- *Förbiflygare:* flyger förbi himlakroppen och samlar in data under några timmar.

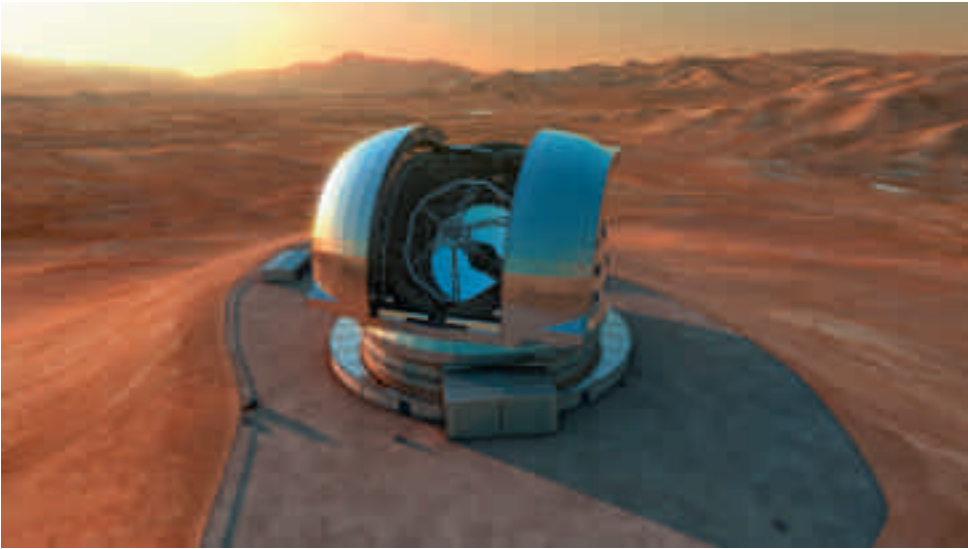
- *Kretsare*: lägger sig i omloppsbana för att kunna studera en planet och dess månar under en längre tid.
- *Landare*: landar på himlakroppen för att kunna detaljstudera ytan på landningsplatsen.
- *Atmosfärssonder*: dyker genom atmosfären för att studera vad den består av.

Fantastiska fakta:

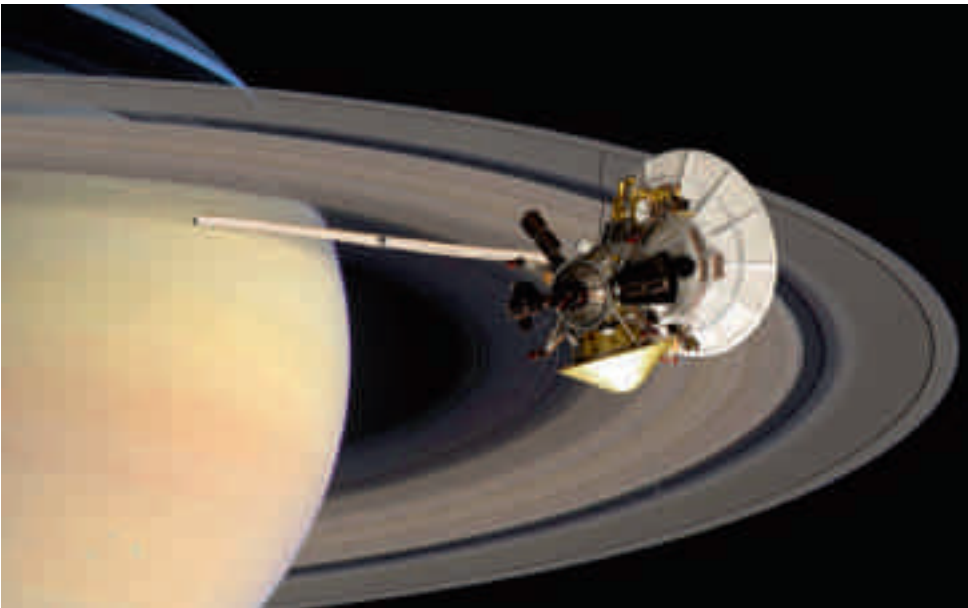
Eftersom Venus ligger närmare solen än jorden trodde många astronomer att det skulle vara lite varmare där än här. När så den första rymdsonden flög till Venus och rapporterade att det var nästan 500°C på ytan trodde många att det var fel på rymdsonden.

Följande tabell talar om när respektive himlakropp fick sitt första besök från jorden:

<i>Himlakropp</i>	<i>Ankomstår</i>	<i>Land</i>	<i>Första rymdsond</i>
Månen	1959	Sovjet	Luna 1
Merkurius	1974	USA	Mariner 10
Venus	1962	USA	Mariner 2
Mars	1965	USA	Mariner 4
Jupiter	1973	USA	Pioneer 10
Saturnus	1979	USA	Pioneer 11
Uranus	1986	USA	Voyager 2
Neptunus	1989	USA	Voyager 2
Första asteroiden (951 Gaspra)	1991	USA	Galileo
Första kometen (Giacobini-Zinner)	1985	USA	International Cometary Explorer
1 Ceres	—	—	inget besök än (Dawn 2015)
134340 Pluto	—	—	inget besök än (New Horizons 2015)



En konstnär föreställer sig hur European Extremely Large Telescope (E-ELT) kommer att se ut. 39-meterteleskopet kommer att bli världens största optiska teleskop och bygget beräknas komma igång under den senare delen av 10-talet. (Källa: ESO/L. Calçada)



Rymdsonden Cassini anlände till Saturnus 2004 efter en resa på nästan 7 år och har sedan dess avslöjat många av Saturnus' hemligheter. Bilden är ett fotomontage. (Källa: NASA, JPL, Space Science Institute)

Berömda rymdsonder —

som skrivit in sig i historien

Sedan Luna 1 1959 blev den första rymdsonden som flög förbi månen har ett hundratal rymdsonder skickats ut för att på nära håll undersöka planeter, asteroider och kometer i vårt solsystem. De flesta har lärt oss mycket som vi annars aldrig skulle vetat, men vissa av dem har kommit att betyda extra mycket: Viking, Voyager, Magellan, Galileo och Cassini.

De första lyckade landningarna på Mars genomfördes av de båda *Viking*-sonderna 1976. De båda sonderna lärde oss mycket om Mars och genomförde de första experimenten för att leta efter liv där. De båda landarna och de båda kretsarna, som också ingick i projektet, fortsatte att sända hem bilder och data i flera års tid. Flera senare Marssonder har också betytt mycket för utforskningen av Mars t.ex. kretsaren *Mars Reconnaissance Orbiter* som kom fram 2006 och sedan dess har tagit 100 000-tals detaljrika bilder av Mars, och de båda robotbilarna *Spirit* och *Opportunity* som landade i januari 2004 och rullade runt och undersökte Marsytan i flera år.

Dåvarande Sovjetunionen sände under 70-talet och början av 80-talet en serie landare till Venus i den s.k. *Venera*-serien. Dessa landare har tagit de enda bilderna vi har av Venus' yta. Den amerikanska rymdsonden *Magellan* kartlade i början på 90-talet i stort sett hela Venus med hjälp av radar.

De båda *Voyager*-sonderna sköts upp 1977 och genomförde tillsammans den första ordentliga utforskningen av Jupiter och Saturnus. *Voyager 2* fortsatte sedan och genomförde de första och hittills enda närstudierna av Uranus och Neptunus. De båda sonderna har fortsatt att sända hem data om förhållandena i de yttre delarna av solsystemet och förväntas fortsätta att göra det en bra bit in på 10-talet.

Voyager-sonderna var förbiflygare och följdes av var sin kretsare till Jupiter och Saturnus. *Galileo* studerade Jupiter och dess månar i 8 års tid mellan 1995–2003 och släppte ner en sond som undersökte Jupiters atmosfär. *Cassini* anlände till Saturnus 2004 för ett uppdrag som ska pågå till 2017. *Cassini* hade också med sig en europeisk sond, *Huygens*, som i januari 2005 dök genom Titans atmosfär och blev den första rymdsond som landat på en annan måne.

Den europeiska *Giotto*-sonden blev 1986 den första farkost som tagit detaljerade närbilder av en kometkärna när den passerade drygt 500 km från Halleys komet. 2004

lyckades den amerikanska *Stardust* fånga in stoftpartiklar från kometen *Wild 2*. En kapsel med det infångade kometmaterialet landade på jorden i januari 2006.

Nya teleskop —

framtida ögon mot rymden

Det finns många nya teleskop på astronomernas ritbord. En del av dem är stora monsterteleskop med 40 meter stora optiska speglar och gigantiska radioteleskop som ska täcka en kvadratkilometer.

Optiska astronomer har planer på att börja bygga optiska teleskop som är betydligt större än dagens största teleskop. Det finns flera förslag på teleskop vars huvudspeglar har diametrar mellan 25 och 40 meter, och tre av dessa projekt är tänkta att börja byggas under 10-talet. Störst av dem är *European Extremely Large Telescope* som ska byggas i Chile av ESO, det Europeiska SydObservatoriet. Sådana gigantiska teleskop kommer att samla in upp till 25 gånger mer ljus än vad dagens största teleskop gör. Man hoppas att sådana teleskop ska kunna studera de första galaxerna och de första stjärnorna i universum. De skulle också kunna studera planeter runt andra stjärnor.

Två viktiga projekt för radioastronomer är *ALMA* och *SKA*. *ALMA* består av 66 stycken 7- och 12-metersteleskop för kortvägig mikrovågsstrålning som ska byggas på 5000 meters höjd i Chile. När de 66 teleskopen kopplats samman kommer de att fungera som ett teleskop som är 10 gånger större än något existerande teleskop för mikrovågsstrålning. *ALMA* är ett stort internationellt projekt i vilket Sverige också deltar. De första observationerna började under slutet av 2011 med de första 16 teleskopen, men det kommer att ta ett par år till innan alla teleskopen är på plats.

SKA är ett projekt för mer långvägig radiostrålning. Målsättningen är att bygga en uppsättning sammankopplade teleskop som tillsammans får en yta av en kvadratkilometer. Bygget av *SKA* kommer dock inte att starta förrän tidigast i slutet av 10-talet. Vissa delar av teleskopet kommer att placeras i Australien och andra i Sydafrika.

Det planeras också nya avancerade teleskop som ska skjutas upp i rymden. *Webb-teleskopet* är ett stort infrarödteleskop som ska ersätta rymdteleskopet *Hubble*. *Webb-teleskopet* har en 6,5-meters huvudspegel jämfört med 2,4 meter för *Hubble*, och ska vara mer fokuserat på infrarött ljus som inte går att observera från jordytan. Det europeiska *Gaia*-projektet ska mäta upp positionerna för en miljard stjärnor i Vintergatan och ge oss en kraftigt ökad förståelse för hur vår egen galax är uppbyggd. Flera olika

rymdteleskop kommer också att byggas för att leta efter planeter runt andra stjärnor. Förhoppningen är att dessa ska kunna hitta planeter av jordens storlek.

Framtida rymdprojekt —

nya spanare i rymden

Ett antal nya rymdsonder är antingen under byggnad eller redan på väg för att utforska andra himlakroppar i vårt solsystem. Under 10-talet kommer förutom några av planeterna även Ceres, Pluto, isdvärgar, kometer och asteroider att få besök från jorden.

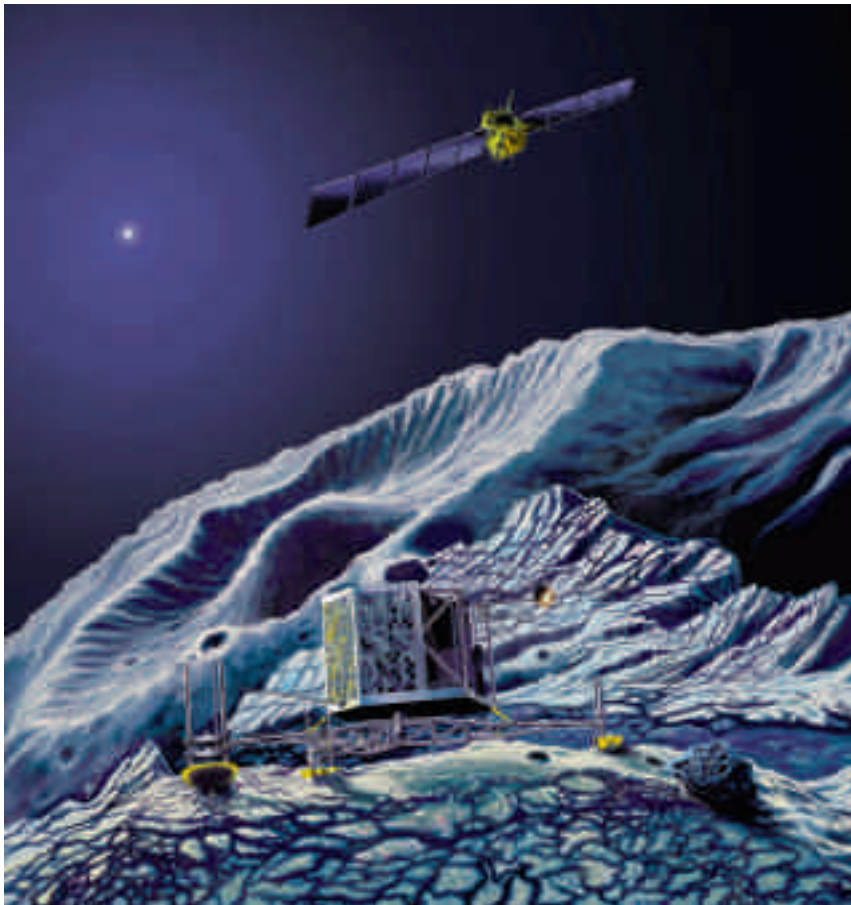
Utforskningen av Mars fortsätter. De sonder som skickats hittills har klart visat att det finns och har funnits vatten på Mars. Nästa fas är att undersöka om förhållandena på Mars är eller någon gång har varit sådana att liv skulle kunna existera på Mars. År 2012 landsattes *Curiosity*, en mer avancerad robotbil, och den ska följas 2013 av en kretsare som ska studera hur Marsatmosfären varierat genom tiderna. 2016 är det dags för en landare som ska undersöka Mars' inre och en kretsare som ska försöka ta reda på varför det finns metan i Mars' atmosfär, en gas som i jordens atmosfär huvudsakligen kommer från levande varelser och biologiska processer. Längre fram ska nya landare leta efter liv och försöka hämta hem prover till jorden.

Europa och Japan kommer 2014 att tillsammans skicka två kretsare som ska fortsätta kartläggningen av Merkurius, som inleddes 2011 när den amerikanska Messenger-sonden gick in i omloppsbana runt planeten. Juno sköts upp 2011 och ska komma fram till Jupiter 2016 för att studera Jupiters inre byggnad.

New Horizons, den första rymdsonden till Pluto, sköts upp 2006. Det långa avståndet gör dock att det dröjer ända till 2015 innan sonden kommer fram. *New Horizons* är en förbiflygare som kommer att fortsätta ut i Kuiper-bältet där den ska undersöka ytterligare en eller ett par av isdvärgarna som finns där.

Vår egen måne har i stort sett varit en bortglömd himlakropp för världens rymdfartsorganisationer sedan månlandningarna i början på 70-talet fram till slutet på 00-talet. Nu har emellertid intresset vaknat igen och inte bara USA och Europa utan även länder som Japan, Kina och Indien har nyligen skickat sonder till månen och har för avsikt att fortsätta att skicka farkoster under 10-talet.

En europeisk rymdsond, *Rosetta*, som sändes upp 2004 är på väg mot kometen *Churyumov-Gerasimenko*. Väl framme 2014 ska sonden gå in i omloppsbana runt kometen och släppa ner en liten landare för närstudier. Den amerikanska rymdsonden *Dawn* lämnade 2012 den tredje största asteroiden Vesta efter att ha legat i omloppsbana kring Vesta i ett års tid för att fortsätta mot den största asteroiden Ceres, som sonden 2015 ska lägga sig i bana kring. *OSIRIS-REx* är en sond som ska skickas iväg 2016 för att hämta hem prover från asteroiden *1999 RQ36*.



En illustration som visar hur det kan komma att se ut 2014 när den europeiska rymdsonden Philae just har genomfört den första landningen på en komet (som kallas Churyumov-Gerasimenko) medan moderfarkosten Rosetta kretsar ovanför. (Källa: Astrium, E. Viktor)

OBSERVATIONSTEKNIK

Fotografering — att göra bilder av himlen

Förr i tiden satt astronomerna uppe och stirrade i sina teleskop nätterna igenom. Numera överlåter astronomerna det jobbet till något som ser betydligt bättre än det mänskliga ögat: kameran.

Den första stora revolutionen inom astronomin var uppfinnandet av teleskopet år 1609, men runt 1850 gjordes två upptäckter som faktiskt skulle innebära en ännu större revolution för astronomin: utvecklandet av den moderna fotograferingskonsten och upptäckten av spektralanalysen. Fram till dess hade astronomer varit hänvisade till sin egen syn när de satt med ögonen klistrade vid teleskopen natt efter natt, men detta har sedan dess förändrats radikalt.

Nu för tiden sitter också astronomer uppe och observerar hela nätterna, men det är inte alls otroligt att de aldrig ens tittar i sina teleskop! Ögat har istället ersatts av betydligt bättre ljusdetektorer: fotografisk film eller elektroniska CCD-kameror.

Fotografisk film är egentligen *mindre* känslig för ljus än vad det mänskliga ögat är, men den har en annan egenskap som ändå gör den vida överlägsen: förmågan att *integrera* ljuset, d.v.s. att samla in och lägga ihop ljus under en längre tid. Om du står och tittar på ett hus, så ser du inte bättre och bättre ju längre stund du tittar — men det gör kameran. Alla fotografer vet att man kan ta bra bilder även om det är dåligt med ljus bara man använder en längre exponeringstid. Vid astronomisk fotografering är exponeringstiderna ofta många minuter och ibland flera timmar!

Fotografier har också andra fördelar. På ett fotografi är det lätt att jämföra kanske tusentals stjärnor med varandra och att mäta upp deras exakta position på himlen. Dessutom kan man spara fotografier och plocka fram dem igen om man vill göra nya undersökningar. Astronomer som studerar variabla stjärnor, d.v.s. stjärnor som ändrar

ljusstyrka, brukar exempelvis ofta gräva i arkiven för att få veta hur sådana stjärnor har betett sig tidigare.

En CCD-detektor är en elektronisk kamera av samma typ som finns i vanliga digitalkameror. Dess stora fördel är att den är ungefär 100 gånger känsligare för ljus än en fotografisk film. En bild som annars skulle kräva 100 minuters exponeringstid klarar därför en CCD-kamera av på en minut! Med en CCD hinner alltså astronomerna med betydligt mer per natt. CCD-tekniken har under de senaste decennierna helt ersatt den fotografiska filmen inom astronomin.

Att *integrera* strålning under en längre tid är lika viktigt vid astronomiska studier i andra våglängdsband. Radioastronomer får ofta mäta många timmar mot samma ställe på himlen innan de kan urskilja signalen de letar efter i bakgrundsbruset.

Spektralanalys —

att ta fingeravtryck av ljuset

Med ett prisma kan man dela upp synligt ljus i ett spektrum innehållande alla regnbågens färger. Genom att studera spektrat från en himlakropp kan man avslöja vad den består av, hur het den är och hur fort den rör sig. Spektralanalys är därför ett av astronomernas viktigaste verktyg.

Om det föremål som sänder ut ljus är en fast kropp, en vätska eller en gas under högt tryck, så sänds ljus ut på alla våglängder och vi ser ett sammanhängande s.k. *kontinuerligt* spektrum med alla färger från rött till violett. Exempel på ljuskällor som ger kontinuerliga spektra är glödlampor (en fast glödtråd), solen (gas under högt tryck) och månen (solljus som studsar på månytan).

En gas under lågt tryck beter sig emellertid på ett annorlunda sätt: den sänder nämligen bara ut ljus på några få bestämda våglängder, s.k. *spektrallinjer*. Exempel på sådana ljuskällor är lysrör och planetariska nebulosor.

Varje ämne har en egen uppsättning spektrallinjer som är unika för just det ämnet, ungefär som ett fingeravtryck är unikt för varje människa. Genom att se efter vad det finns för spektrallinjer kan man alltså ta reda på vad det finns för ämnen i en avlägsen stjärna.

Även i ett kontinuerligt spektrum kan man ofta se spektrallinjer, fast då är de inte lysande utan mörka. Det beror på att det då finns gas mellan ljuskällan och oss som plockar ut eller *absorberar* just dessa våglängder. I solens spektrum ser man en massa

sådana svarta linjer som orsakas av gaser i jordens atmosfär men också av tunn gas i den atmosfär som solen har ovanför sin yta.

Spektralanalys kan också användas till att mycket exakt mäta upp en himlakroppers hastighet, om än bara längs med riktningen bortåt—mot oss. Om himlakroppen rör sig mot oss kommer våglängden för alla spektrallinjer att minska p.g.a. *Doppler-effekten*, och om rörelsen är riktad bort från oss kommer våglängderna istället att öka. (Precis samma sak händer med ljudet från en ambulans som passerar på gatan.)

Genom att studera spektrallinjer noggrant och jämföra olika linjer med varandra kan man också få reda på tryck, temperatur och täthet i exempelvis ett gasmoln.

Spektrallinjer förekommer inte bara inom synligt ljus utan även i de andra våglängdsbanden. Radioastronomer ställer exempelvis in sina radiomottagare på just de våglängder inom mikrovågsbandet som svarar mot spektrallinjerna från viktiga molekylslag.

Polarisation —

att mäta hur ljuset svänger

Elektromagnetiska vågor kan svänga i olika plan. Genom att studera hur ljus och radiovågor svänger kan vi lära oss mer om t.ex. ytan på en asteroid eller magnetfältet runt en avlägsen stjärna.

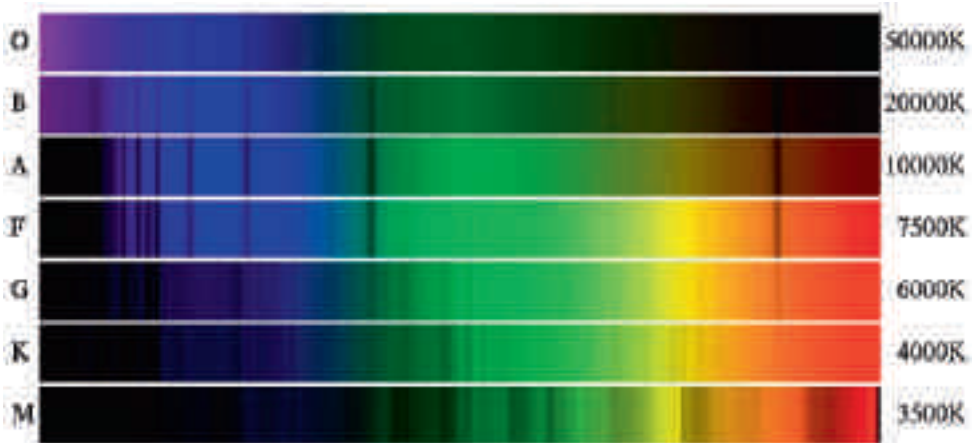
Ljus från solen är opolariserat, d.v.s. det svänger lika mycket i alla olika riktningar. När ljus reflekteras blir det mer eller mindre polariserat beroende på den reflekterande ytan. Ett exempel är solljus som reflekteras mot en vattenyta. En seglare som vill minska solblänket i vattnet kan därför använda polaroid-glasögon för att blockera det mesta av det reflekterade ljuset.

Ljus från stjärnor borde normalt vara opolariserat, men 1949 uppmättes för första gången ljus från stjärnor som var delvis polariserat. Stjärnljus kan nämligen bli delvis polariserat när det växelverkar med små stoftkorn som finns utspridda i rymden mellan stjärnorna. Magnetfält skapar också polarisation, och det finns stjärnor med kraftiga magnetfält som sänder ut polariserat ljus.

Partiklar som rör sig med extremt höga hastigheter i starka magnetfält sänder ut elektromagnetisk strålning, och denna strålning är alltid polariserad. Exempel på astronomiska objekt som sänder ut sådan strålning är pulsarer, jetstrålar som skjuter ut från ansamlingskivan runt svarta hål och "radio-öronen" runt aktiva galaxer.



En 7,5-timmars exponering med kameran riktad mot södra himmelspolen och ESOs 3,6-meterteleskop i förgrunden. Stjärnspåren visar hur stjärnorna flyttar sig över himlen medan jorden roterar. (Källa: ESO, A. Santerne)



Typiska spektra från olika sorters stjärnor. De svarta absorptionslinjerna orsakas av olika ämnen i stjärnornas atmosfärer. Klassificeringen görs beroende på vilka spektrallinjer som syns. Stjärnornas spektralklass står till vänster (solen är en G-stjärna) och deras typiska yttemperatur (i Kelvin) till höger. (Källa: NASA)

Polarisation kan också användas för att undersöka magnetfält i rymden. När polariserad strålning passerar genom ett magnetfält förändras polarisationen genom en process som kallas *Faraday-rotation*. Genom att mäta upp Faraday-rotationen kan man bestämma magnetfältets styrka och riktning.

Radarastronomi —

att studsa radiovågor mot himlakroppar

Med hjälp av kraftiga radiosändare kan man skicka en radiopuls mot en annan himlakropp i vårt solsystem och sedan studera ekot. Radarastronomin har avslöjat hur ett antal små asteroider som kommer nära jorden ser ut. Radarastronomin har också kartlagt den okända sidan av Merkurius, innan rymdsonder kunde fotografera den, och upptäckt is vid Merkurius' poler.

Radioteleskop är normalt passiva anläggningar som bara tar emot den ytterst svaga radiostrålning som kommer från rymden. Det finns dock några få radioteleskop som också är utrustade med kraftfulla radiosändare, bl.a. Arecibo-teleskopet i Puerto Rico som har en sändare med en effekt runt 1 MW. Radarastronomi bedrivs genom att skicka ut en radiosignal mot en himlakropp i solsystemet och sedan studera radarekot som kommer tillbaka.

Genom att mäta upp hur lång tid det tar innan ekot kommer kan man göra mycket noggranna mätningar av avståndet till himlakroppen i fråga. Radarastronomin har därför varit mycket betydelsefull för att fastställa avstånden inom solsystemet. Den har också använts för viktiga upptäckter som att bestämma Merkurius' och Venus' rotationstider.

Genom att detaljstudera ekot kan man också göra bilder av himlakropparna man studerar. Radarstudier av små asteroider som kommer nära jorden har gett oss bilder som nästan ser ut som fotografier. Sådana bilder har avslöjat att det finns asteroider med mycket märkliga former som exempelvis 216 Kleopatra som ser ut som ett ben som en hund tuggat på. De har också visat att det är ganska vanligt att asteroider håller sig med en måne.

Radarekot ger oss också ledtrådar om hur ytan som reflekterar radiostrålningen är uppbyggd. Radarstudier av Merkurius har avslöjat att det finns runda områden med ett material som reflekterar radiostrålning på samma sätt som is. Eftersom man bara

har sett sådana områden vid Merkurius' poler tror man att det är fråga om is som ligger i djupa kratrar dit solens strålar aldrig når.

Fantastiska fakta:

Radiosändaren vid Arecibo-teleskopet är så kraftfull att om en utomjordisk civilisation på andra sidan Vintergatan hade ett motsvarande teleskop så skulle de kunna ta emot signalen från Arecibo.

Avstånd i rymden —

ett kosmiskt detektivarbete

Att mäta avstånd i rymden är svårt. Astronomerna har därför hittat på en lång rad metoder för att kunna luska fram ett svar ur de få ledtrådar som deras observationer ger.

Att mäta avstånd till olika himlakroppar ute i rymden är ett svårt men viktigt problem, om vi ska förstå hur universum är uppbyggt. Det är alldeles omöjligt att direkt mäta avståndet till en fjärran kvasar — med *direkta* mätmetoder kan vi bara mäta avstånd ut till relativt närbelägna stjärnor.

Istället får man ta till en rad *indirekta* mätmetoder. De närbelägna stjärnorna kan delas in i olika klasser beroende på sina egenskaper. Om man antar att mer avlägsna stjärnor beter sig som stjärnor i vår närhet kan man jämföra de avlägsna stjärnorna med de här klasserna och sedan utnyttja den kunskap vi har om de närbelägna stjärnornas ljusstyrka för att beräkna avståndet till deras mer avlägsna kusiner.

På så vis kan man mäta avstånd ut till de närmsta granngalaxerna. I galaxerna hittar man sedan andra typer av himlakroppar som man kan se på ännu större avstånd, och på så vis bygger man upp en kedja som fungerar inom olika avståndsintervall ända tills man når ut till de mest avlägsna kvasarerna i universum.

Felet i mätningarna ökar naturligtvis med avståndet eftersom ett fel tidigt i kedjan fortplantar sig hela vägen. Därför försöker astronomerna hitta på så många olika sätt som möjligt att mäta avstånd för att kunna dubbelkolla sina resultat.

Många avståndsmätningar bygger på att man mäter upp exempelvis en stjärnas ljusstyrka på himlen och att man sedan på något sätt kan räkna ut hur ljusstark stjärnan

egentligen är. När man vet hur mycket ljus stjärnan sänder ut och hur mycket ljus vi tar emot kan man lätt räkna ut avståndet till den.

Ljusstyrkan avtar med avståndet i kvadrat. Det betyder att om man ser två stjärnor som egentligen är lika ljusstarka, men där den ena befinner sig tre gånger längre bort, så kommer den mer avlägsna stjärnans ljusstyrka på himlen bara att vara en niondel (eftersom tre i kvadrat är nio).

Ett stort steg framåt kommer att tas på 10-talet när *Gaia*, ett europeiskt rymdteleskop, ska mäta upp avståndet till upp emot 1 miljard stjärnor i hela Vintergatan med hjälp av trigonometriska parallaxer.

Här följer ett urval olika metoder som astronomerna använder för att mäta avstånd i universum:

- Inom solsystemet kan man använda **radar** och bestämma avstånd med en noggrannhet bättre än en meter. Man skickar iväg radiovågor och mäter helt enkelt upp hur lång tid det tar innan radarekret kommer tillbaka.
 - ★ Fungerar för avstånd inom solsystemet.
- Till närbelägna stjärnor kan man mäta avståndet genom att utnyttja den **trigonometriska parallaxen**. När jorden rör sig i sin bana runt solen ser närbelägna stjärnor ut att flytta sig lite på himlen i förhållande till avlägsna stjärnor. Storleken på den förflyttningen avslöjar stjärnans avstånd.

(Du kan själv se samma effekt om du håller upp ett finger framför dig och omväxlande tittar på det med ett öga i taget. Fingret ser då ut att flytta sig i förhållande till bakgrunden.)

 - ★ Fungerar för avstånd ut till 500 ljusår.
- Genom att **studera spektra** för mer avlägsna stjärnor och jämföra med spektra från närbelägna stjärnor kan man räkna ut hur ljusstarka dessa avlägsna stjärnor egentligen är, och då kan man också räkna ut avståndet till dem.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 100 och 100 000 ljusår.
- Hos vissa pulserande variabla stjärnor finns det ett samband mellan hur ljusstarka de är och längden på ljusvariationen. Genom att mäta tiden för ljusvariationen får man reda på ljusstyrkan och därefter kan man räkna ut avståndet.

Den viktigaste typen kallas **Cepheider** och de är tillräckligt ljusstarka för att vi ska kunna se dem i de närmaste granngalaxerna.

 - ★ Fungerar för avstånd mellan 1 000 ljusår och 70 miljoner ljusår.

- De **ljusstarkaste stjärnorna** i Vintergatan verkar ha ungefär samma ljusstyrka. Om vi antar att detsamma gäller i andra galaxer kan vi titta efter motsvarande stjärnor där och uppskatta avståndet dit.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 150 000 och 500 miljoner ljusår.
- För galaxer som ligger längre bort kan vi inte se enskilda stjärnor. Man kan då jämföra **klotformiga stjärnhopar** som innehåller miljontals stjärnor och gissa att de största klotformiga stjärnhoparna i andra galaxer är ungefär lika ljusstarka som de största i vår Vintergata.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 2 miljoner och 2 miljarder ljusår.
- En **supernova** lyser ofta lika starkt som alla stjärnor i en hel galax tillsammans. Supernovor kan därför ses väldigt långt ut i universum. Vissa typer av supernovor har ungefär samma ljusstyrka och kan därför användas som avståndsmätare, men tyvärr exploderar bara någon enstaka supernova per århundrade i en normal galax, så man kan få vänta länge om man vill mäta avståndet till en viss galax.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 30 miljoner och 12 miljarder ljusår.
- **Tully–Fisher–metoden** utnyttjar det faktum att det verkar finnas ett samband mellan den samlade ljusstyrkan hos en hel galax och bredden på en spektrallinje som sänds ut från atomär vätgas. Spektrallinjen ligger på våglängden 21 centimeter och kan lätt mätas med ett radioteleskop.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 30 miljoner och 3 miljarder ljusår.
- Genom att studera **galaxernas spektra** kan man liksom för stjärnorna dela in galaxerna i olika klasser. Utifrån denna klassificering kan man sedan uppskatta avlägsna galaxers ljusstyrka och sedan räkna ut avståndet.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 50 miljoner och 1,5 miljarder ljusår.
- I närbelägna galaxhopar verkar de **största galaxerna** vara ungefär lika stora. Om man antar att det också gäller för avlägsna galaxhopar, kan man bestämma avstånd till galaxhopar som ligger mycket långt bort.
 - ★ Fungerar för avstånd mellan 60 miljoner och 8 miljarder ljusår.
- Om man antar att universum expanderar enligt **Hubbles lag**, kan man räkna om den rödförskjutning man ser i ljuset från avlägsna galaxer till avstånd. Metoden fungerar ut till de allra mest avlägsna himlakropparna i universum.
 - ★ Fungerar för avstånd från 100 miljoner ljusår och utåt.

SVENSK ASTRONOMI

Svensk astronomi —

studier av allt mellan himmel och jord

I Sverige bedrivs astronomisk forskning vid ett flertal universitet. Svenska astronomer är aktiva inom många olika grenar av astronomin; allt från studier av norrsken och rymden runt vårt jordklot till galaxkollisioner och fjärran kvasarar.

Astronomer vid Göteborgs universitet, Chalmers tekniska högskola och Onsala rymdobservatorium ägnar sig åt att studera hur den interstellära gasen är uppbyggd och fördelad, hur gamla stjärnor dör, hur galaxer är uppbyggda och utvecklas, hur kollisioner och vågor av stjärnbildning förändrar galaxer samt hur ansamlingskivorna runt svarta hål fungerar.

Vid Lunds universitet bedrivs huvudsakligen forskning om stjärnor. Viktiga forskningsområden är hur stjärnor och planeter föds och utvecklas i Vintergatan och de Magellanska molnen, liksom hur stjärnor är fördelade, och hur de rör sig och växelverkar med varandra i stjärnhopar och i vår galax som helhet.

Stockholms universitet och KTH har ett brett forskningsprogram som omfattar studier av fenomen på solen, hur stjärnor och planetsystem bildas, hur stjärnor dör, våldsamma fenomen som supernovaexplosioner och gammablixtar, skivgalaxers uppbyggnad och utveckling samt modellering av astrofysikaliska processer.

Astronomer vid Uppsala universitet ägnar sig åt studier av asteroider, andra galaxer och stjärnatmosfärer. Ett flertal projekt går ut på att mäta ljusvariationer hos asteroider för att se hur de roterar, analysera vad de består av och kartlägga deras banor. Flera viktiga galaxkataloger har producerats i Uppsala. Aktuella forskningsfält är stjärnbildande galaxer, stjärnors utveckling och exoplaneter.

Institutet för rymdfysik som har verksamhet i Kiruna, Umeå, Uppsala och Lund bedriver bland annat forskning inriktad på solvinden, hur den skapas, hur den påverkar rymden runt jorden och andra himlakroppar i solsystemet och hur den skapar norrsken.

Man har också skickat svenskbyggda instrument till andra planeter ombord på europeiska rymdsonder.

Sverige har också en rymdbas kallad *Esrang* belägen utanför Kiruna, som används till att skicka upp ballonger och sondraketer för kortare skutt ut i rymden.

Onsala rymdobservatorium —

den svenska radioastronomins hemvist

Svensk radioastronomi föddes på Onsala rymdobservatorium och efter mer än ett halvsekels verksamhet är observatoriet fortfarande Sveriges radioastronomiska centrum. Astronomer vid observatoriet studerar bland annat sammansättningen på gasen mellan stjärnorna, hur fjärran galaxer kolliderar och hur avlägsna kvasarer fungerar.

Onsala rymdobservatorium är den svenska nationella anläggningen för radioastronomi och är belägen på Onsalahalvön ca 45 km söder om Göteborg. Anläggningen grundades 1949 av Olof Rydbeck, som var professor i radioelektronik vid Chalmers Tekniska Högskola. Rydbeck åkte över till Norge och fick tag i några 9 meter stora radarantennor som tyskarna lämnat kvar efter ockupationen under andra världskriget. Dessa antenner fraktades till observatorieområdet, som donerats av Victor Hasselblad, och byggdes om för att kunna användas för astronomisk forskning.

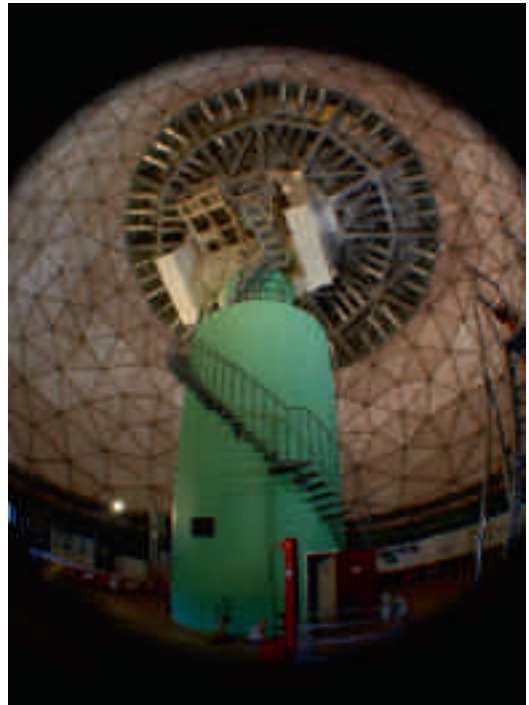
Det första stora radioteleskopet, 25-metersteleskopet, byggdes 1963 och användes till en början också av televerket för att experimentera med kommunikation via telesateliter. Bland annat togs de första direktsända TV-bilderna från USA emot i november 1964. Teleskopet används för våglängder mellan 5 cm och 4 dm.

Onsals andra stora teleskop, 20-metersteleskopet, byggdes 1975 och används för kortare våglängder från 3 mm upp till 14 cm. Kortare våglängder kräver bättre precision på teleskopet och 20-metersteleskopet är därför inneslutet i en *radom*, en stor vit ”boll” av glasfiberväv som skyddar teleskopet från väder och vind.

Onsala tredje stora teleskop, *LOFAR-stationen*, byggdes 2011 och ligger på ett fält utanför observatorieområdet. Det är en del av ett stort europeiskt teleskopprojekt där man samkör 48 LOFAR-stationer för att skapa världens största radioteleskop för



Ovan: När 25–meterteleskopet byggdes 1963, så var det det första stora radioteleskop som byggts i Sverige. Teleskopet används idag huvudsakligen för internationella projekt där man samkör radioteleskop i olika länder. (Källa: M. Lerner)



Höger: "Vad finns det inne i den stora vita bollen?" undrar alla besökare som kommer till Onsala rymdobservatorium. Svaret är: vårt 20–meterteleskop som byggdes 1975. Radomen, som den vita bollen kallas, är till för att skydda teleskopet mot väder och vind. Det här fotot är taget inne i radomen med ett extremt vidvinkelobjektiv som förvränger perspektiven. Vi ser den grönmålade pelaren som bär upp teleskopet och baksidan av teleskopets 20 meter stora parabol. (Källa: M. Lerner)

metervågor. Teleskopet ser inte ut som ett traditionellt radioteleskop utan består av 96 stycken fyrkantiga lådor klädda med svart plast och 96 stycken metallpinnar som var och en står på ett fyrkantigt nät av armeringsjärn. Teleskopet fungerar för våglängder mellan 1,25 och 10 meter.

Astronomer vid observatoriet studerar hur den interstellära gasen är fördelad i rymden, vad den består av och vilka fysikaliska förhållande som råder i gasmolnen. Man studerar också galaxernas uppbyggnad och hur galaxer utvecklas med tiden, bl.a. genom växelverkan och kollisioner med andra galaxer. Ett annat forskningsfält är studier av kvasarer och aktiva galaxer där man försöker förstå hur gas faller in mot de centrala svarta hålen och hur jetstrålar från ansamlingsskivorna skapas.

Onsala rymdobservatorium används inte enbart för astronomisk forskning. Geofysiker använder teleskopen för att med hjälp av avlägsna kvasarer mäta upp hur jordskorpan förändras. Forskare vid Onsala har i årtionden mätt hur jordens kontinentalplattor långsamt rör sig i förhållande till varandra och hur Skandinavien långsamt höjer sig från den nedtryckning som den senaste inlandsisen orsakade. Observatoriet är också utrustat med en radioaeronomistation som används för att övervaka viktiga växthusgaser i jordens atmosfär.

Onsala rymdobservatorium hör till Institutionen för rymd- och geovetenskap på Chalmers och forskare vid denna institution håller också på med fjärranalys, d.v.s. studier av jorden från satelliter, samt studier av atmosfären och miljöförändringar. Dessutom bedrivs projekt för att utveckla ny, mer avancerad forskningsteknik.

Fantastiska fakta:

Forskare vid Onsala rymdobservatorium har i decennier använt sig av avlägsna kvasarer för att mäta upp avståndet mellan Onsala och teleskop i andra världsdelar med millimeterprecision. Bland annat kan de se att avstånden till teleskop i USA ökar med 17 millimeter om året p.g.a. att jordens kontinentalplattor flyttar på sig.

Svenska teleskop —

våra ögon och öron mot kosmos

Svenska astronomer är delägare i teleskop på flera ställen runtom i världen. Sedan 2001 kretsar till och med ett svenskt teleskop i bana runt jorden.

Det finns gamla historiska observatorier i Lund, Uppsala, Stockholm och Saltsjöbaden som drivits av astronomer vid universiteten. Tyvärr går dessa inte längre att använda för astronomisk forskning p.g.a. all belysning som finns i deras omgivningar. Ljuset från alla Sveriges gatlampor och det dåliga vädret har gjort att svenska astronomer placerat sina teleskop utomlands. Svenska solforskare har ett avancerat 1-meters solteleskop på Kanarieöarna och Sverige är en av huvudägarna av NOT, det Nordiska Optiska Teleskopet, som är ett 2,5-meterteleskop, också det beläget på Kanarieöarna. Sverige är dessutom ett av medlemsländerna i ESO, det Europeiska Sydobservatoriet, som driver flera observatorier i Chile, däribland Paranal som har världens största optiska teleskop.

Svenska radioastronomer har fortfarande tre teleskop på svensk mark: de tre teleskopen på Onsala rymdobservatorium. 25-meterteleskopet byggdes 1963 och används för centimetervågor medan 20-meterteleskopet i sin karaktäristiska vita radom byggdes 1975 och används för millimetervågor. Ett tredje teleskop för metervågor anlades under 2011 och är en del i ett internationellt projekt kallat *LOFAR*.

Sverige byggde 1987 ett radioteleskop för millimetervågor kallat *SEST* i Chile. Detta teleskop stängdes dock 2003 för att Sverige istället skulle kunna delta i ett nytt projekt lett av tyska astronomer. Projektet kallas *APEX* och består av ett 12-metersteleskop för submillimetervågor, d.v.s. våglängder mindre än 1 mm. *APEX* byggdes också i Chile och invigdes hösten 2005. Sverige deltar också i *ALMA-projektet*, som är ett internationellt projekt för att bygga ett stort komplex, också det i Chile, bestående av 66 stycken *APEX*-liknande teleskop. De första observationerna med *ALMA* kom igång hösten 2011.

Sverige har också byggt ett litet 1,1-meterteleskop kallat *Odin* som sköts upp i rymden 2001 för att kunna studera våglängder som inte kan tränga igenom jordens atmosfär. Sverige har också deltagit i det betydligt större *Herschel-teleskopet* som sköts upp 2009.



Ovan: APEX är ett svensk–tysk–europeiskt samarbete. Det är ett 12–meterst teleskop som byggts på 5 100 meters höjd i de chilenska Anderna och som regelbundet används av svenska astronomer. Det krävs en omfattande hälsoundersökning för att få tillåtelse att besöka teleskopet p.g.a. den höga höjden. De flesta observationer görs dock från ett kontrollrum som ligger på betydligt behagligare 2 500 meters höjd. (Källa: M. Lerner)



Vänster: Svart plast, rostiga armeringsjärn och ståltrådar utgör de huvudsakliga konstruktionsmaterialen i LOFAR, Sveriges nyaste radioteleskop, som byggdes 2011. Den avancerade tekniken ligger inte i antennerna utan i de avancerade datorer och programvara som behövs för att analysera observationerna som görs med teleskopet. Varje dag samlar LOFAR in lika mycket data som ryms på 7 000 DVD–skivor. (Källa: M. Lerner)

LOFAR —

ett nytt svenskt radioteleskop

På ett fält utanför Onsala rymdobservatorium finns det en massa svarta plastklädda lådor och en massa pinnar som sticker upp ur armeringsjärn. Det hela ser inte speciellt högteknologiskt ut, men det är Sveriges nyaste radioteleskop.

För första gången sedan 1976 har det byggts ett nytt radioteleskop i Sverige. Det är Onsala rymdobservatorium som 2011 byggt en *LOFAR-station* — ett teleskop som utgör en del av ett nytt europeiskt nätverk för att studera långvågig radiostrålning från rymden.

LOFAR är ett holländskt initiativ för att utveckla den långvågiga radioastronomin. Totalt har det byggts 48 LOFAR-stationer: 40 i Holland, fem i Tyskland och en var i Storbritannien, Frankrike och Sverige, men det är möjligt att fler länder kan komma att ansluta sig till projektet.

Varje LOFAR-station kan visserligen användas var för sig, men den stora vinsten får man när man länkar ihop alla stationerna till ett enda teleskop. Då blir de mer avlägsna stationerna, som den svenska, extra viktiga för att man ska få en bättre upplösning, d.v.s. för att teleskopet ska kunna ”se” mindre detaljer på himlen. Till sammans har de 48 stationerna en något större antennyta än jätteteleskopet i Arecibo, och LOFAR kan därför sägas vara världens största radioteleskop.

LOFAR-stationerna används för våglängder mellan 1,25–10 meter och består av många små enkla antenner. Det finns två typer av antenner: de för kortare våglängder är monterade i stora frigitblock som täcks med svart plast, och de för längre våglängder är monterade ovanför fyrkantiga armeringsjärn. Onsala-stationen har 96 antenner av varje sort.

Den avancerade tekniken ligger inte i antennerna utan i de superdatorer som används för att analysera signalerna och göra bilder utav dem. Enbart den svenska stationen genererar varje dag lika mycket data som 7000 DVD-filmer, och all denna data skickas ner till en superdatorcentral i Holland via ett speciellt höghastighetsinternet.

Teleskopet har inga rörliga delar utan varje antenn tar emot radiostrålning från hela himlen. Vilken del av himlen man faktiskt observerar bestäms av hur man lägger ihop signalerna från de olika antennerna. Genom att använda flera datorer som kombinerar signalerna på olika sätt kan LOFAR studera olika delar av himlen samtidigt.

Viktiga forskningsprojekt som LOFAR ska användas till är att studera pulsarer och svarta hål, spana efter tillfälliga radiokällor (t.ex. stjärnor som får ett plötsligt utbrott) samt studera solen och solvinden. Man hoppas också kunna studera extremt avlägsna galaxer och undersöka hur universum var beskäffat när de första stjärnorna och galaxerna bildades.

Sverige i rymden —

blågula satelliter

Sedan 1986 har Sverige byggt och skickat upp en handfull forsknings satelliter. De har undersökt förhållandena i rymden, mätt jordens magnetfält, studerat norrsken, mätt ozonhalten i atmosfären och letat efter vatten och syre i gasmolnen mellan stjärnorna.

Sveriges första satellit *Viking* sköts upp tillsammans med den fransk-svenska fjärranalys satelliten *Spot-1* i februari 1986 från den europeiska raketbasen Kourou i Franska Guyana. Huvudsyftet med *Viking* var att studera förhållandena i rymden som ger upphov till norrsken. Satelliten var byggd för att göra mätningar i 8 månader, men fungerade dubbelt så länge.

Även de efterföljande fyra forsknings satelliterna har varit byggda för att studera norrsken och fördelningen av partiklar och magnetfält runt jorden. En av dem, *Munin*, vägde inte mer än 6 kilo och var byggd av studenter i Kiruna. Samtliga svenska satellitprojekt har varit billiga i förhållande till vad liknande projekt kostat i andra länder.

Den första svenska satellit som inte ägnat sig åt norrsken och rymdfysik sändes upp från en rysk raketbas i 2001. Satelliten, som kallas för *Odin*, var världens första satellit avsedd både för atmosfärforskning och astronomisk forskning. Den var utrustad med ett 1,1 meter stort radioteleskop byggt för våglängder som inte tar sig igenom jordens atmosfär. När teleskopet riktades ut i rymden kunde det leta efter vatten och syre i den interstellära gasen, och när det riktades mot jorden kunde det studera ozon och andra gaser i jordens atmosfär.

Sverige har också byggt en månsond kallad *SMART-1* åt den europeiska rymdflygstyrelsen ESA. Den sköts upp i september 2003 och använde sig av en eldriven jonmotor för att ta sig till månen där den har kartlagt månytan i infrarött ljus och studerat dess sammansättning med en röntgenspektrometer.

Sverige deltar också i rymdprojekt som leds av andra länder, främst genom samarbeten inom ramen för den europeiska rymdflygstyrelsen ESA. Sverige har t.ex. bidragit med utrustning till ESAs stora rymdteleskop kallat *Herschel*. Svenska instrument har också funnits ombord på rymdsonder som skickats till Venus och Mars.

Den följande tabellen innehåller samtliga svenska forsknings satelliter samt den svenskbyggda månsonden SMART-1:

Viking	22 feb 1986	studerade norrsken och de processer som producerar norrskenet
Freja	6 okt 1992	efterföljare till Viking specialiserad på jonosfären och den inre magnetosfären
Astrid-1	24 jan 1995	studier av plasma och neutrala partiklar kring jorden (delvis misslyckad då instrumenten ombord slutade fungera 1 mars 1995)
Astrid-2	10 dec 1998	detaljerade studier av norrskenet och dess uppkomst
Munin	21 nov 2000	nanosatellit byggd av studenter i Kiruna för att studera partiklar
Odin	20 feb 2001	kombinerad satellit för att studera atmosfären och studera interstellär gas
SMART-1	29 sep 2003	svenskbyggd månsond för att testa ny teknik och kartlägga månen i röntgen och infrarött ljus
Mango & Tango	15 jun 2010	två satelliter för att testa ny teknik, ett nytt slags raketbränsle och formationsflygning

Odin —

ett svenskt teleskop i rymden

*År 2001 placerade Sverige **Odin**, en satellit med ett litet radioteleskop i rymden för att kunna studera våglängder som inte tränger igenom jordens atmosfär. Fast astronomerna är inte ensamma om att använda Odin — halva tiden används den av atmosfärsforskare för att studera ozonlagret och gaser i jordens atmosfär, bl.a. sådana som förstör ozonskiktet.*

Den 20 februari 2001 sköts den svenskbyggda satelliten *Odin* upp från den ryska raketbasen Svobodny. Satelliten är försedd med ett litet radioteleskop vars diameter inte är större än en stor parabol för att ta emot satellit-TV: 1,1 meter. Det som gör teleskopet unikt är att det är byggt för att studera radiostrålning på våglängder som inte tar sig igenom jordens atmosfär. Dess viktigaste uppgift har varit att leta efter vatten och syre i rymden.

Odin har framgångsrikt använts för att kartlägga förekomsten av vatten i den interstellära gasen. Odin har också studerat vatten i Mars' atmosfär, i ett antal kometer

och i höljena runt en del gamla stjärnor. Förutom vatten har Odin också detekterat ammoniak och ett 30-tal andra molekyler i interstellära gasmoln i stjärnbilden Orion.

En av de största överraskningarna var att Odin länge *inte* lyckades hitta syre (O_2) i rymden. Kolmonoxid (CO) är en vanligt förekommande molekyl och alla hade förväntat sig att syre skulle vara lika vanligt förekommande. Efter ett intensivt sökande har Odin slutligen hittat små mängder syrgas i den interstellära rymden, närmare bestämt i ett relativt närbeläget moln bestående av kall interstellär gas. Varför syrgas är så sällsynt i rymden är fortfarande ett mysterium.

Flera andra länder deltar i Odin-projektet: Finland, Frankrike och Kanada. Odin byggdes av Rymdbolaget medan stora delar av de avancerade radiomottagarna byggdes vid Chalmers. Forskare vid Onsala rymdobservatorium har haft ett stort ansvar både för planeringen av Odin och för användandet av satelliten, som är det hittills mest framgångsrika svenska satellitprojektet.

Odin har fungerat i mer än 10 år. Under de senaste åren har satelliten inte längre använts så mycket av astronomerna utan fokus har istället lagts på atmosfärforskningen. Istället har astronomerna använt sig av det betydligt större *Herschel*-teleskopet, som är ett europeiskt radioteleskop med svenskt deltagande, som sköts upp 2009.



En illustration av den svenska satelliten Odin i rymden. Odin har ett 1,1-meters radioteleskop som kan användas både för att studera jordens atmosfär och objekt ute i rymden. Satelliten sköts upp i februari 2001. (Källa: SSC)

Efterord

Om att hitta fakta — och undvika nonsens

För den som vill veta mer och se fler bilder är det bara att kasta sig ut på internet. Det finns åtskilliga bra hemsidor med astronomiska nyheter, bilder och fördjupningar. Onsala rymdobservatorium finns naturligtvis på internet; vår hemsida hittar du på <http://www.chalmers.se/rss/oso-sv>, och vi finns också på *Facebook* och på *Twitter* som *OnsalaRymd*. Det finns också många andra bra hemsidor gjorda av andra observatorier, astronomiintresserade och forskningsorganisationer som ESO, ESA och NASA, och det finns många bra artiklar på *Wikipedia*.

Internet är ett bra hjälpmedel. Nu kan vem som helst ladda ner de senaste Marsbilderna bara någon minut efter att de skickats till jorden. Vi lever i en ny era där det mesta finns tillgängligt bara några få musklick bort. Jag har själv använt mig mycket av Wikipedia när jag har gjort den här revisionen av ”*Populärt om astronomi*”. Det finns mycket bra material där — men det gäller att komma ihåg att allt som finns på nätet inte är sant; lika lite som allt som står i tidningen är sant! Det är viktigt att dubbelkolla fakta, så det gäller att hitta trovärdiga och oberoende källor. I mitt arbete med den här boken handlar det mycket om hemsidor för observatorier, universitet och rymdfartsorganisationer. I en del fall när jag verkligen har velat gå till källan, har jag letat upp och läst ursprungsartiklarna som publicerats i vetenskapliga tidskrifter.

Jag har också hittat felaktigheter i Wikipedia och när jag sedan går till andra sidor på internet så hittar jag samma felaktigheter, därför att de har kopierat sin information från Wikipedia eller tvärtom. Tyvärr är det ju så att när man repeterar en lögn tillräckligt många gånger, så börjar folk tro att det är en sanning. En av internets baksidor är därför att det har blivit mycket lättare att sprida rykten, moderna myter och andra osanningar. Man skulle kanske naivt kunnat tro att den ökande tillgången till kunskap skulle göra det svårare för vidskepelse och missuppfattningar att breda ut sig, men tyvärr så underlättar internet och andra medier också spridningen av rent nonsens och allmänna dumheter. Ett exempel är att domedagsprofeterna i dessa moderna tider blåser i sina basuner som aldrig förr. Det sorgliga är att så många människor går på deras historier — speciellt som det oftast inte krävs speciellt stora ansträngningar för att avslöja bristerna i argumentationen. För det mesta krävs det inte mer än att man letar upp en mer seriös hemsida ...

Bara under det senaste året har det florerat flera domedagsrykten. Först skulle det faktum att fullmånen passerade jorden lite närmare än den brukar göra förorsaka stormar, flodvågor, jordbävningar, vulkanutbrott och allskönans naturkatastrofer. Naturligtvis hände ingenting speciellt, men det dröjde inte många månader innan en nyupp-

täckt komet, *Elenins komet*, skulle krocka med jorden. Problemet var bara att kometen låg i en bana som aldrig ens kom i närheten av jordklotet ...

Årets stora domedagshändelse är att Mayaindianernas kalender tar slut den 21 december 2012 och det är domedagsprofeterna inte sena att utnyttja. Mayafolket var ju inga dumbommar, så det faktum att deras kalender upphör nu måste ju betyda att de kände till den annalkande domedagen. Exakt vad som ska hända råder det delade meningar om, men kosmiska kollisioner är ju alltid effektfulla, så en ledande idé är att en okänd himlakropp, som fått namnet *Nibiru*, ska komma in från solsystemets utkant och braka rakt in i jordklotet. Saken blir ju inte bättre av att dagens astronomer (och jag måste väl själv vara inkluderad i den gruppen) vägrat att lyssna på alla varningar eftersom vi alla är sådana envisa besserwissers att vi inte kan erkänna att det finns himlakroppar som vi inte känner till, men som mayafolket hade kunskap om.

Finns det då någon anledning till oro? Personligen tror jag att jordens undergång inträffar 10 dagar senare. Jag har nämligen tre stycken kalendrar och alla tre slutar helt mystiskt den 31 december 2012 — varför? *Det måste vara så att almanacksförlagen vet att jordens undergång inträffar den 31 december och det är därför de inte har brytt sig om fortsättningen!!!*

Jag raljerar, givetvis, men min uppfattning om slutet på mayakalendern är att det i stort sett är detsamma som ett årsskifte — en tidsålder är slut; det är dags att vända blad och fortsätta med nästa. Så vitt jag vet lämnade mayafolket inga förutsägelser om jordens undergång. Tvärtom finns det profetior om saker som ska hända under kommande kalendercykler, vilket ju snarare visar att mayafolket inte alls förväntade sig någon undergång.

Avfärdar jag mayafolkets astronomiska kunskaper? Inte alls — jag skulle tvärtom vilja sticka ut hakan och påstå att jag tror att de vanliga mayaindianerna i gemen visste betydligt mer om stjärnhimlen och vad som händer där än vad en typisk, i övrigt välutbildad svensk vet idag; och det tror jag gäller generellt för alla folk som lever eller levde i samhällen utan elektrisk belysning. Jag tror att de flesta som lever under natthimlens mörker kan sina stjärnbilder och vet hur planeterna har sin gång.

Såg mayafolket himlakroppar som vi inte känner till? Naturligtvis — då som nu passerade exempelvis otaliga kometer som dyker upp från solsystemets utkanter, kommer in och rundar solen för att sedan försvinna ut i igen och kanske inte återkomma på många årtusenden. Finns det då ingen möjlighet att de faktiskt såg en himlakropp och räknade ut att den skulle komma tillbaka och krocka med jorden 2012? Nej, det är en *absolut omöjlighet!!!* Visst kunde de beräkna månens faser och planeternas rörelser, men att förutsäga en kosmisk kollision flera sekler in i framtiden, det *är* en omöjlighet för *alla* historiska civilisationer. Det är så oerhört svårt att göra att det är högst tveksamt ens om vår egen civilisation skulle klara av det. För att bestämma banan hos en liten himlakropp som lätt utsätts för störningar från andra himlakroppar, krävs det noggranna observationer och avancerad kunskap om banberäkningar och störningsteori. För att beräkna en bana med den exakthet som krävs för att förutsäga en kollision med jorden krävs det extremt noggranna observationer med avancerade teleskop, helst radarmätningar och datorer för att göra beräkningar med tillräckligt hög noggrannhet. Frågan är om ens det räcker; förmodligen behöver man skicka upp en rymdsond som

kan landsätta en radiofyfyr, som man under en tid kan pejla för att få ännu bättre noggrannhet. I avsaknad av sådana tekniska resurser säger det sig självt att varken maya-folket eller någon annan historisk civilisation någonsin skulle kunna förutsäga några himmelska kollisioner.

Det tragiska med ovanstående exempel är att domedagsprofeternas vansinniga påståenden får sådan stor spridning; inte bara genom obskyra websidor utan genom kanaler där man förväntar sig ett större mått av journalistiskt kunnande och kritisk granskning, som exempelvis dagspressen. Nej, jag skämtar inte — jag har sett dagstidningar (dock inte svenska sådana) som rapporterade om den påhittade kollisionen mellan Elenins komet och jorden som om det vore en verklig händelse. Och här kommer det tragiska: mängder av människor läser det och blir uppskrämda alldeles i onödan. Vore det bara ett dåligt skämt skulle man kanske kunna dra på smilbanden och skratta bort det, men tyvärr skapar de som sprider sådana här påhitt också oro och lidande. Sensationalismen säljer måhända bättre, men det finns också ett ansvar att skilja på dikt och verklighet, och inte låta villfarelserna frodas obehindrat. Och i slutändan handlar det om att man alltid måste tillämpa ett kritiskt tänkande, d.v.s. man måste ta allt med en nypta salt och inte svälja alla historier med hull och hår!

Jag har uppehållit mig en stund kring domedagsprofetior, men jag kunde lika gärna ha skrivit om astrologi, nummerologi, homeopati, kreationism, jordstrålning, telepati eller vilken som helst av de många irrläror som inte står på någon vetenskaplig grund. En del av dem saluför sig som alternativ till vetenskapen och påstår sig erbjuda sanningar som ligger utanför vetenskapens ramar. Tyvärr är det som saluförs inte sanningar utan lögner.

"Ha, en typisk inskränkt forskare!", invänder anhängare av irrläror. *"Hur kan man vara så inskränkt att man tror att vetenskapen har svar på allt?"*

Jo, det är *precis* det jag tror: det är vetenskapen som har svar på allt och dessutom anser jag att det är den som *inte* håller med om det som är inskränkt i sitt tänkande!

Det här påståendet kräver sin förklaring. För det första ska jag precisera ordet *"allt"* — med *allt* menar jag här allt som kan kategoriseras som sant eller falskt. Det finns ju många frågeställningar som inte har någonting med sant eller falskt att göra: ett trivialt exempel är huruvida köttbullar eller varmkorv är godast — svaret på den frågan är naturligtvis upp till var och en att avgöra efter eget tycke och smak. Påstår man däremot att personer födda i Vattumannens tecken har mer tur i spel, är det däremot en annan sak, för ett sådant påstående kan man styrka eller avfärda genom att exempelvis göra statistik över vilka som vinner på Lotto.

Nästa distinktion jag skulle vilja göra gäller *"vetenskapen"* där det viktiga är att skilja på *vetenskapliga fakta* och den *vetenskapliga metoden*. Med det förstnämnda menar jag all den kunskap som vi har vunnit genom århundradena, med det sistnämnda avser jag det vetenskapliga sättet att arbeta. Besitter vi all vetenskaplig kunskap? Nej, då skulle vi ju vara allvetande och det skulle inte behövas några forskare. Naturligtvis har vi inte kunskap om allt, och det var inte det jag menade med mitt påstående.

Nu närmar vi oss dock pudelns kärna, nämligen den *vetenskapliga metoden*. Den har varit vår ledstjärna genom sekler av vetenskaplig forskning och har byggt upp

den enorma kunskapsbank av *vetenskapliga fakta* som vår moderna civilisation vilar på. Den vetenskapliga metoden består av några enkla, grundläggande idéer: vi skaffar oss ny kunskap genom att ställa upp modeller och teorier som vi sedan testat genom experiment och observationer. Utifrån resultaten ser vi om våra modeller och teorier har blivit bekräftade, om de behöver modifieras eller om de ska förkastas. Vi söker efter den troligaste teorin genom att eliminera alla alternativa teorier. Om det finns flera olika teorier som vi inte kan skilja åt genom experiment eller observationer ska vi föredra den enklaste av teorierna. En i sammanhanget viktig aspekt är att vi ska arbeta förutsättningslöst, d.v.s. om vår älsklingsteori inte visar sig stämma så ska vi inte försöka klamra fast vid den utan dumpa den i soptunnan och istället acceptera vad verkligheten berättar för oss.

Det handlar inte om att tro på orakel eller auktoriteter. Det handlar inte om att meditera eller få uppenbarelser. Det handlar inte om att samla på rykten och anekdoter. Allt det kan visserligen tjäna som inspirationskällor, men det verkliga sanningssökandet måste göras genom att man i form av mätningar och undersökningar ställer frågor direkt till verkligheten och sedan ser vad verkligheten svarar. Det är det som är den *vetenskapliga metoden*, och jag tror benfast på att det är den som är den allenarådande vägen till sanning.

Samma principer tillämpas exempelvis i en domstol, och det är ju inte så märkligt eftersom målet där ju också är att försöka finna sanningen. Det är inte alltid man gör det och i bland blir det fel, men det beror inte på metoden utan brist på fakta och andra omständigheter. Metoden är densamma och vi förväntar oss att den ska vara densamma: vi förväntar oss att polisen ska ha samlat in alla fakta de kan, och att åklagaren och försvarsadvokaten ska föra fram olika teorier om vad som egentligen hände. Vi förväntar oss att alla resonemang och bevis granskas och ifrågasätts. Vi förväntar oss att vittnen förhöras och korsförhöras. Vi förväntar oss att båda sidor försöker hitta svagheter i den andra sidans argumentation. Och vi förväntar oss att den här processen får fortgå tills alla vittnen hörts och alla bevis lagts på bordet, så att domstolen kan fatta ett så rättvist beslut som möjligt. Visst, man kan tänka sig andra sätt: istället för den här omständliga proceduren skulle nämndemännen kunna singla slant eller domaren skulle kunna spå i kaffesump, men de allra flesta av oss skulle omedelbart kalla en sådan rättegång för en fars. Den vetenskapliga metoden är en universell metod för att söka kunskap och sanning i rättssalen och i forskningslabbet likväl som överallt annars.

Just den kritiska granskningen och ifrågasättandet är en av de viktigaste hörnpe-larna inom den vetenskapliga metodiken. Det har inte med elakhet att göra utan är en viktig del av den vetenskapliga processen. Genom att kritisera och ifrågasätta försöker vi undanröja möjligheterna att det har begåtts några fel eller misstag och försäkra oss om att vi har tänkt på allt. Om en person som presenterar ett nytt resultat, har svar och förklaringar på alla de frågor och invändningar som en hel värld kan komma på, ja, då kan vi alla känna oss mer säkra på att den personen verkligen har upptäckt något.

Det här missförstår oftast anhängare av pseudovetenskaper; de tror att det handlar om påhopp och förtal. Nu kommer vi tillbaka till det jag nämnde tidigare om att vara

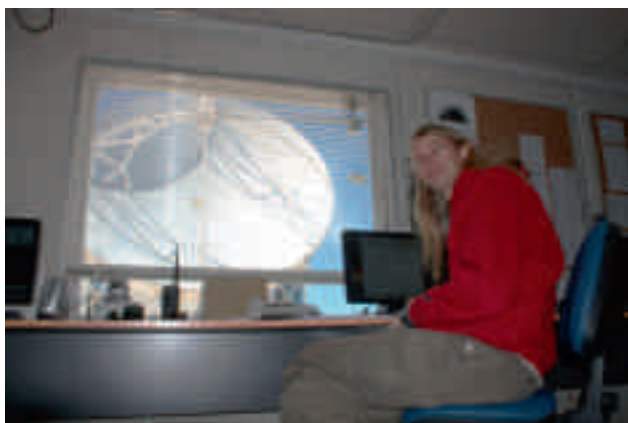
”förutsättningslös” i sin forskning; det finns ingenting i den vetenskapliga världen som säger att t.ex. astrologi ska mobbas ut — det handlar bara om vad som faktiskt är sant och vad som inte är det. De astrologiska idéerna har varit uppe till prövning och inte visat sig hålla måttet. Om en astrolog kan komma upp med nya bevis som klarar en vetenskaplig prövning, så kommer jag omedelbart att anamma astrologin som vetenskap. Vad astrologen behöver göra för att övertyga mig är att ta alla mina invändningar och kritiska frågor på djupaste allvar och presentera resonemang, experiment och observationer som styrker de astrologiska teorierna och kan ge relevanta svar på alla mina invändningar. Det handlar faktiskt bara om att visa att det man påstår faktiskt är sant — kan man göra det, ja, då blir det automatiskt vetenskap.

Och här kommer vi tillbaka till vad jag tidigare poängterade: att man också måste vara beredd att släppa sin älsklingssteori om den inte visar sig vara sann. Jag är beredd att slänga ut gamla sanningar och acceptera nya fakta, om nya experiment och observationer visar att verkligheten är annorlunda än vi trodde. Om man däremot envist fortsätter att hålla fast vid sin tro på astrologi eller någon annan pseudovetenskap trots att den inte har klarat provet, ja, då är man enligt min mening ”*inskränkt*” i sitt tänkande.

Jag hoppas att du som läsare betraktar domedagsprofeterna och de pseudovetenskapliga charlatanerna med ett skeptiskt öga, och att du istället ska finna många intressanta och fascinerande fakta om vårt universum i den här boken. Är allt sant? Förmodligen inte — vi kommer att göra nya upptäckter som kommer att kullkasta en del av det som står skrivet, men detta är vad vi vet idag.

Det är det som är fascinerande med forskning. Vi gör nya upptäckter. Vi lär oss nya saker. Vi vidgar våra vyer. Att vara forskare är att vara en upptäcksresande på äventyr i en okänd värld. Det är därför jag valde att bli forskare. Det är därför jag är astronom. Jag hoppas att jag kan sprida lite av denna fascination till dig som läser den här boken.

MIKAEL LERNER



Författaren och det till en del svenskägda APEX-teleskopet poserar för kameran under ett observationspass nere i Chile. (Källa: M. Lerner)



En grupp flyttande sångsvanar rastar i våtmarken framför 20–metersteleskopet vid Onsala rymdobservatorium. (Källa: M. Lerner)



Onsala rymdobservatorium
439 92 Onsala
www.chalmers.se/rss/oso-sv
031-772 5500